Mérnöki Szimpózium a Bánkin

(Proceeding of the Engineering Symposium at Bánki)

2024

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Mérnöki Szimpózium a Bánkin Előadásai

Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

BÁNKI DONÁT FACULTY OF MECHANICAL AND SAFETY ENGINEERING

Copyright © a szerzők / the authors, ESB 2024

Minden jog, a kiadvány kivonatos utánnyomására, kivonatos vagy teljes másolására (fotokópia, mikrokópia) és fordítására fenntartva.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, or transmitted, in any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Kiadó / Publisher: Óbudai Egyetem

Felelős kiadó / Editor-in-Chief: Rajnai Zoltán

Szerkesztette / Edited by: Horváth Richárd, Lukács Judit, Stadler Róbert Gábor, Varga Viktória Annamária

Műszaki szerkesztő / Technical Editor: Horváth Richárd

Borítóterv / Cover: Keserűné Balázs Tímea

ISBN 978-963-449-382-2

online elérhető / online available at:

https://esb.bgk.uni-obuda.hu/

2024.

Köszöntő

Az ESB – Engineering Symposium at Bánki – konferenciák bő másfél évtizedes hagyományainak megfelelően idén is sikerült a különböző területeken jeleskedő ipari és egyetemi berkekben tevékenykedő kutatókat, oktatókat, munkatársakat és hallgatókat megszólítani. Az idei évben ismét egy különlegességgel készültünk, ugyanis a Magyar Hadtudományi Társaság Szegedi Tagozata volt konferenciánk különleges vendége. Emellett, a plenáris előadásokban Dr. Nógrádi György: Az arab-izraeli konfliktusról közérthetően című előadásával, valamint Dr. Resperger István: Az orosz-ukrán konfliktus. Mi történt az elmúlt két és fél évben? című előadásával tisztelték meg a konferencia résztvevőit. Konferenciakötetünk válogatott közleményeket tartalmaz, melyek a korábbi évekhez hasonlóan, angol, illetve megyar nyelven mutatják be napjaink szerteágazó kutatásait, izgalmas és kihívásokkal teli tudományos és ipari problémáit, legjellemzőbb irányzatait. Ezúton szeretnék köszönetet mondani elsősorban a kötet szerzőinek, de mindazoknak is, akik támogatták, valamint ösztönzésükkel és segítségükkel nagyban hozzájárultak ahhoz, hogy e kiadvány megjelenhetett. A tanulmánykötet sokszínűségére és tartalmi gazdagságára hivatkozva bízom benne, hogy elnyeri minden olvasó tetszését és mind az akadémiai, mind pedig a vállalati szférában tevékenykedő szakemberek számára érdekes és hasznos kiadvány lesz. Olvasásához, tanulmányozásához sok sikert kívánok!

Budapest, 2024. december 15.

Prof. Dr. Rajnai Zoltán

Dékán

ESB Fővédnöke

Greetings

In keeping with the tradition of the ESB - Engineering Symposium at Bánki - conferences for over a decade and a half, the event this year once again succeeded in attracting researchers, academics, staff, and students from a wide range of fields from industrial and university circles. This year, we had a special attraction, as the Division of Szeged of the Hungarian Association of Military Science was a special guest at our conference. In addition, two plenary lectures were held on the following topics: Dr. György Nógrádi: On the Arab-Israeli conflict in plain language, and Dr. István Resperger: The Russian-Ukrainian conflict. What has happened in the last two and a half years? Our conference proceedings comprise a selection of papers, which, as in previous years, present the diverse research topics, exciting and challenging scientific and industrial problems, and the most typical trends of our time in English and in Hungarian. I would like to take this opportunity to thank, first and foremost, the authors of this volume, but also all those who have supported and contributed to the publication of this volume, for their encouragement and assistance. In view of the diversity and richness of its content, I trust that it will appeal to all readers and be an interesting and useful source of information for both academic and industrial experts. I wish you every success in reading and studying it.

Budapest, December 15, 2024

Prof. Dr. Zoltán Rajnai

Dean

Patron of ESB

Tudományos bizottság / Committees

Tiszteletbeli elnök / Honorary chair

Levente KOVÁCS, Óbuda University, Hungary

Általános elnök / General chair

Zoltán RAJNAI, Óbuda University, Hungary

Tudományos bizottság elnöke, Scientific committee chair

Richárd HORVÁTH, Óbuda University, Hungary

Tudományos bizottság, lektorok / Scientific committee, peer reviewers

András ZACHÁR, Óbudai University, Hungary
Anna Tünde KOVÁCS, Óbuda University, Hungary
Árpád CZIFRA, Óbuda University, Hungary
Edit LUDÁNYI-LAUFER, Óbuda University, Hungary
Enikő Réka FÁBIÁN, Óbuda University, Hungary
Endre RUSZINKÓ, Óbuda University, Hungary
Erzsébet ANCZA, Óbuda University, Hungary
Gyula BAGYINSZKI, Óbuda University, Hungary
István NAGY, Óbuda University, Hungary
József GÁTI, Óbuda University, Hungary
Judit, LUKÁCS, Óbuda University, Hungary
Gyula SZABÓ, Óbuda University, Hungary
József Zoltán SZABÓ, Óbuda University, Hungary
László HANKA, Óbuda University, Hungary
Mihály RÉGER, Óbuda University, Hungary
Péter PINKE, Óbuda University, Hungary
Péter VARGA, Óbuda University, Hungary
Tamás RÉTI, Óbuda University, Hungary
Tamás SZAKÁCS, Óbuda University, Hungary
Viktor GONDA, Óbuda University, Hungary

Szervezés / General organizer

Judit LUKÁCS, Óbuda University, Hungary

Tartalomjegyzék / Contents

Angol szekció / English Section

Ahmed Amgad Naji Ali, György Györök, Judit Lukács, Zoltán Rajnai:
Maximizing Efficiency and Power Quality: A Deep Dive into Hybrid Buck-Boost, Cuk, and SEPIC Converter Topologies **10**

Péter Balogh:
Cyber threat of social critical infrastructure **20**

Máté Domján:
From Whaleboats to LCACs – The Development of the US Marines Amphibious Doctrine **26**

Enze Shao, Tibor Goda:
Predicting Anterior Cruciate Ligament Changes During Unexpected Side Cutting Based on Inertial Sensors **31**

Hairong Chen, István Bíró:
Advances in the application of orthotic insoles for flatfoot treatment **42**

Ákos Sándor Jányoki, Ákos Mester:
The evolution of PLCs in the light of case studies **50**

Kamaran Mohammed Kareem, Bakhtyar Saleh Ahmmad:
Seismic analysis of tunnel-form reinforced concrete structures subjected to low-intensity earthquake actions **60**

Krisztián Molnár:
Armor package proposal for combat vehicles **70**

Sándor Nagy, Sándor Semperger:
Examination of Permanent Magnets in different Halbach array configurations **76**

Norbert Daruka, Krisztián Végh:
Criminal use of drones and possible lines of defence **82**

Quian Liu, István Bíró:
Effects of longitudinal bending stiffness on joint range of motion and peak angle velocity during the stance phase of running **89**

Qiaolin Zhang, István Bíró:
Effects of different schemes of hallux valgus osteotomy on the stress based on computer digital simulation **97**

Samir Rasulov, Péter Bakucz, Judit Lukács:
Limitations of ISO26262 in Addressing Nonlinear Dynamics in Highly Automated Driving Systems **103**

Sara Ines Moussaoui, Annamária Naughton Duszová, Monika Hrubovčáková, Marek Vojtko, Mark Windisch, Péter Pinke, János Dusza: **112**
Microstructural Investigation of Dual-Phase Boride/Carbide High-Entropy Ceramics

Kristóf Stölczer: **118**
Challenges and risks of nuclear energy investments in Africa

Bence Ujhegyi, Enikő Réka Fábián: **123**
Safety Protocols for Atmospheric Rocket Launches

Magyar szekció / Hungarian Section

Berzicai Kevin, Váradi Péter, Lukács Judit:
Mesterséges intelligencia alapú döntéstámogató rendszer fejlesztése gépjármű biztosítási csalások feltárásához – 1. rész **139**

Varga Viktória Annamária, Váradi Péter, Lukács Judit:
Mesterséges intelligencia alapú döntéstámogató rendszer fejlesztése gépjármű biztosítási csalások feltárásához – 2. rész **145**

Matyasovszki Márton Gábor, Váradi Péter, Lukács Judit:
Mesterséges intelligencia alapú döntéstámogató rendszer fejlesztése gépjármű biztosítási csalások feltárásához – 3. rész **151**

Bakosné Diószegi Mónika, Pelle György Tamás: **157**
Mechanikus adapter fejlesztése nyomtatott áramköri lapok teszteléséhez

Burai István György: **163**
Mesterséges Intelligencia az oktatásban

Cocchioni Vince: **172**
A 3D nyomtatott kézprotézisek legújabb fejlesztései

Fülöp Fruzsina, Széll Attila, Horváth Richárd, Marosné Berkes Mária:
Betekintés a DLC bevonatok extrém-kis súrlódási viselkedésének hátterében álló folyamatok sajátosságaiba **176**

Hareancz Ferenc, Juhász Gergely, Fábián Enikő Réka, Vida Ádám **190**
Kopási tulajdonságok vizsgálata nagy-entrópiájú ötvözetek esetében

Horváth-Kiss Anikó, Ács Szilvia, Fregan Beatrix, Rajnai Zoltán: **195**
Vészhelyzeti konténer biztonságtechnikai rendszerének megtervezése

Horváth-Kiss Anikó, Ács Szilvia, Fregan Beatrix, Rajnai Zoltán: **207**
Vészhelyzeti konténer különleges rendszerei

Horváth-Kiss Anikó, Ács Szilvia, Fregan Beatrix, Rajnai Zoltán: **218**
Felületvizsgáló robot kommunikációs platform kialakítás

Horváth-Kiss Anikó, Ács Szilvia, Fregan Beatrix, Rajnai Zoltán:
Ipari robotok kialakítása, alkalmazásuk **224**

Janssens Adrián Joshua:
Az angol-zulu háború brit tisztek memoárjából **233**

Juhász Gergely, Hareancz Ferenc, Fábián Enikő Réka, Vida Ádám:
Nagy hőmérsékletre szánt nagy-entrópiájú ötvözetek oxidációja **239**

Kiss Gábor Ferenc:
Tengerészgyalogság 2030 **246**

Kós György, Daruka Norbert, Elek Barbara
Túlélési esélyek növelése potenciálisan gyors tűzterjedésnek kitett helyiségekben **252**

Lőrincz László:
Lokális közgyűjteményi raktárak műtárgyvédelme **258**

Mezey Csaba Bence:
Lakhatással a békéért – A Briggs-terv és a Strategic Hamlet Program összehasonlító elemzése **264**

Nagy Rudolf:
Munkahely-ergonómiai vizsgálat a pamutfonás technológiai fejlődésének aspektusaiban **269**

Nyikes zoltán, Tóth László:
Katonai innovációk polgári alapokon, az információs eszközök új korszaka **278**

Olasz Lajos:
A magyar légierő Héja vadászrepülőgépei a doni fronton **284**

Olesnyovicsné Szabadi Zsuzsa, Marosné Berkes Mária, Réger Mihály, Horváth Richárd:
SLM technológiával gyártott EOS Maraging MS1 alkatrészek termodinamikai elemzése konstans hevítési sebesség mellett végzett DSC vizsgálattal **296**

Pintér Péter:
Pneumatikus terhelésvizsgáló berendezés modellezése **303**

Pócsik György, Oláh Ferenc, Havasréti Kristóf, Horváth Richárd:
Betétedzett DLC bevonattal rendelkező darabok vizsgálata Daimler-Benz eljárással **308**

Ráczi Viktor Gergely, Mikó Balázs:
Furatmegmunkálási eljárások összehasonlító vizsgálata **314**

Steiner Attila:
Bűnözés a térfigyelő kamerák tükrében **320**

Angol szekció / English section

Maximizing Efficiency and Power Quality: A Deep Dive into Hybrid Buck-Boost, Cuk, and SEPIC Converter Topologies

[1]Ahmed Amgad Naji Ali, [2]György Györök, [3]Judit Lukács, [4]Zoltán Rajnai

[1]Obuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary, ahmed.amgad@uni-obuda.hu
[2]Obuda University Alba Regia Kar, Székesfehérvár, Hungary, gyorok.gyorgy@amk.uni-obuda.hu
[3]Obuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary, lukacs.judit@bgk.uni-obuda.hu
[4]Obuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary, rajnai.zoltan@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

In power electronics, DC-DC converters play a crucial role in industrial power supplies and battery charging. To increase efficiency, simplify design, and enhance power factor, a single-switch hybrid converter integrating SEPIC and Cuk is introduced in this work, along with comparisons of hybrid Buck-Boost, Cuk, and SEPIC topologies. The suggested converters increase efficiency while reducing size, cost, and total harmonic distortion (THD) by eliminating the need for transformers. These hybrids perform better in simulations than traditional designs, making them perfect for low-THD, high-efficiency applications in contemporary power systems. In addition, the safety road to make the load operation with high performance to minimize the overshoot at the starting operation of the converter, by using that technology can reduce that risk.

Keywords: DC-DC converters, hybrid Buck-Boost, Cuk, SEPIC, high-efficiency applications

1. Introduction

The proposed converter is designed to achieve high voltage gain and efficiency while minimizing total harmonic distortion (THD). This is particularly beneficial for applications requiring effective power conversion under varying duty cycles. The combination of SEPIC, Cuk, and buck-boost converters allows for two output voltages of the same magnitude but opposite polarity, making it a versatile solution for modern power supply needs. The paper also presents a Simulink model to simulate the converter's performance, comparing it with traditional SEPIC, Cuk, and buck-boost converters under ideal assumptions. A DC-DC converter, also referred to as a DC converter, is a circuit that converts high-frequency power by using inductors, capacitors, and rapid switching to reduce noise in DC voltage circuits. It can be viewed as the DC equivalent of a continuously variable turn-ratio transformer. Its main application is for stepping up or down the voltage from DC voltage sources [1]. A new method for simple switching dual structures defines two capacitors and two to three diodes. The input voltage can be stepped up using these circuit blocks [2]. Switching DC-DC converters are critical power electronics devices found in a wide range of applications. For years, several well-known single-inductor DC-DC converters, such as Buck, Boost, CSC (Canonical Switching Cell), and buck-boost single inductor converters, as well as well-known two-inductor topologies, Cuk, SEPIC, and Zeta converters, have been studied from various

perspectives (voltage gain, operating principle, voltage and current stress, and efficiency) [3][4]. To address the challenges associated with traditional power conversion methods, this research proposes a hybrid bipolar DC-link converter that combines the SEPIC, Cuk, and buck-boost converter configurations. The innovative design incorporates a switched inductor-based gain-enhancing technology, which utilizes two inductors and three diodes. This approach aims to optimize circuit design while reducing costs and meeting the requirements of high-gain applications [5]. The use of an IGBT switch is particularly noteworthy, as it offers superior voltage and power handling capabilities compared to MOSFETs, making it suitable for the voltage stresses encountered during the operation of the combined converters [6].

When selecting a converter for electric vehicles and battery charging, the hybrid bipolar DC-link converter combining SEPIC and Cuk designs is advantageous due to its high voltage gain and efficiency. This converter minimizes output ripple through an input LC filter, ensuring stable performance while reducing overshoot. Implementing a closed-loop control system enhances safety by synchronizing input and output operations, which is crucial for maintaining reliability in varying load conditions. Additionally, using a single IGBT switch simplifies the control structure, mitigating the adverse effects of blocking circuits on the AC power supply.

1.1. Operation and analysis of the novel converters

In this topology, a single switched capacitor network with closed-loop control is introduced, eliminating the need for a transformer and reducing equipment cost and weight. The design consists of a basic single-phase rectifier followed by the switched capacitor network and a high-frequency DC-DC converter used for both the positive and negative cycles. This transformer-less bridge rectifier is expected to achieve higher efficiency by reducing hysteresis and eliminating energy losses typically caused by transformer magnetization.

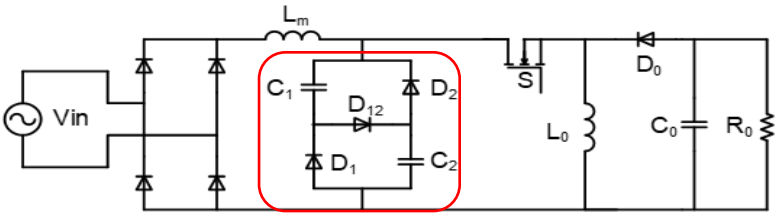


Figure 1. Novel buck-boost converter

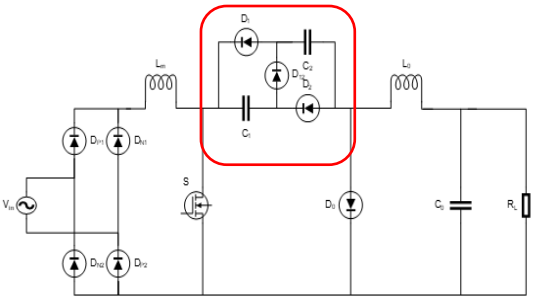


Figure 2. Novel Cuk converter [7]

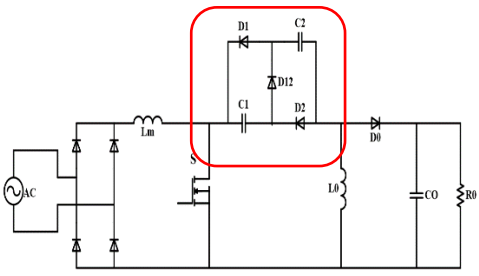


Figure 3. Novel SEPIC Converter [4]

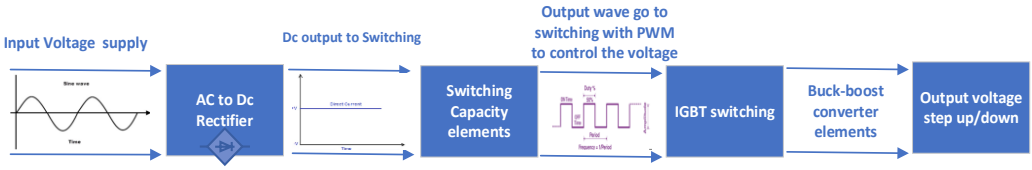


Figure 4. Processing of converters

Table 1. Converters symbols

Symbols	Names
L_m	Input inductance
$C_1 = C_2$	Blocking switch capacitance
L_o	Output inductance
C_o	Output capacitance
R	Output resistance
D	Ideal diode
$Toff$	Time switching during the *off* state
Ton	Time switching during the *on* state

1. →Work operation of the novel buck-boost converter:

During $T_{on,}$ the buck-boost inductor L_0 and output capacitor C_0 are charged by the switched capacitors C_1 and C_2 for a positive half cycle with half of the DC link voltage since these switched capacitors become parallel due to the reverse bias of D_{12} and forward bias of D_1 and D_2. However, during T_{off}, C_1 and C_2 are charged in series with the DC link voltage since D_{12} becomes forward bias. Furthermore, the current in the buck-boost inductor L_0 continues through the freewheeling diode D_0 charges the output capacitor C_0.

Working operation of the novel Cuk converter:

For the topology, during T_{on}, the Cuk inductor L_0 and output capacitor C_0 are charged by the switched capacitors (C_1 and C_2) with half of the DC link voltage since these switched capacitors become parallel due to the reverse bias of D_{12} and forward bias of D_1 and D_2. However, during T_{off}, C_1 and C_2 are charged in series with the DC link voltage since D_{12} becomes forward bias. Furthermore, current in the Cuk inductor L_0 continues through the freewheeling diode D_0 charges the output capacitor C_0.

Working operation of the novel SEPIC converter:

For the topology, during T_{on}, the SEPIC inductor L_0 and C_0 are charged by the switched capacitors (C_1 and C_2) with half of the DC link voltage since these switched capacitors become parallel due to the reverse bias of D_{12} and forward bias of D_1 and D_2. However, during T_{off}, C_1 and C_2 are charged in series with the DC link voltage since D_{12} becomes forward bias. Furthermore, the current in the SEPIC inductor L_0 continues through the freewheeling diode D_0 and charges the output capacitor C_0.

1.2. Voltage gain with duty cycle of the converters

The duty cycle of the switching determines the voltage gain of the three types of DC-DC converters that use switching capacitance while the switching is operating in the *on* and *off* states. Every kind of convertible converter has a different voltage gain, as does the novel voltage gain. The voltage gain is obtained using the driving equations for both the novel converter and the

conventional.

1. Novel buck-boost converter.

The voltage gain of the proposed converter can be obtained from the volt-sec balance across inductors over the switching frequency.

The conventional converter,

$$\frac{u_o}{u_{in}} = -\frac{\delta}{(1-\delta)} \tag{1}$$

For the novel converter, the voltage gain will be,

$$\frac{u_o}{u_{in}} = -\frac{\delta}{(1-\delta)(2-\delta)} \tag{2}$$

By comparing (1) and (2), we can see that (2) has an extra term (2 - δ) in the denominator. The term (2 - δ) is greater than 1 whenever the duty cycle is between 0 and 1. This suggests that the recommended converter has a greater step-down capability than the conventional one.

2. Novel Cuk converter.

The same techniques are employed that allow the volt-sec balance across the inductance of the converter in order to drive the equation for the Cuk converter.

The conventional converter,

$$\frac{u_o}{u_{in}} = -\frac{\delta}{(1-\delta)} \tag{3}$$

But after adding the switching capacitors, the novel voltage gain for the Cuk converter,

$$\frac{u_o}{u_{in}} = -\frac{\delta}{2(1-\delta)} \tag{4}$$

Comparing (3) and (4), it can be said that these proposed converters step down two times steeper than that of conventional Cuk converter.

3. Novel Sepic converter.

Regarding the voltage balance sequence passing through the inductance of the converter, the voltage gain will be obtained.

The conventional SEPIC converter,

$$\frac{u_o}{u_{in}} = \frac{\delta}{(1-\delta)} \tag{5}$$

After having added filtering capacitance to the switching the voltage gain of the novel converter,

$$\frac{u_o}{u_{in}} = \frac{\delta}{(1-\delta)(2-\delta)} \tag{6}$$

It is observed that (6) has an additional term (2 - δ)in the denominator by comparing (5) and (6). Whenever the duty-cycle falls between 0 and 1, the term (2 - δ) is greater than 1. This indicates that the suggested converter can step up more than the traditional one.

When comparing the three converters, each one will accept the positive direction of the SEPIC in the same way as it accepts the output direction in terms of voltage for the novel SEPIC and buck-boost.

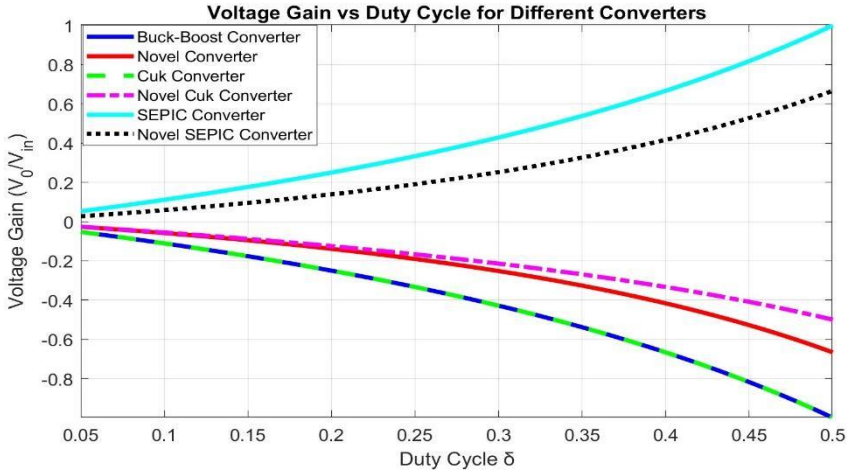


Figure 5. The voltage gain of the difference converter

The voltage gain of six distinct converters is shown as a function of the duty cycle in Figure 5, which also highlights the performance of each converter between 5% and 50% duty cycle. As expected for its step-down function, the buck-boost converter exhibits a negative voltage gain that falls as the duty cycle rises. The new converter performs better thanks to a new term in its equation that causes a slight drop in voltage gain. Both the Cuk and novel Cuk converters show negative gains; however, the output of the novel Cuk converter is more controllable due to its smoother decrease. Both the SEPIC and the novel SEPIC converters exhibit positive voltage gains; however, the novel SEPIC converter's rise is steeper, suggesting that it is capable of greater step-up. In comparison to conventional designs, the new converters improve voltage conversion efficiency overall and offer enhanced control and performance.

1.3. Efficiency Analysis with duty cycle of the converter

As the title of the paper says, the main tasks for those converters are increasing the efficiency of the converters to prepare the decrease in the total losses of the converters that can be used as the supplier for EV charging and many other applications.

1. Novel buck-boost converter and SEPIC converter.

Both converters have the same equations then the efficiency of our proposed converters is expressed as follows,

$$\eta = \frac{\rho_o}{\rho_i} = \frac{u_o}{u_{in}} \frac{(1-\delta)(2-\delta)}{\delta} \tag{7}$$

The efficiency of the conventional buck-boost converter is

$$\eta = \frac{\rho_o}{\rho_i} = \frac{u_o}{u_{in}} \frac{(1-\delta)}{\delta} \tag{8}$$

Comparing (7) and (8), we got,

$$\eta = \eta_C(2-\delta) \tag{9}$$

Since the term (2 - δ) is always greater than 1, the efficiency of our proposed converters is greater

than the conventional one for any duty cycle.

2. Novel Cuk converter.

The efficiency of our novel converters is expressed as follows,

$$\eta = \frac{\rho_o}{\rho_i} = \frac{u_o}{u_{in}} \frac{2\,(1-\delta)}{\delta} \tag{10}$$

Comparing (8) and (10), we got,

$$\eta = \eta_C \cdot 2 \tag{11}$$

Therefore, it is clear that these proposed converters have twice the efficiency of conventional ones for any duty cycle.

2. Output results of the converters

The following assumptions were made to simplify the theoretical analysis.

1. All the components are assumed to be ideal.
2. For the simplification of analysis, |Vin| was considered as a purely rectified sinusoidal source.
3. A Larger value of output capacitor C_0 was considered to refer to u_0 as a pure DC voltage.
4. Both converters have been simulated using PSPICE for the following data specifications.

Table 1. Data of simulation

Converters parameters	Novel buck-boost	Novel Cuk	Novel SEPIC
L_m	$300 \cdot 10^{-6} H$	$300 \cdot 10^{-6} H$	$50 \cdot 10^{-6} H$
$C_1 = C_2$	$500 \cdot 10^{-6} F$	$500 \cdot 10^{-6} F$	$100 \cdot 10^{-6} F$
L_o	$1200 \cdot 10^{-6} H$	$700 \cdot 10^{-6} H$	$3000 \cdot 10^{-6} H$
C_o	$1700 \cdot 10^{-6} F$	$1000 \cdot 10^{-6} F$	$4000 \cdot 10^{-6} F$
R	100Ω	100Ω	100Ω

2.1. Comparison results of novel buck-boost converter

1. Input Power Factor Comparison:

Our proposed topology has a higher power factor than the conventional buck-boost converter as illustrated below. The input inductor L_m, followed by the switched capacitor network, forms an input L-C type filter for each half cycle of operation. This L-C input filter reduces the input current ripple and harmonics. Thus, it improves the input power factor (IPF) in our proposed topology.

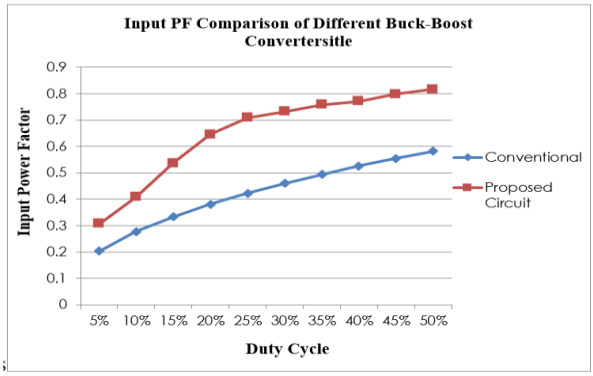


Figure 6. IPF of buck-boost comparison

2. Efficiency and THD Comparison:

Our proposed topology reduces the Total Harmonic Distortion (THD) of the input current compared to the conventional buck-boost converter by introducing an L-C input filter, which utilizes an input inductor and a switched capacitor network, thereby minimizing current ripple. Additionally, the proposed design offers higher efficiency, especially with the single-stage switched capacitor network configuration. The use of transformerless bridge rectifiers reduces hysteresis losses, leading to improved energy efficiency. Mathematically, it has been proven that this topology outperforms the conventional buck-boost converter in terms of both THD reduction and efficiency.

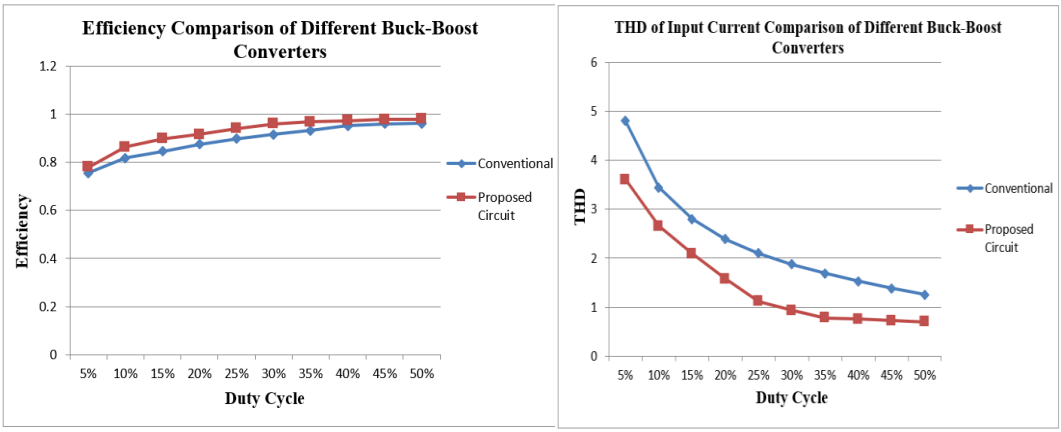


Figure 7. Efficiency and THD of buck-boost converter

2.2. Comparison results of novel Cuk converter

1. Input Power Factor Comparison:

The proposed topology improves the power factor compared to the conventional Cuk converter by using an L-C input filter. This reduces current ripple and harmonics, resulting in a higher power factor.

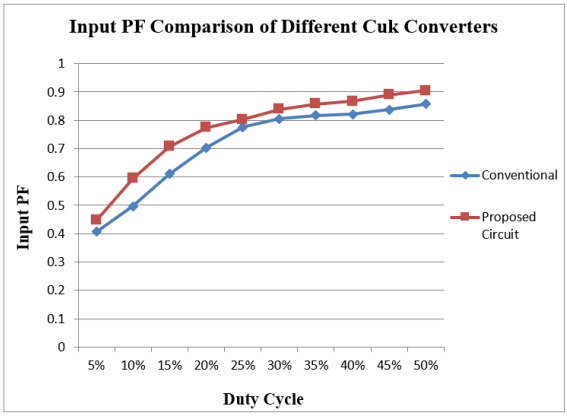


Figure 8. IPF comparison of Converter

2. Efficiency and THD Comparison:

The proposed topology is more efficient than the conventional Cuk converter due to its single-stage switched capacitor network and transformerless bridge rectifier, resulting in reduced energy loss. It also features lower total harmonic distortion (THD), with an L-C input filter that minimizes current ripple.

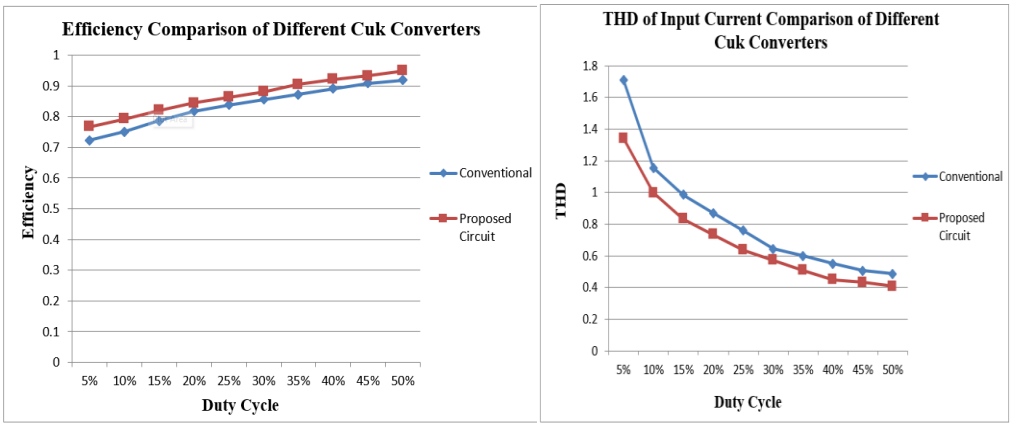


Figure 9. Efficiency and THD of Cuk converter

2.3. Comparison results of novel SEPIC Converter

The proposed topology offers improved performance over the conventional SEPIC converter by providing a higher power factor due to the L-C input filter, which reduces current ripple and harmonics. It also achieves greater efficiency through the use of a single-stage switched capacitor

network and transformer-less design, minimizing energy loss and hysteresis. Furthermore, the topology results in lower total harmonic distortion (THD) by reducing input current ripple, making it a more efficient and reliable solution for power conversion.

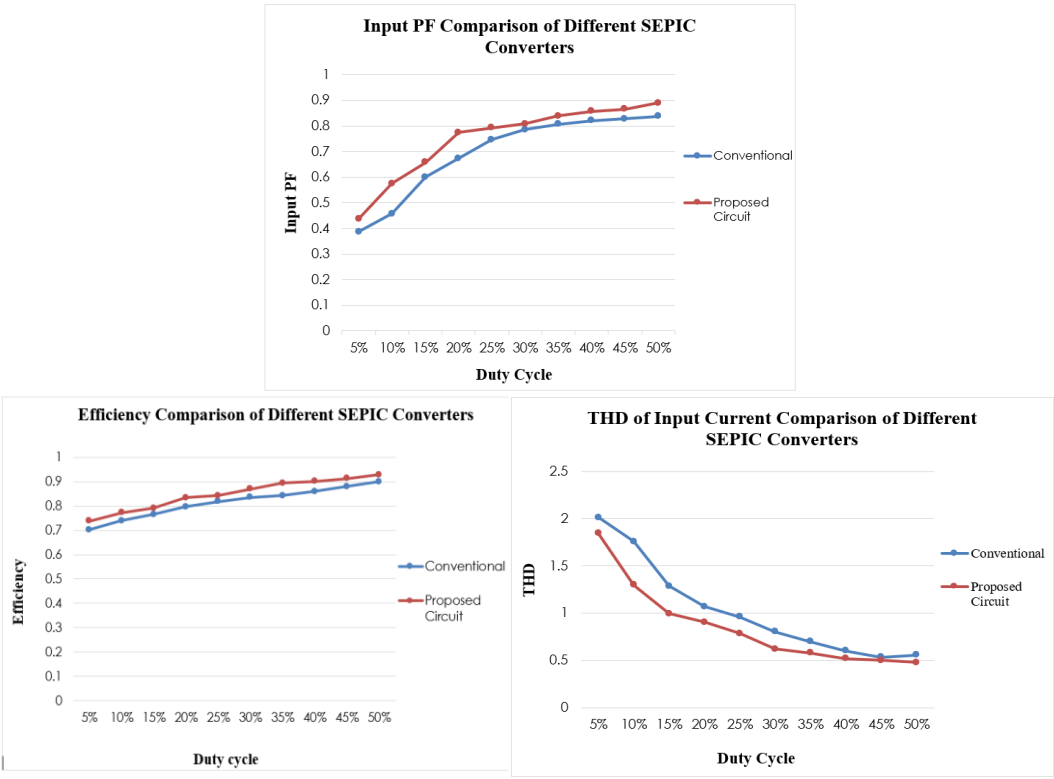


Figure 10. Comparison of SEPIC converter

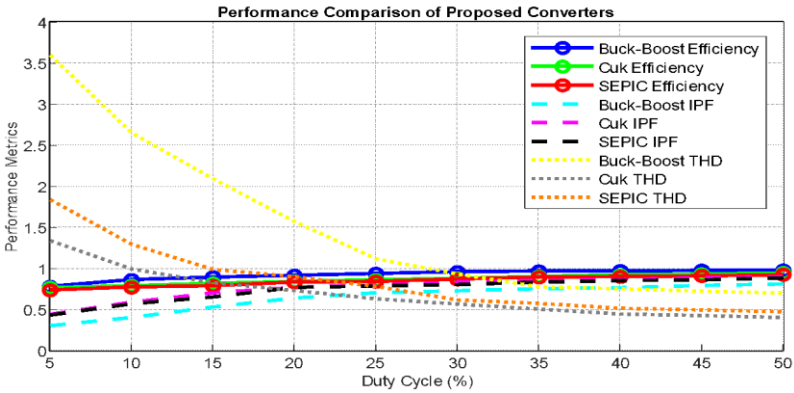


Figure 11. The final performance

3. Conclusion

The novel converters, including buck-boost, Cuk, and SEPIC demonstrate significant improvements in efficiency, Input Power Factor (IPF), and Total Harmonic Distortion (THD) compared to conventional designs, making them suitable for electric vehicle (EV) charging applications. The Buck-Boost converter achieves the highest efficiency (0.9781), while the Cuk converter boasts the best IPF (0.9047) and lowest THD (0.4070), indicating superior power quality. These enhancements, particularly in capacitance switching performance, enable better handling of dynamic loads, ensuring optimal energy transfer, reduced harmonics, and improved safety, thereby facilitating the transition to sustainable transportation solutions.

4. References

[1] Haque, Ayman Mahmud, Dipanwita Sutradhar, Md Istiakul Islam, and Zarmin Ferdous, "Modeling a DC to DC Converter and Design a Controller for the Converter," Doctoral dissertation, BRAC University, 2017.

[2] M. Mahdavi and H. Farzanehfard, “Bridgeless SEPIC PFC rectifier with reduced components and conduction losses,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 9, pp. 4153–4160, 2011, https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2095393

[3] M. A. Al Hysam, M. Z. Ul Haque, K. Saifullah, S. Asif, and G. Sarowar, “New topologies of Cuk PFC converter with switched capacitor for low power applications,” 5th IEEE Reg. 10 Humanit. Technol. Conf. 2017, R10-HTC 2017, vol. 2018-Janua, pp. 620– 623, 2018, https://doi.org/10.1109/R10-HTC.2017.8289036

[4] A. Rahman, M. A. A. Hysam, S. Ahmed, K. M. Mamun, A. Roy and M. R. Bishal, "Performance Analysis of Hybrid AC-DC SEPIC Converter," 2021 International Conference on Science & Contemporary Technologies (ICSCT), Dhaka, Bangladesh, 2021, pp. 1-4, https://doi.org/10.1109/ICSCT53883.2021.9642506

[5] J. O. Gonzalez, R. Wu, S. Jahdi and O. Alatise, "Performance and Reliability Review of 650 V and 900 V Silicon and SiC Devices: MOSFETs, Cascode JFETs and IGBTs," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 67, no. 9, pp. 7375-7385, Sept. 2020, https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2945299

[6] S. W. Lee and H. L. Do, "Isolated SEPIC DC-DC converter with ripple-free input current and lossless snubber", IEEE Trans. Ind. Electron, vol.65, no. 2, pp. 1254-1262, 2017.

[7] M. A. Al Hysam, M. Z. Ul Haque, K. Saifullah, S. Asif and G. Sarowar, "New topologies of Cuk PFC converter with switched capacitor for low power applications," 2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), Dhaka, Bangladesh, 2017, pp. 620-623, https://doi.org/10.1109/R10-HTC.2017.8289036

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Engineering Symposium at Bánki
(ESB 2024)

Cyber threat of social critical infrastructure

[1]Péter Balogh

[1] *University of Szeged Department of Sociology. Szeged, Hungary, baloghp@socio.u-szeged.hu*

Abstract

In this article, we introduce some results concerning certain characteristics of cyber-attacks against social critical infrastructure. The investigation applies a quantitative approach based on statistical analysis of relevant data sources and a secondary dataset for the purpose of network analysis. From an operational perspective, a model of network asymmetry is introduced and utilized while exploring patterns of structural advantages. Based on the results, cyber-attacks against social critical infrastructure show an increasing trend in the last decade and have caused significant damages dominantly private targets, with some key actors in the network of the countries concerned.

Keywords: Cyber Operations, Critical Infrastructure, Data Analysis, Network Advantage

1. Introduction and research problem

Cyberspace – with its physical and cognitive elements – can be considered a crucial sphere of the increasingly complex societies of the new millennium, but it is an area that deserves special attention when examined in terms of the challenges, risks, and threats associated with various critical infrastructure elements. Based on the sectoral security concept by Buzan and his co-authors [1], we can distinguish segments of complex social systems. Among these, the informational sector of security is typically associated with the IT tools of various organizations and users. In this research, however, we approach this dimension of security related to cyberspace as having significant relevance for all aspects of the given society as a complexity, i.e., it affects the state and functioning of other sectors of security. In accordance, in the multi-domain approach of conflicts [2], the multi-actor [3] and multidimensional [4] cyberspace is one of the five areas in which threats can unfold [2, 5, 6]. The complex nature of cybersecurity is particularly important with regard to critical infrastructure [7], and as a kind of circular process, cyberspace itself currently also constitutes a kind of critical infrastructure [8].

This article introduces some of the research results concerning the trends, patterns, and characteristics of cyber attacks by state actors [9] in a specific area: social critical infrastructure in the new millennium. Our particular interest concerns the structural characteristics of the network evolving from the cyber operations.

2. Methodological background

The investigation is based on a quantitative approach applying the method of secondary data analysis. In order to explore the patterns and characteristics of cyber operations targeting social assets of critical infrastructure, the DCID dataset has been utilized [10], which contains several different aspects of interstate cyber operations with a total sum of 429 cases regarding the time period between 2000 and 2020. In the course of data analysis, we applied statistical description and

comparisons, furthermore, some elements of network analysis methods. In each case, if not indicated otherwise, Chi-square tests were used to statistically investigate the significance of the differences measured in the comparisons, considering an alpha of 0.05.

2.1 Conceptual and operational considerations

In the examination the following sectors of critical infrastructure were considered to be relevant as social ones: Commercial Facilities; Communications; Emergency Services; Financial Services; Food and Agriculture; Healthcare and Public Health; Transportation Systems; Water and Wastewater Systems; Other (Election Infrastructure, Academia); and all the other sectors (Chemical; Critical Manufacturing; Dams; Defense Industrial Base; Energy; Government Facilities; Information Technology; Nuclear Reactors, Materials, and Waste) were grouped in the other category.

As for the operationalization of the network characteristics we introduced [11] and applied in this analysis, the concept of network asymmetry or structural advantage is based on two different aspects. On the one hand, it is worth distinguishing between relational – i.e., link or edge-based – and node-based – i.e., actor-based – forms from the [1] formal aspect. On the other hand, a [2] character-based breakdown can be applied, which refers to whether a single link or possibly multiple or multi-dimensional relationships are characteristic between the parties involved. By combining the two aspects, more complex patterns of network benefits can also be interpreted or examined through practical examples of various possible cases.

Table 1. Dimensions and forms of network advantages (own edition)

		Nature of ties	
		simplex	**multiplex**
formal aspect	relational	1	3
	node-based	2	4

3. Research results

3.1 Trends of the cyber incidents

Critical infrastructure elements classified as social critical infrastructure and other categories appear in approximately one-third to two-thirds of the cyber-attacks examined here (31.2% and 68.8%), and clear differences can be seen in the temporal trends of the operations. Cyber-attacks against social critical infrastructure typically occur at a lower rate, but the data shows a continuous increase (Figure 1.A). Apart from some minor declines, a stable positive trend can be revealed (this is particularly clearly visible in the data series containing cumulative values), while the pattern can be considered much more varied for operations against other targets, and from 2015 onwards, a fundamentally decreasing trend prevails – to the point that by the end of the investigated period, attacks against socially relevant critical infrastructure exceed the number of operations against other systems. So, a generally different pattern can be observed since the mid-2010s, with an increase in attacks against social critical infrastructure elements and a decrease in operations against other targets, which may indicate the increasing importance of the former.

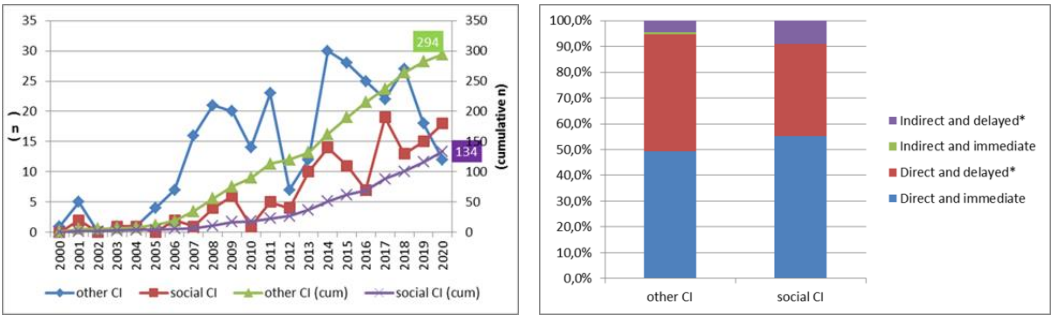


Figure 1. A, B. Tendencies and damage type of cyber attacks (own calculations)

3.2 Composition and characteristics

In the case of attacks against critical social infrastructure, civilian non-state targets represent a dominant proportion (71.6%), followed by government non-military targets at a relatively higher rate (23.9%). While in the case of other operations, this latter category appears at the highest rate (49.2%), and civilian and government military targets occur at a similar rate (p=0.000). Although the nature of the damage caused by the attacks cannot be considered statistically significant (p=0.063), based on the relevant statistical indicators, a notable difference emerges in terms of delayed damage (Figure 1.B). The residual values indicate that direct and delayed attacks occur in a slightly higher proportion (45.4%) in the case of operations against social critical infrastructure, while in the other group of attacks, indirect and delayed damage forms can be observed in a somewhat higher proportion. That is, the role of delayed effects in attacks against socially relevant critical infrastructure can be considered remarkable, which can also be interpreted as a kind of peculiarity in terms of the complexity of social systems and their potential level of resilience. An interesting difference can be measured regarding information operations (p=0.046). Actions against other types of critical infrastructure are coupled with information operations in a proportion of about one quarter (25.1%), while in the case of socially relevant critical infrastructure, this share does not reach one-fifth (16.4%), which implies a less complex picture. Similar results appear in terms of the additional actors possibly present in the composition of cyber operations – a presence of a possible third party (additional state actor, rebel group, corporation). Based on the data, these actors are present with greater frequency (9.2%) in attacks against other types of critical infrastructures, while in the field of operations against social critical infrastructure, their proportion is lower (p=0.048), at only 3.7%. This also implies a less complex pattern of cyber operations against social critical infrastructure[1].

Table 2. Some characteristics of cyber-attacks (own calculations)

	information operation	**third-party initiator**
other critical infrastructure	25.1%	9.2%
social critical infrastructure	16.4%	3.7%

[1] No statistically significant difference can be measured regarding the objectives (p=0.128), attack methods (p=0.412), objective achievement (p=0.239), the presence of supply chain attack (p=0.698), concessionary behavioural change (p=0.269), and ransomware attacks (p=0.091).

3.3 Network structure and characteristics

The investigated cyber-attacks against social critical infrastructure evolve into a network of the countries concerned, with a total sum of 24 nodes and 244 ties (Figure 2). The network proves to be an integrated one, since all of the nodes can be reached by any of them at least indirectly through paths of different lengths. However, the structure could also be considered fragmented, as different clusters can be explored in the network. These clusters prove to evolve around the main actors of the cyber sphere: China, Russia, Iran, and North Korea are the countries that seem to dominate the network structure of the countries involved in attacks against social critical infrastructure. The seizure of the hubs around Russia and China is approximately similar to 8-9 other countries, and in this sense, North Korea and Iran could also be considered identical, as their sub-network consists of a similar number [4,5] of adversaries. The activities in the cyber sphere of these four major countries overlap in different ways – this can be demonstrated most clearly with the United States, which is part of all of the clusters. That is why the United States can be found in the most central position of the network, and a partially similar position can be seen in the case of the United Kingdom, which has been attacked by China, North Korea, and Russia as well. From this perspective, Turkey, France, and Japan also have a similar position around the borders of more network segments of the four main actors.

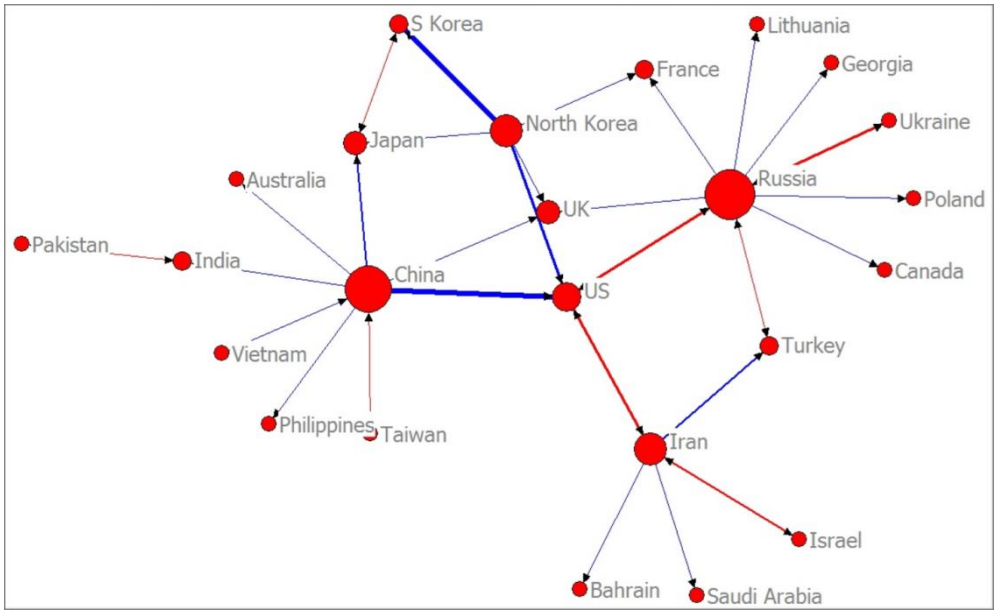


Figure 2. Network of the countries involved in the cyber-attacks

The network – at least partially – also reflects some of the traditional opposing relations and even the actual conflicts implied by the mutual links (highlighted with red coloured tie) between certain nodes. India and Pakistan have a longer-term regional competitive relationship, which seems to be present in the cyber dimension as well. In the case of Israel and Iran, the situation is also similar. The Russo-Ukrainian conflict and the confrontation between China and Taiwan are reflected in the cyber network as well. The United States is also related to Russia and Iran with reciprocal ties, that is their generally competitive relation in the international sphere can also be illustrated in this section of the cyber activities.

The positions of the countries in the network can be characterised with different measures and

figures. From an overall perspective the distribution of the ties can be considered rather concentrated as the share of three ones from the four main actors with the relative frequency of the United States covers more than half (59,8%) of the total ties with a dominant value of the United States (19,3%), and similar shares of China, North Korea and Russia (13,9%, 13,5% and 13,1% respectively). However, if we distinguish between the values of the directed links, it can be said that the United States has dominantly inward relations – that is, in most of the operations, it is the attacked party – while the other key actors have higher shares in the outward relations. The differences based on the distinction of the roles in the investigated cyber-attacks imply a slightly negative relation (Figure 3.A) where the countries with a higher level of attacking activities tend to have lower values of becoming victims (and vice versa). However, there is a great variance among the countries.

When investigating the different dimensions of network asymmetry, an opposite pattern can be explored – in accordance with our essential presumption. In our initial model introduced above we distinguished between two aspects of structural advantage – as for the perspective of the formal dimension we refer to the node-based aspect with the size of the network of the countries in the network, and as for the other dimension we quantify the aspect of simplex-multiplex nature of the relations by calculating the average number of ties. Comparing these values of the countries[2] in this case involved in the cyber operations against social critical infrastructure a pattern with positive relation emerges (Figure 3.B). That is, the countries that have a higher position in one of the network advantage dimensions tend to be in a more favourable position from the perspective of the other dimension as well. The pattern of the values also implies that all the countries with values higher than the average in one dimension prove to have above-average values in the other aspect; furthermore, most of the countries with size values lower than the average can be found in the below-average value range in the average tie dimension.

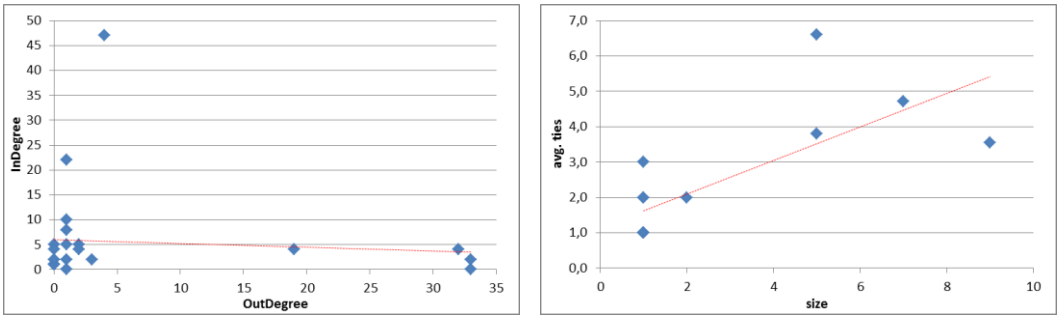


Figure 3. A, B. Network Characteristics of countries in the network (own calculation)

4. Concluding remarks

Based on the results of the data analyses [1], social critical infrastructure as a target of cyber operations proves to cover approximately one-third of the attacks investigated, characterized by an increasing trend in the last decade. This category of critical infrastructure cyber-attacks [2] proves to have dominantly delayed damages on private targets with [3] methods, objectives, and success similar to the other group of critical infrastructure. As a kind of specific characteristic [4], the less frequent presence of information operations and other actor involvement could be explored in the case of the actions against social assets of critical infrastructure. The cyber operations investigated from a network perspective evolve into [5] structure built around some key actors which – on the one hand – seem to be gravitation points with particular network segments, and – on the other hand

[2] In this case the data analysis needs to be narrowed down to the relevant part of the countries in the network that have attacking relations, that is the following considerations apply to the 14 states which have outdegree values.

– these nodes are in certain cases [6] interlinked by mutual relations thus also enhancing the embeddedness of the network. Both from the perspective of the distribution of the [7] in- and outward ties among the countries and the values measuring the different aspects of network advantage, specific patterns could be explored, which, in the latter case, imply a kind of convergence of the characteristics or advantages in the network.

Among some further possible directions of the investigation, a more complex, multi-variable statistical analysis of the cyber operations, a more profound study of the evolution of the network characteristics, and a comparative approach utilizing other relevant data sources can be considered in order to better evaluate the validity of the present outcomes.

5. References

[1] Buzan, B., Wæver, O., de Wilde, J. (1998). Security: A New Framework for Analysis. Boulder, London: Lynne Rienner Publisher

[2] Fazekas F. (2022). A multitér (multi-domain) műveletek kialakulása és szükségessége. Hadtudomány 2022/2. 59-73.

[3] Kovács L. (2018). A kibertér védelme. Budapest: Dialóg Campus Kiadó.

[4] Haig Zs. (2018). Információs műveletek a kibertérben. Budapest: Dialóg Campus Kiadó.

[5] Chwe, H. (2016). The Rise of Cyber Warfare: The Digital Age and American Decline. Swarthmore International Relations Journal 2016/1. 43-49.

[6] Robinson, M., Jones, K., Janicke, H. (2015). Cyber warfare: Issues and challenges. Computers & Security 49 (2015) 70–94.

[7] Amin, H. E., Samhat, A. E., Chamoun, M., Oueidat, L., Feghali, A. (2024). An integrated approach to cyber risk management with cyber threat intelligence framework to secure critical infrastructure. Journal of Cybersecurity and Privacy, 4(2), 357-381. https://doi.org/10.3390/jcp4020018

[8] Amir Djenna, A., Harous, S., Saidouni, D. E. (2021). Internet of things meet internet of threats: new concern cyber security issues of critical cyber infrastructure. Applied Sciences, 11(10), 4580. https://doi.org/10.3390/app11104580

[9] Balogh P. (2024). „Túlélhetjük-e…?" - … avagy a számítógép nem játék" In: Csizmadia N., Kasznár A., Hágen Á., (eds.): Neumann János élete és munkássága. Lakitelek, Antológia Kiadó, 13-28.

[10] Maness, R. C., Valeriano, B., Hedgecock, K., Jensen, B. M., Macias, S. M. (2022). The Dyadic Cyber Incident and Campaign Dataset, version 2.0.

[11] Balogh P. (2025.) Hálózati aszimmetria az új évezred konfliktusaiban – bevezetés, értelmezés, alkalmazás, értékelés. Hadtudományi Szemle, 2025. különszám (megjelenés alatt)

From Whaleboats to LCACs – The Development of the US Marines Amphibious Doctrine

[1]Máté Domján

[1]*University of Szeged, Doctoral School of History, Szeged, Magyarország, domjan.mate@gmail.com*

Abstract

What is an amphibious operation? What types of these operations are distinguished, and how did they change throughout the 20th century? In this study, I will examine the development of the United States Marine Corps (USMC) amphibious doctrine through the changing definitions of the types of these operations. During this period, new types of amphibious operations were created, in conjunction with the structural changes of the USMC and the evolution of military technology.

Keywords: Whalesboats, US Marine, development

1. Amphibious operations

According to the definition of amphibious operations stated in the latest edition of the *Joint Publication 3-02 Amphibious Operations* by the Joint Chiefs of Staff, „*An amphibious operation is a military operation launched from the sea by an amphibious force (AF) to conduct landing force (LF) operations within the littorals. The littorals include those land areas (and their adjacent sea and associated air space) that are predominantly susceptible to engagement and influence from the sea and may reach far inland.*" [1]

These operations have four key characteristics: the coordination and cooperation of naval and landing forces, the rapid build-up of combat power on hostile shores, forces organized to the task, and the unity of effort and operational coherence.[2] In amphibious operations, the landing forces can be transported to the shores by amphibious vehicles or helicopters. The contemporary doctrine for amphibious operations differentiates five major types of these operations: amphibious assault, amphibious raid, amphibious demonstration, amphibious withdrawal, and other amphibious operations.[1]

The USMC first published its amphibious doctrine in 1933, titled *Tentative Manual of Landing Operations*. In this, they distinguished three types of landing operations: main landings, secondary landings, and demonstrations. The Navy adapted these in 1938 under the title *FTP 167 Landing Operations Doctrine*. They also expanded the list of operations with a new type, called surprise landings, and this was the first time landing raids appeared as an objective of these operations, too. After World War II, these operations were called amphibious operations.

In the 1960s, unified amphibious doctrines were created for the different branches of the US military, although every service used a different numbering system for them. The Marines adapted these doctrines under the title *LFM 01 Doctrine for Amphibious Operations* in 1962. This doctrine named four categories of amphibious operations: amphibious assault, amphibious raid, amphibious demonstration, and amphibious withdrawal.

During the 1980s and 1990s, the Joint Chiefs of Staff were working on a new system of unified doctrines for the military, under a common title and numbering system. Part of this progress was the *Joint Publication 3-02 Joint Doctrine for Amphibious Operations* in 2001, which divided amphibious operations into the five types, expanding the earlier list by the category of other amphibious operations.

1.1. Main landings and the amphibious assault

According to its definition, the main landing „[…] *is the landing upon which the success of the tactical plan depends. In the assignment of troops and supporting ships, it has first consideration and must be assigned the forces necessary for its success*. […] *In certain operations, no main landing may be initially designated; especially is this so where two or more strong landings are made and a large reserve is held out for the purpose of exploiting success. The landing which is exploited then becomes the main landing.*" [4]

In contrast to this, the *LFM 01* defined amphibious assaults relatively short, saying, „*The amphibious assault is the principal operational type of amphibious operation. It involves the landing and establishment of a landing force on a hostile shore.*" [5]

The *JP 3-02. Joint Doctrine for Amphibious Operations* uses a more detailed definition for these operations: *"an amphibious assault involves the establishment of an LF on a hostile or potentially hostile shore. The organic capabilities of amphibious forces, including fire support, logistics, and mobility, allow the United States to gain access to a crisis area by forcible entry.*" [2]

1.2. Secondary landings and subsidiary landings

The *Tentative Manual of Landing Operations* defined secondary landings as: [Those landings that are] *made outside the immediate area of the main landing, which directly or indirectly support the main landing. They may be made prior to, coincident with, or subsequent to the main landing.* […]" [3]

Although the title secondary landings vanished from the amphibious doctrines of the 1960s, there is a separate chapter in these publications, called subsidiary landings, which has an almost identical definition to them: „*An amphibious operation may require one or more subsidiary landings to be conducted outside the main landing area to support the main operation. These landings may be conducted before, during or after the main landing*. […]" [4]

Subsidiary landings are also mentioned in *JP 3-02;* however, that is only a subchapter of the action phase of amphibious operations. Their definition remained very similar to the ones from the previous publications: „*a subsidiary landing is a landing, normally conducted by elements of the amphibious force, usually made outside the designated landing area to support the main landing. An amphibious operation may require one or more subsidiary landings conducted before, during, or after the main landing*." [2]

1.3. Demonstrations and amphibious demonstrations

The demonstration is the last one of the three „original" types. In the 1930s, it was defined as: „*A Demonstration is an exhibition of force or movement indicating an attack, with or without an actual landing. It is made for the purpose of diverting enemy reserves, artillery fire, or aircraft, from the area of the main landing, or the retarding of enemy forces thereto.* […]" [3]

LFM 01 uses a very similar definition of amphibious demonstrations, but with different wording. It defines demonstrations as „[…] *an operation conducted for the purpose of deceiving the enemy by a show of force with the expectation of deluding the enemy into a course of action unfavorable to him. The demonstration is a feint at landing involving an approach to a beach or landing zone. It is intended to confuse the defender as to the time, place or strength of the main attack, and normally includes preparatory and supporting fires.*" [4]

In the 2001 doctrine, its definition has a short summary first, and then a longer explanation: "*The amphibious demonstration is intended to confuse the enemy as to time, place, or strength of the main operation.* [These operations] *may be conducted in conjunction with other deception operations in order to delude or confuse the enemy.* […]" [2]

1.4. Surprise landings

The „strangest" type of landings, the surprise landing, is only mentioned in the *FTP 167 Landing Operations Doctrine* from 1938. Its definition is: „*Rubber landing craft, track landing vehicles, and other special types of boats, as well as parachute troops, and troops transported during the night from a distant base by patrol planes or large commercial clipper planes, should be utilized to the fullest extent to execute surprise landings at points where, due to the nature of the beaches or terrain, landings would not ordinarily be expected. These landings may be in connection with or part of the main or secondary landings and should be made in accordance with the same principles and for the same purposes as previously set forth in this section.*"[5] In my opinion, this definition shows the explorative nature of early doctrines, trying to invent new types of operations, using modern inventions, and new types of units for landing operations.

1.5. Landing raids and amphibious raids

The landing raids also first appeared in the *FTP 167*, although only as an objective of landing operations. Its description says, „*Landing raids are generally made for the purpose of destroying enemy facilities and establishments* […]*, or for harassing defense forces, diverting attention from operations in other localities, and effecting division of enemy forces. Such operations depend largely for success upon rapidity of movement and surprise, and normally involve relatively small forces, a limited advance inland, and a quick withdrawal*.[…]" [5] The last sentence summarizes the most important aspects of raids, since its three key characteristics are the small, task-organized forces, swift incursion into the objective area, and a planned withdrawal at the end.

The 1962 doctrine mentioned amphibious raid as a type of amphibious operations and used a similar definition. According to this, „*An amphibious raid is a landing from the sea on a hostile shore involving swift incursion into or temporary occupancy of an objective followed by a planned withdrawal.*" [4]

The *JP 3-02* also used a very similar definition for these operations, saying, „*An amphibious raid is an operation involving a swift incursion into or the temporary occupation of an objective to accomplish an assigned mission followed by a planned withdrawal.*" [2]

1.6. Amphibious withdrawal

LFM 01 defined amphibious withdrawal as „[…] *a withdrawal of forces by sea in naval ships or craft from a hostile shore.*" [4] This is relatively short, although it contains the important details of this type of operation.

In 2001, the definition of this type of operation was almost the same as earlier. It says, „*Amphibious withdrawals are operations conducted to extract forces by sea in ships or craft from a hostile or potentially hostile shore*." [2]

1.7. Other amphibious operations

This is the „youngest" type of amphibious operations, first published in 2001, and because of that, the definition of this type cannot be compared to the ones from earlier doctrines. In this publication, there is no real definition for these operations, although it has highlighted that the capabilities of amphibious forces are well-suited for military operations other than war (MOOTW) [2].

2. Conclusion

The typology of amphibious operations went through many changes during the 20th century. From the definitions used in the different amphibious doctrines, we can see the similarities and differences between each doctrine. We can also trace the development of certain types from their definitions, and there are some types that were abandoned or "demoted" after an experimentation phase. The main landings of the 1930s became the archetype for amphibious assault, although elements of it were absorbed by some other types. The secondary landing lost its place amongst the types of amphibious operations; however, it was never completely forgotten. The demonstration changed the least, from the original types, only elements of its definition have been refined. The landing raid went from being only an objective of amphibious operations to becoming one of the most prominent types in the late 20th century, also becoming the basis for some other operational types. Amphibious withdrawals evolved during the second half of the century and went through only some minor changes. At last, the other amphibious operations, which were only published at the dawn of the 21st century, have become one of the most popular types of amphibious operations since, covering a wide range of operations, where military capabilities can be used, outside of fighting.

From these, it is clear that the evolution of amphibious operations did not stop by the end of the century, and they have been developing ever since. The US Marines will always find a way to adapt to the changing world of conflicts, and wherever they go, the amphibious warfare will evolve with them.

3. References

[1] Joint Chiefs of Staff. (2019/2021) *JP 3-02. Joint Doctrine for Amphibious Operations*. xi; I-3–I-4.

[2] Joint Chiefs of Staff. (2001) *JP 3-02. Joint Doctrine for Amphibious Operations*. xi; I-2.; XV-3; XV-6; XV-9; XV-5; XV-11.

[3] Department of Navy (1933/1934) *Tentative Manual of Landing Operations, Chapters 1-7*. Washington D.C.:, Chapter I. 5; uo.; Chapter I. 6;

[4] Departments of the Army and the Navy (1962) *LFM 01. Doctrine for Amphibious Operations.* Washington D.C.:.1-4; 5-3; 1-4; 19-3; 17-3.

[5] Office of Naval Operations, Division of Fleet Training. (1938) *FTP 167. Landing Operations Doctrine*. Washington D.C.:, 9.; 2.;

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Engineering Symposium at Bánki
(ESB 2024)

Predicting Anterior Cruciate Ligament Changes During Unexpected Side Cutting Based on Inertial Sensors

[1]Enze Shao, [2] Tibor Goda

[1] Obuda University. Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary, shaoenze@hotmail.com
[2] Obuda University. Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary, goda.tibor@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

In sports and athletic competitions, efficient lateral cutting maneuvers (LCMs) and directional changes are essential for optimal performance. This study involved 18 male athletes who were screened by professional physicians. A Random Forest classification model was employed to predict anterior cruciate ligament (ACL) injuries during outdoor LCMs and running. Results indicated that during 90° LCMs, compared to LCMs in other directions and running, the knee joint experienced greater flexion angles, increased abduction moments, and elevated coronal-plane knee contact forces. OpenSim calculations further demonstrated significantly higher ACL strain values during 90° LCMs relative to other movement conditions. Training and validation of inertial sensor data using the Random Forest model revealed high sensitivity and accuracy in identifying key time-domain and frequency-domain features, specifically "kurtosis," "skewness," "variance," "energy," and the "25th percentile."

Keywords: Lower limb biomechanics, anterior cruciate ligament, inertial sensors, machine learning

1. Introduction

In the aftermath of the COVID-19 pandemic, promoting physical and mental health through exercise has garnered widespread attention. With the implementation of relevant policies, participation in sports such as basketball, football, and badminton in stadiums has become increasingly accessible. In these sports, the ability to perform rapid directional changes and lateral cutting maneuvers (LCMs) is crucial for success [1]. Consequently, optimizing LCM execution for individuals and teams plays a significant role in both training and competition [2].

Successful execution of LCMs relies on two key requirements [3]. First, the center of mass (COM) must decelerate in the original direction and accelerate toward the new direction of motion. Second, the body must rotate accordingly toward the new direction. Research indicates that during 90° LCMs, the final ground contact before the transition phase is responsible for most deceleration. In contrast, the transition phase primarily facilitates acceleration into the new direction [4].

To achieve COM deceleration, athletes must produce a backward-directed ground reaction force (GRF) by positioning their COM behind the center of force application (CFA). Conversely, to accelerate in the new direction, they need to generate a forward-directed GRF by positioning their COM ahead of the CFA. Efficient transition between deceleration and acceleration within a short time frame is a key determinant of high-performance LCMs.

Research indicates that 72% of ACL injuries result from non-contact mechanisms, while 28%

are caused by contact mechanisms [5]. A common non-contact mechanism involves deceleration before or during directional changes [6]. Building on these findings, numerous studies have examined lateral cutting maneuvers (LCMs) [7], landings [8], and jumping tasks [9], identifying harmful lower extremity biomechanics, such as increased knee valgus moments, elevated quadriceps EMG activity, and greater knee valgus angles—all associated with non-contact anterior cruciate ligament (ACL) injuries.

Traditional assessments of lower extremity injuries rely on 3D motion analysis systems and force plates to capture kinematic and kinetic data [10]. However, these methods are costly and spatially restrictive, limiting their use in clinical and sports settings [11,12]. In contrast, wearable devices can capture athletes' biomechanical characteristics in real-world environments, offering valuable insights for on-site analysis of complex movements [13,14]. Inertial Measurement Units (IMUs)—which integrate gyroscopes, accelerometers, and magnetometers—are the leading tools for quantifying movement behaviors [15].

Studies combining inertial sensors with machine learning have demonstrated the effectiveness of these tools in preventing sports injuries [16-18]. Researchers collect data on post-surgery characteristics, technical errors in patients or athletes, and movement patterns of healthy individuals. After data post-processing and action recognition, these datasets are used to train algorithmic models. For injury prevention or rehabilitation diagnostics, classification models with binary outputs ("0" or "1") are typically employed to indicate correct or incorrect movements, or injury presence or absence. These labeled inputs and outputs provide a clear and practical basis for decision-making in research and clinical practice.

Building on these promising results, ACL injury prevention research can adopt a similar approach. Collecting movement characteristics associated with elevated ACL loads and comparing them to those with normal ACL loads, a machine learning classification model can be applied to distinguish between these conditions. This method may enhance the assessment of ACL injury risk during lateral cutting maneuvers (LCMs).

2. Methods

2.1 Participant Recruitment

A total of 25 healthy male university students from Ningbo, who regularly engaged in sports involving frequent side-cutting movements (such as basketball, football, and frisbee) at least three times per week, were recruited through offline promotions, online recruitment, and other methods. All participants were free of foot deformities, lower limb muscle or joint injuries, and had no history of sports-related injuries or surgeries within the six months before the experiment. The experimental process and requirements were clearly explained to participants beforehand.

To ensure eligibility, all participants underwent magnetic resonance imaging (MRI) scans and were assessed by professional physicians for knee ligament integrity. Ultimately, 18 participants met the minimum sample size criteria and were included in the study. All participants demonstrated right-leg dominance.

The study was approved by the Ethics Committee of the Ningbo University Research Institute (RAGH20220929, September 29, 2022). Written informed consent was obtained from all participants, who were made aware of the study's objectives, procedures, and requirements.

2.2 Experimental Procedure

The Delsys EMG system (Delsys, Boston, MA, USA) was used to synchronously collect EMG signals from the right leg's biceps femoris, rectus femoris, tibialis anterior, and gastrocnemius

muscles at a sampling frequency of 1000 Hz for validation in the OpenSim model [19]. Infrared photoelectric timers (Smart Speed, Fusion Sport Inc., Burbank, CA, USA) monitored lateral cutting maneuver (LCM) speeds and calculated participants' maximum sprint speeds. Inertial sensors (IMeasureU V1, Auckland, New Zealand; dimensions: 40 × 28 × 15 mm, weight: 12g, resolution: 16 bit) were affixed to the proximal and distal anteromedial tibiae of each participant's dominant leg using elastic bands, aligned with the vertical axis of the tibiae (see Figure 1) [20].

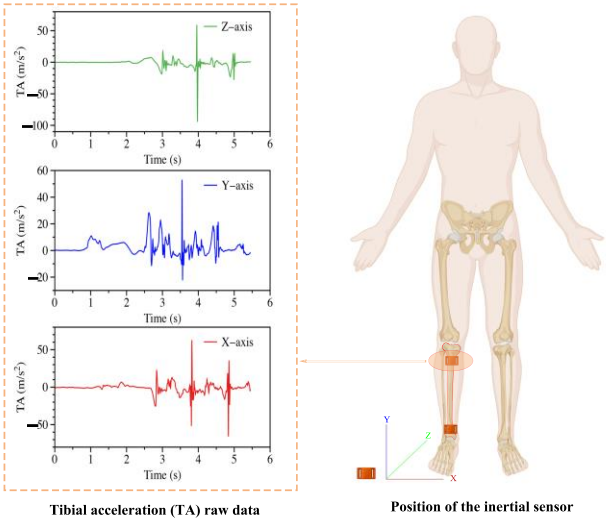


Figure 1. Raw tibial acceleration data (left) and anatomically fixed position of the IMU (right)

Participants wore standardized tight shorts and identical footwear during testing. Each session began with a 10-minute warm-up guided by a professional fitness coach. Eligible male athletes performed LCM tests in a laboratory setting.

Before the LCM test, participants completed three static standing trials by standing with feet shoulder-width apart on a force plate. For the LCM biomechanical tests and IMU data collection, participants accelerated to 70% of their previously measured maximum sprint speed upon the experimenter's command. After a 10-meter sprint, they entered the designated change-of-direction area (approximately 2 meters from the force plate) and executed LCMs or running actions according to randomly illuminated lights.

Prior to each trial, participants stood still for 3 seconds at the starting position to facilitate the segmentation of acceleration phases, gyroscope data acquisition, and movement direction correction. The random light sequence was limited to a maximum of two repetitions to minimize the impact of familiarity on coordination and reaction speed.

2.3 Data Processing

Three-dimensional knee joint models were generated for all participants from MRI scans and analyzed following virtual ACL reconstruction using finite element software. Image segmentation to define skeletal boundaries was performed using Mimics 20.0 (Materialise, Leuven, Belgium). To refine uneven surfaces caused by stacked medical images, Geomagic Studio 2013 (Geomagic, Inc., Research Triangle Park, NC, USA) was employed. Each processed surface component was then imported into SolidWorks 2020 (SolidWorks Corporation, MA, USA) to create solid parts. In SolidWorks 2020, ligaments and muscle tissues were reconstructed based on the anatomical

characteristics of the knee and ankle joints.

Previous studies have shown that the ACL exhibits viscoelastic properties, with tensile behavior dependent on strain rate or loading rate [21]. Consequently, the ACL was modeled as a nonlinear elastic passive soft tissue [22], with fixed insertion points in the femur and tibia.MATLAB was used for coordinate system conversion, low-pass filtering, data extraction, and dataset format conversion [19]. Kinematic data for static calibration and joint angle calculations were obtained from ".trc" files, while kinetic data, such as ground reaction forces, centers of pressure, and torques, were contained in ".mot" files. Marker trajectories from LCM trials were processed using OpenSim 4.2 (Stanford University, Stanford, CA, USA) to derive kinematic and kinetic data of the participants.

Tibial accelerations during LCMs were synchronously recorded with a triaxial accelerometer at a frequency of 500 Hz, both in laboratory and field conditions. Linear trends in the raw data were removed using the least-squares best-fit line method [23]. A second-order Butterworth low-pass filter with a 60 Hz cut-off frequency was then applied [24]. While axial acceleration is frequently reported, recent studies advocate for the assessment of resultant acceleration [25,26]. Therefore, this study calculated resultant acceleration (RA) using the following formula:

$$\mathrm{RA}=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$$

2.4 Establishment, Training, and Validation of the Random Forest Machine Learning Model

In this study, six types of data features were extracted from two IMUs, with each IMU transmitting three-axis data features. Given the highly nonlinear and continuous nature of these input variables, the random forest method was deemed appropriate for analysis [27].

A robust nonlinear classifier, the random forest, was used to develop the classification model, comprising 128 decision trees. This number was determined after evaluating the accuracy of tree quantities ranging from 1 to 500. Although classification accuracy generally improves with more trees, gains beyond 128 trees were negligible.

To balance the training data for binary classification (i.e., acceptable vs. abnormal repetitions), random instances from the overrepresented category were removed. Participants were excluded from analysis if they did not perform at least two repetitions per classification category, as insufficient data would hinder model training and testing.

Model performance was evaluated using accuracy, sensitivity, and specificity metrics. Accuracy represents the overall classifier effectiveness and is calculated as the ratio of correctly classified examples to the total number of examples. Sensitivity measures the classifier's ability to identify the target label, while specificity assesses its ability to detect the negative label.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP}$$

2.5 Statistical Analysing

All statistical analyses were conducted using SPSS 26.0 (IBM, NY, USA) and MATLAB R2018a (The MathWorks, Natick, MA, USA). The Shapiro-Wilk test was performed to assess

Gaussian normality. For data that did not meet normality assumptions, a secondary check was conducted using the Q-Q normal distribution plot. Based on the results of the normality tests [28], one-way repeated measures ANOVA with Statistical Parametric Mapping (SPM1d) or Non-Parametric Mapping (SnPM1d) was used to compare knee joint angles, moments, contact forces, and ACL strains across different side-cutting directions and running during the LCM phase. Holm-Bonferroni correction was applied to account for multiple comparisons. Pearson correlation coefficients (r^2) were calculated to assess linear relationships between ACL stress and strain.

Statistical Parametric Mapping (SPM) involves analyzing one-dimensional biomechanical data, such as joint angles, moments, ground reaction forces, and electromyography, after temporal-spatial smoothing and standardization. Originating from neuroimaging, SPM offers advantages over traditional methods that assess discrete points, enabling the analysis of continuous biomechanical data.

3. Methods

3.1 Kinematics

The results showed that there were significant differences in knee flexion-extension angles among subjects when performing 90°, 45° LCM, and running (5%-95% of the stance phase, P<0.001, F=4.162); there were significant differences in knee internal-external rotation angles during 8%-91% of the lower limb support phase (P=0.001, F=12.615); and there were significant differences in knee abduction-adduction angles during 0%-100% of the lower limb support phase (P<0.001, F=6.452). Post-hoc comparison of knee flexion angles revealed that knee flexion angles during 90° LCM were significantly greater than those during 45° LCM (P<0.001) and running (P<0.001), respectively, during 20%-82% and 8%-95% of the support phase; knee flexion angles during 45° LCM were significantly greater than those during running (P<0.001). Using one-way repeated measures ANOVA in SnPM1d, the results showed that there were significant differences in knee strain changes among subjects when performing 90°, 45° LCM, and running (0-100% of the support phase, P<0.001, F=12.162).

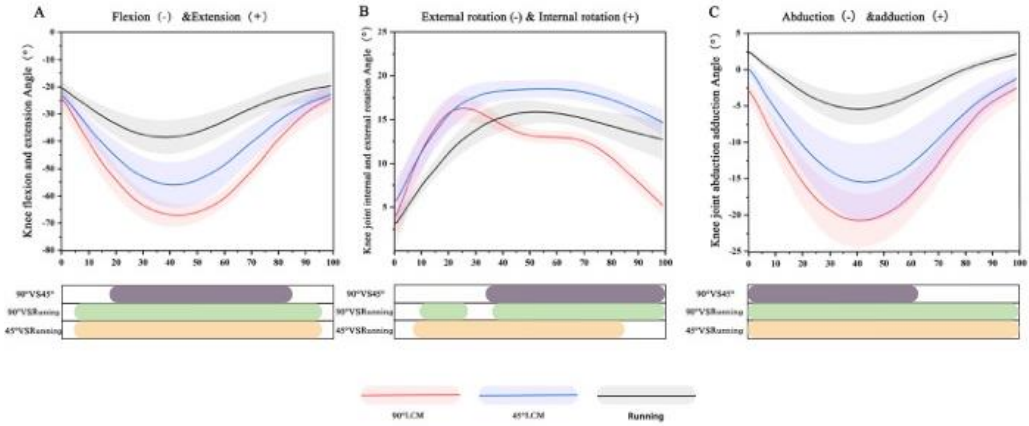


Figure 2. Changes in the joint angle of the knee joint during the support period during various movement states,

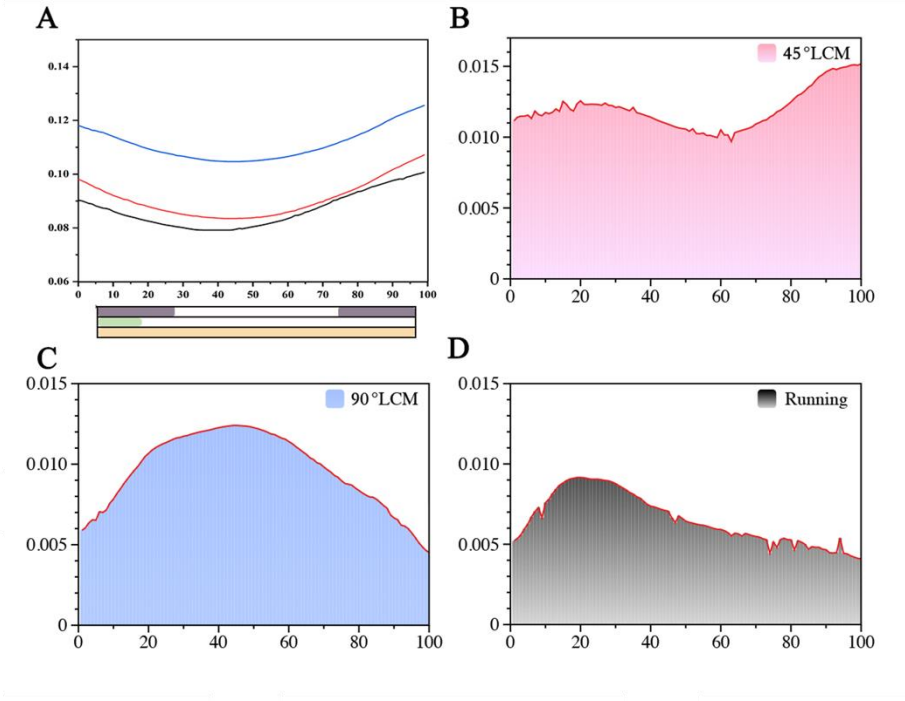
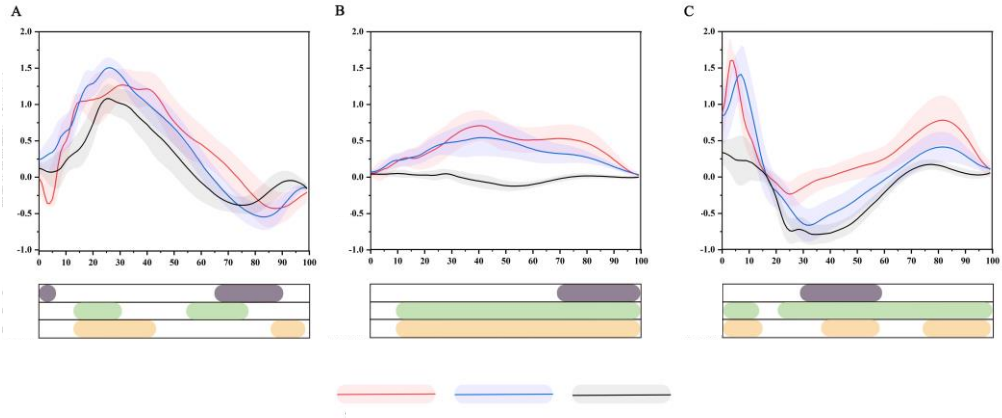


Figure 3. The ACL strain of the knee joint was changed during 45°, 90° LCM, and running. Figures B, C, and D represent the change in standard deviation at 45°, 90° LCM, and running, respectively.

3.2 Dynamics

Using the one-dimensional single-factor repeated measures ANOVA in SnPM1d, the results showed that there were statistically significant differences in knee flexion-extension moments during the 0%-45% (P=0.01) and 55%-98% (P=0.01) stance phases, as well as internal-external rotation moments during the 10%-100% (P=0.042) stance phase, and abduction-adduction moments during the 0%-15% (P=0.01) and 20%-100% (P=0.01) stance phases when subjects completed 90°, 45° LCM (Lateral Cut Movement), and running. Post-hoc comparisons of knee flexion-extension moments revealed that the knee flexion moment during 90° LCM was significantly smaller than that during 45° LCM in the 0%-6% and 65%-85% stance phases (P=0.01 and P=0.01, respectively) and significantly larger than that during running in the 11%-30% and 55%-72% stance phases (P=0.001 and P=0.001, respectively). The results of the one-dimensional single-factor repeated measures ANOVA in SnPM1d also showed that there were statistically significant differences in contact forces in the sagittal plane (10%-100%), frontal plane (10%-30%, 60%-87%), and transverse plane (10%-34%, 40%-60%) of the knee joint during 90°, 45° LCM, and running, with statistical results of P=0.020, P=0.042, and P=0.030, respectively. Post-hoc comparisons of sagittal plane contact forces revealed that knee contact forces during 45° LCM were significantly greater than those during 90° LCM (10%-99% stance phase, P<0.001) and running (20%-80% stance phase, P<0.001); during the 38%-80% stance phase, knee contact forces during 90° LCM were significantly greater than those during running (P<0.05).



Changes in joint moments of the knee joint during the support period for various movement states

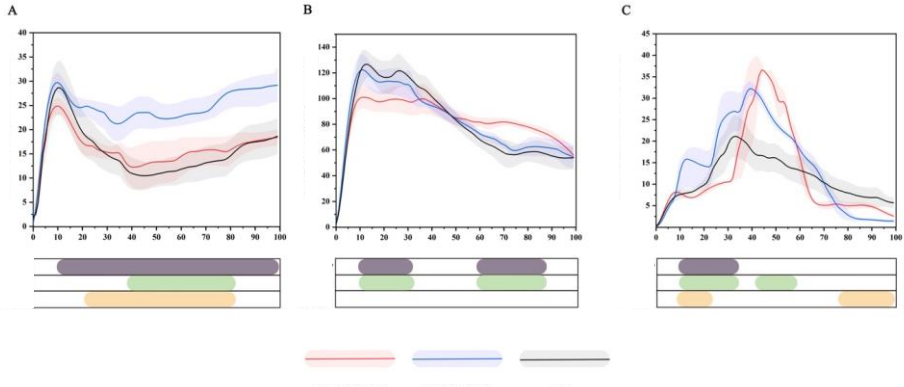


Figure 5 Variation of joint contact forces at the knee joint during the support period for various states of motion

3.3 Performance of the "Random Forest" Classification Model

In this study, a total of 18 subjects were recruited to collect 300 sets of feature data from two IMUs (Inertial Measurement Units) outdoors and indoors during 45°, 90°, 135°, 180° LCM, and running, totaling 600 sets of IMU data as the overall dataset. Among them, IMU data with ACL strain levels between 9% and 15% and accounting for more than 50% of the standing phase during a complete movement were considered as "high ACL strain IMU data," and a total of 150 sets of data were obtained through OpenSim simulation calculations, while the remaining data were considered as "low ACL strain IMU data." "Mean," "RMS" (Root Mean Square), "standard deviation," "kurtosis," "median," "skewness," "variance," "maximum value," "minimum value," "energy," "25th percentile," and "75th percentile" were used as the feature values for each set of IMU data for training and obtained the following training performance (See Table 1).

Table 1. Training results for feature data

Eigenvalue	Accuracy (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)
Mean value	82	80	93
RMS	85	72	90
Kurtosis	96	86	92
Mid-value	92	88	90
Skewness	97	90	86
Yariance	95	88	88
Maximum value	90	82	93
Minimum value	91	83	80
Energy	96	92	82
The 25th percentile	96	89	93
The 75th percentile	92	90	91

4. Discussion

This study employed finite element simulation software, such as Mimics and Geomagic Studio, to model nonlinear elastic passive soft tissues and imported them into the OpenSim platform to create personalized musculoskeletal models. The secondary aim was to investigate the impact of different LCM directions on lower limb biomechanics by comparing knee joint angles, moments, and contact forces during the stance phase of LCMs in various directions and running. Additionally, ACL strain and stress were quantified using the CMC (Computed Muscle Control) and FD (Force Direction) tools. The findings revealed that during rapid deceleration and direction change in 135° and 180° LCM scenarios, the early involvement of the hip joint and the forward shift of the body's center of mass resulted in significantly lower ACL strain compared to the 90° LCM, with a strain range between 9%-10%. Consequently, this study focused on LCM directions between 90° and 45°. Furthermore, the study aimed to classify and train LCM feature data from different directions by developing a machine learning classification model, with the goal of enabling accurate ACL injury assessment using a small number of portable sensors.

The results of this study indicated that the knee flexion and valgus angles during 90° LCM were significantly greater than those during 45° LCM and running. This could be because athletes need to make a more substantial change in direction during the 90° LCM, requiring the knee joint to undergo a larger range of flexion and rotation. Such movements likely place higher demands on knee joint stability and motor control, potentially increasing the risk of knee injuries. By positioning the knee closer to the resultant ground reaction force vector, frontal plane knee motion directly affects multiplanar knee loads. Previous studies have introduced the concept of the "dynamic valgus" position, where valgus knees, adducted and internally rotated hips, and valgus ankles with internal rotation are identified as established risk factors for non-contact ACL injuries. Consequently, researchers recommend that athletes align the sagittal plane of the knee joint during LCMs. Our results showed an initial varus moment at the knee, which could significantly impact ACL loading.

Previous studies have identified externally applied knee flexion moments and varus moments as major contributors to ACL stress. As the knee approaches full extension at heel strike, the ground

reaction force arm increases perpendicular to the knee, thereby amplifying the anterior shear force and potentially increasing ACL loads. In other words, greater flexion moments lead to higher tibial angular acceleration, which may induce larger ACL strains. A similar theoretical framework was presented by Jones P.A. et al., who confirmed a significant negative correlation between side trunk inclination and flexion moments. However, the methodological quality of that study was low (33% of the expected standard), and the correlation between trunk muscle activation and knee abduction moments, as mentioned above, prevents it from being the sole basis for conclusions.

IMUs bridge the gap between laboratory and clinical biomechanical assessments, enabling the acquisition of objective human motion data in unconstrained environments at a low cost. This capability has led to further research and discussions. Combining machine learning and IMUs for classifying or predicting known datasets is currently a cost-effective and applicable method. Studies have demonstrated that IMU systems can monitor sports biomechanics with moderate to excellent accuracy. Therefore, this study also relies on the validation and repeated application of methods previously explored. Previous research primarily focused on the impact of individual gait variables when analyzing gait patterns. This study collected actual LCM data from subjects in both laboratory and outdoor settings, screened high-stress and low-stress feature data using multiple correlation coefficient methods, and demonstrated the potential to gather extensive clinical biomechanical data using portable wireless devices.

5. Conclusion

IMUs bridge the gap between laboratory and clinical biomechanical assessments, enabling the acquisition of objective human motion data in unconstrained environments at a low cost. This capability has led to further research and discussions. Combining machine learning and IMUs for classifying or predicting known datasets is currently a cost-effective and applicable method. Studies have demonstrated that IMU systems can monitor sports biomechanics with moderate to excellent accuracy. Therefore, this study also relies on the validation and repeated application of methods previously explored. Previous research primarily focused on the impact of individual gait variables when analyzing gait patterns. This study collected actual LCM data from subjects in both laboratory and outdoor settings, screened high-stress and low-stress feature data using multiple correlation coefficient methods, and demonstrated the potential to gather extensive clinical biomechanical data using portable wireless devices.

This study found that, compared to other LCM directions and running, the knee joint exhibited higher flexion angles, abduction moments, and increased knee contact forces in the frontal plane during 90° LCM. Calculations using OpenSim tools revealed that ACL strain values during 90° LCM were significantly higher than those during other movement states, particularly during the initial landing and push-off phases. By utilizing the random forest classification model, inertial sensor feature data were separately trained and validated. The results demonstrated that the model exhibited high sensitivity and accuracy (both exceeding 95%) for time-domain and frequency-domain features such as "kurtosis," "skewness," "variance," "energy," and the "25th percentile," offering valuable insight into the selection of input features for similar classification model training.

6. References

[1] Sheppard, J.M.; Young, W.B. Agility literature review: Classifications, training and testing. Journal of sports sciences 2006, 24, 919-932.

[2] Dos'Santos, T.; Thomas, C.; McBurnie, A.; Comfort, P.; Jones, P.A. Change of direction speed and technique modification training improves 180 turning performance, kinetics, and kinematics. Sports 2021, 9, 73.

[3] Jindrich, D.L.; Smith, N.C.; Jespers, K.; Wilson, A.M. Mechanics of cutting maneuvers by ostriches (Struthio camelus). Journal of Experimental Biology 2007, 210, 1378-1390.

[4] Havens, K.L.; Sigward, S.M. Whole body mechanics differ among running and cutting maneuvers in skilled athletes. Gait & posture 2015, 42, 240-245.

[5] Boden, B.P.; Dean, G.S.; Feagin, J.A.; Garrett, W.E. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. 2000, 23, 573-578.

[6] Chappell, J.D.; Herman, D.C.; Knight, B.S.; Kirkendall, D.T.; Garrett, W.E.; Yu, B. Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics in stop-jump tasks. The American journal of sports medicine 2005, 33, 1022-1029.

[7] Besier, T.F.; Lloyd, D.G.; Ackland, T.R. Muscle activation strategies at the knee during running and cutting maneuvers. Medicine and science in sports and exercise 2003, 35, 119-127.

[8] Benjaminse, A.; Habu, A.; Sell, T.C.; Abt, J.P.; Fu, F.H.; Myers, J.B.; Lephart, S.M. Fatigue alters lower extremity kinematics during a single-leg stop-jump task. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy 2008, 16, 400-407.

[9] Padua, D.A.; Arnold, B.L.; Perrin, D.H.; Gansneder, B.M.; Carcia, C.R.; Granata, K.P. Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females. Journal of athletic training 2006, 41, 294.

[10] David, S.; Mundt, M.; Komnik, I.; Potthast, W. Understanding cutting maneuvers – The mechanical consequence of preparatory strategies and foot strike pattern. Human Movement Science 2018, 62, 202-210, doi:https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.10.005.

[11] Patoz, A.; Lussiana, T.; Breine, B.; Gindre, C.; Malatesta, D. Both a single sacral marker and the whole-body center of mass accurately estimate peak vertical ground reaction force in running. Gait & Posture 2021, 89, 186-192.

[12] Verheul, J.; Nedergaard, N.J.; Vanrenterghem, J.; Robinson, M.A. Measuring biomechanical loads in team sports–from lab to field. Science and Medicine in Football 2020, 4, 246-252.

[13] van der Kruk, E.; Reijne, M.M. Accuracy of human motion capture systems for sport applications; state-of-the-art review. European journal of sport science 2018, 18, 806-819.

[14] Di Paolo, S.; Lopomo, N.F.; Della Villa, F.; Paolini, G.; Figari, G.; Bragonzoni, L.; Grassi, A.; Zaffagnini, S. Rehabilitation and return to sport assessment after anterior cruciate ligament injury: quantifying joint kinematics during complex high-speed tasks through wearable sensors. Sensors 2021, 21, 2331.

[15] Camomilla, V.; Bergamini, E.; Fantozzi, S.; Vannozzi, G. Trends Supporting the In-Field Use of Wearable Inertial Sensors for Sport Performance Evaluation: A Systematic Review. Sensors 2018, 18, 873.

[16] Jang, W.-J.; Lee, K.-K.; Lee, W.-J.; Lim, S.-H. Development of an Inertial Sensor Module for Categorizing Anomalous Kicks in Taekwondo and Monitoring the Level of Impact. Sensors 2022, 22, 2591.

[17] Han, S.-L.; Xie, M.-J.; Chien, C.-C.; Cheng, Y.-C.; Tsao, C.-W. Using MEMS-based inertial sensor with ankle foot orthosis for telerehabilitation and its clinical evaluation in brain injuries and total knee replacement patients. Microsystem Technologies 2016, 22,

625-634.

[18] Giggins, O.M.; Sweeney, K.T.; Caulfield, B. Rehabilitation exercise assessment using inertial sensors: a cross-sectional analytical study. Journal of neuroengineering and rehabilitation 2014, 11, 1-10.

[19] Delp, S.L.; Anderson, F.C.; Arnold, A.S.; Loan, P.; Habib, A.; John, C.T.; Guendelman, E.; Thelen, D.G. OpenSim: open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. IEEE transactions on biomedical engineering 2007, 54, 1940-1950.

[20] Tenforde, A.S.; Hayano, T.; Jamison, S.T.; Outerleys, J.; Davis, I.S. Tibial acceleration measured from wearable sensors is associated with loading rates in injured runners. PM&R 2020, 12, 679-684.

[21] Koga, H.; Muneta, T. ACL injury mechanisms. ACL injury and its treatment 2016, 113-125.

[22] Cheng, E.J.; Brown, I.E.; Loeb, G.E. Virtual muscle: a computational approach to understanding the effects of muscle properties on motor control. Journal of neuroscience methods 2000, 101, 117-130.

[23] Shorten, M.R.; Winslow, D.S. Spectral analysis of impact shock during running. Journal of Applied Biomechanics 1992, 8, 288-304.

[24] Hennig, E.M.; Lafortune, M.A. Relationships between ground reaction force and tibial bone acceleration parameters. Journal of Applied Biomechanics 1991, 7, 303-309.

[25] Sheerin, K.R.; Reid, D.; Besier, T.F. The measurement of tibial acceleration in runners—A review of the factors that can affect tibial acceleration during running and evidence-based guidelines for its use. Gait & Posture 2019, 67, 12-24.

[26] Milner, C.E.; Hawkins, J.L.; Aubol, K.G. Tibial Acceleration during Running Is Higher in Field Testing Than Indoor Testing. Medicine and Science in Sports and Exercise 2020, 52, 1361-1366.

[27] Breiman, L. Random forests. Machine learning 2001, 45, 5-32.

[28] Pataky, T.C.; Vanrenterghem, J.; Robinson, M.A. Zero-vs. one-dimensional, parametric vs. non-parametric, and confidence interval vs. hypothesis testing procedures in one-dimensional biomechanical trajectory analysis. Journal of biomechanics 2015, 48, 1277-1285.

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Engineering Symposium at Bánki
(ESB 2024)

Advances in the application of orthotic insoles for flatfoot treatment

[1]Hairong Chen, [2]István Bíró

[1] *Obuda University, Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary. chen.hairong@phd.uni-obuda.hu*
[2] *University of Szeged, Faculty of Engineering, Szeged, Hungary. biro-i@mk.u-szeged.hu*

Abstract

Structural abnormalities in the foot arch, such as flatfoot, can cause issues like plantar fasciitis and hallux valgus. Orthotic insoles effectively alleviate discomfort by enhancing plantar proprioception, optimizing pressure distribution, and improving ankle stability. Custom insoles, particularly for children, restore the arch and compensate for its function, showing significant benefits for patients with severe symptoms or multiple joint disorders. However, challenges include unclear biomechanical mechanisms, limited long-term follow-up data, and insufficient studies under weight-bearing conditions. Future research should involve rigorously designed, large-scale clinical trials to explore the long-term efficacy of custom insoles and their biomechanical effects in diverse flatfoot populations.

Keywords: flatfoot, orthotic insoles, biomechanics, healthcare

1. Introduction

Flatfoot is a common foot abnormality characterized by arch collapse, forefoot abduction, and hindfoot eversion. In diagnosis, weight-bearing X-ray imaging is considered a precise method. A Meary's angle greater than 4° on a lateral radiograph is indicative of flatfoot; 15°< Meary's ≤ 30°indicates moderate flatfoot, and >30° indicates severe flatfoot [1]. Footprint analysis and morphological measurements are often used for large-scale epidemiological studies and initial clinical screening due to their simplicity, low cost, and non-invasiveness, but they involve a certain degree of subjectivity. Studies have shown that the prevalence of flatfoot in preschool children can reach up to 45%, while in adults, the prevalence is about 5%-15% [2]. Flatfoot can lead to fatigue and pain in the feet after prolonged standing or walking and may cause discomfort in other areas through kinetic chain reactions and compensatory mechanisms, such as medial tibial stress syndrome, knee pain, pelvic tilt, lumbar lordosis, and back pain [3]. This can reduce the quality of life for the patient, physical activity, and even their social participation.

Orthotic insoles are a common treatment for flatfoot, providing arch support and redistributing plantar pressure to restore normal biomechanical structure, thereby alleviating symptoms and preventing disease progression [4]. Clinically, orthotic insoles are mainly categorized into three types: prefabricated, semi-custom, and custom-made. Their use can help some patients avoid surgical treatment and significantly improve their quality of life. This article will summarize recent research, focusing on the design of orthotic insoles and their impact on the biomechanics of the lower limbs in flatfoot patients, aiming to provide a reference for future research and technological development.

2. Materials and methods

2.1 Sources of information

This study collected relevant literature published from September 2014 to September 2024 by searching the full-text databases of PubMed, Web of Science, and Embase. The English keywords used for the search included "flatfeet," "orthopedic insoles," "foot orthoses," "effect," "biomechanics," and "mechanism." The types of literature included were research articles, reviews, case reports, meta-analyses, and guidelines.

2.2 Inclusion and exclusion criteria

The inclusion criteria for this study involved an initial screening based on the article title and abstract, followed by a thorough reading to identify research articles, reviews, case reports, meta-analyses, and guidelines closely related to the design and application of orthotic insoles in the treatment of flatfoot. Additionally, important references from high-quality literature were included.

The exclusion criteria were: excluding literature that had a weak correlation with the research objective or target population, as well as studies with a high degree of redundancy.

3. Results

3.1 Flatfoot

The foot arch is formed by the tarsal bones, metatarsal bones, and foot joints, ligaments, and tendons, creating an upward convex arch structure that can be divided into the longitudinal and transverse arches. The medial longitudinal arch, known as the elastic arch, is responsible for the elastic function of the foot arch, while the lateral longitudinal arch, called the supporting arch, mainly maintains the upright posture of the body. According to the distribution of plantar pressure, the front ends of the two longitudinal arches bear about 40% of the plantar pressure, and the rear ends bear about 30%; the lateral transverse arch accounts for 15%, the big toe accounts for 15%, and the remaining four toes account for 7%. The total pressure on the forefoot and toes accounts for 52%. The foot arch functions like an arch bridge, capable of bearing weight and reducing compression on the nerves and blood vessels of the foot.

Flatfoot is typically defined as a lowering or disappearance of the medial arch, accompanied by hindfoot valgus and talar descent (Figure. 1). The causes of flatfoot can be congenital or acquired. Congenital factors include genetics and foot deformities, manifesting as congenital arch collapse, ankle joint instability, and abnormal gait. Acquired flatfoot is related to factors such as obesity, injury, foot soft tissue underdevelopment, prolonged standing, and excessive foot load, which can lead to fatigue of the structures that maintain the arch or foot fractures. Studies have shown that flatfoot patients experience increased peak plantar pressure, leading to foot injury [5]. Additionally, flatfoot patients have a higher arch index and ankle inversion index compared to those with normal feet. Research analyzing the muscle groups around the ankle joint during exercise in flatfoot patients found that due to weaker ankle dorsiflexor strength, patients compensate by increasing the flexion angles of the hip and knee joints [6]. Furthermore, a low arch causes a higher recruitment of deep muscles in the posterior lower leg during the support phase. This suggests that flatfoot patients have an uneven distribution of plantar pressure, which can compress the blood vessels and nerves in the foot and lead to compensatory abnormalities in the lower limb muscles, affecting foot stability.

Flatfoot patients often experience plantar pain, foot deformities, knee pain, and abnormal gait due to abnormal arch structure and biomechanical dysfunction, potentially leading to secondary conditions such as plantar fasciitis and scoliosis. Research has found that flatfoot patients have a

longer proportion of time in the heel-strike phase and a shorter duration in the heel-off phase during the gait cycle, indicating poor cushioning and push-off capabilities during walking [7]. The imbalance in plantar pressure significantly increases the load on the metatarsals, accelerating the process of arch damage. In terms of lower limb muscle activity [8], studies have found that flatfoot patients show significantly increased activity in the tibialis anterior and rectus femoris muscles when climbing stairs, along with increased electromyographic activity in the tibialis anterior, gastrocnemius (both medial and lateral heads), and rectus femoris muscles [9]. These changes reflect compensatory responses in the feet of flatfoot patients during stair climbing to prevent excessive external rotation. Therefore, the abnormal distribution of plantar pressure in flatfoot patients often leads to muscle tissue damage and is accompanied by compensatory foot movement abnormalities.

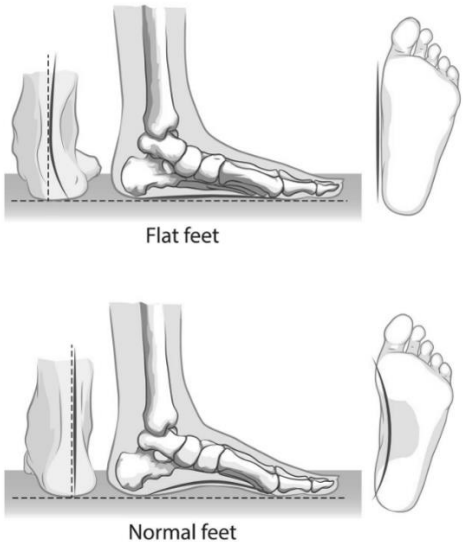


Figure 1. Differences between flatfoot and normal foot

3.2 Design principles of orthotic insoles for flatfoot treatment

In a normal gait cycle, during the early support phase (from heel strike to loading response), muscles such as the tibialis posterior and gastrocnemius contract, allowing the subtalar joint to pronate and the intertarsal joints to relax, helping the foot adapt to different terrains. When the heel leaves the ground, the subtalar joint supinates, locking the intertarsal joints. The plantar fascia then tightens the alignment of the foot bones, transforming into a rigid lever to propel the body forward. However, due to abnormal arch morphology in flatfoot patients, the segmented multi-joint movements of the foot are disturbed, and local stress increases, leading to forefoot pronation and abduction, and hindfoot valgus. Studies using in vivo experiments to simulate foot and ankle movements during walking have confirmed that flatfoot patients exhibit more pronounced eversion and external rotation of the calcaneus compared to those with normal feet [10]. This phenomenon increases ankle instability and affects the biomechanical axis of the lower limbs and trunk through the kinetic chain. Abnormal joint movements can also cause local tissue edema, inflammation, and pain, eventually leading to postural abnormalities. Prolonged irregular force patterns may cause cartilage damage and even irreversible consequences.

Orthotic insoles correct abnormal gait by adjusting plantar pressure distribution based on biomechanical analysis (Figure 2). The foot, as a support point for the body, bears weight and participates in activities such as walking and running. However, due to differences in gender,

lifestyle habits, and exercise methods, the mechanical distribution of the foot can be affected. Prolonged uneven pressure may lead to abnormalities in lower limb force lines, causing various diseases. In daily life, various pathological factors can disrupt the normal state of lower limb force lines. Orthotic insoles can readjust plantar pressure and restore normal lower limb force lines, thereby improving the biomechanical state of the lower limb joints [11]. Due to individual differences in walking habits, foot morphology, and pathology, there are individual variations in plantar pressure distribution. Orthotic insole correction can help distribute plantar pressure more evenly, enhance foot dynamics, and subsequently restore normal lower limb force lines.

Figure 2. Common designs of orthotic insoles

Material Selection: Common materials for making orthotic insoles include thermoplastic polyurethane, ethylene-vinyl acetate, and polyethylene. While some studies suggest that harder insole materials can increase plantar sensory input, thus enhancing postural stability, the hardness of custom orthotic insoles mainly affects their shock absorption, arch support, and comfort [12]. Materials of different hardness can impact the cushioning effect of plantar pressure during standing and walking. Some researchers have found that patients with higher body mass index require harder materials to achieve optimal cushioning [13]. Moreover, research indicates that harder materials have a more significant effect on arch support, but increased hardness may decrease patient comfort [14]. Therefore, it is necessary to select appropriate materials based on the patient's specific condition to achieve a balance between support strength, shock absorption, and comfort.

Shape Design: Compared to material selection, the geometric shape design of orthotic insoles has a greater impact on their function. For flatfoot structural abnormalities, the insole design mainly includes the following two aspects:

Medial Arch Support Design: By adding an arch pad with an arched structure, the insole can support the arch upward, increasing the contact area between the medial arch and the insole, reducing the peak pressure on the forefoot and heel, and thereby dispersing local stress. Additionally, the arch pad can elevate the navicular, medial cuneiform, and calcaneus, helping to maintain the normal arch shape and improve the mobility of the foot and ankle joints. Studies have shown that the higher the arch pad, the more pronounced the elevation of the navicular, with a more significant effect on improving plantar pressure distribution and higher comfort [15].

Deep Heel Cup Design: A downward concave deep heel cup can restrict excessive pronation of

the subtalar joint, reduce displacement of the hindfoot soft tissue, and provide good cushioning and shock absorption by increasing the thickness of the heel fat pad, effectively reducing heel peak pressure. A study designed nylon heel cup insoles with a thickness of 5 mm for 16 patients, and after four weeks of use, the patients experienced significant relief from heel pain [16]. Custom orthotic insoles often combine arch support and heel cup design. Research indicates that elderly subjects who consistently wear such insoles for more than four hours daily for eight weeks show significant improvement in standing balance, while decreased postural stability is also a common problem in some flatfoot patients [17].

3.3 Orthotic insoles for patients of different ages

In recent years, the incidence of flatfoot in children and adolescents has gained widespread attention. A study of 2 071 children aged 3-5 found a flatfoot incidence rate of 59.98%, with a higher occurrence of bilateral flatfoot than unilateral flatfoot [18]. Another study assessing 444 children aged 7-13 found a prevalence of 29.10%, indicating that the occurrence of flatfoot is closely related to factors such as age, gender, and BMI [19]. Early intervention and treatment are particularly important for school-age children. A three-year follow-up study of 147 children aged 7-8 found that the arch index of flatfoot children showed an increasing trend over time, with plantar pressure increasing in the first and second years, peaking before declining [20]. This indicates that arch abnormalities can lead to uneven distribution of plantar pressure. Another study found that in children with flatfoot, the contact area of the fourth metatarsal is smaller during standing, while the contact area of the first metatarsal is smaller during movement, further demonstrating the importance of orthotic insoles in flatfoot intervention [21].

Research shows that orthotic insoles have a significant corrective effect on flexible flatfoot [22]. One study pointed out that early childhood flexible flatfoot is a normal physiological state, but if it is not corrected with development, it may develop into pathological flatfoot [23]. Therefore, early intervention is crucial. Another study found that when the arch support height reached 4/5 of the normal arch height, orthotic insoles had the best intervention effect on pediatric flexible flatfoot, while increasing ankle inversion angle and reducing internal rotation torque [24].

However, research on orthotic insoles for children and adolescents still has some shortcomings [25]. There is a lack of unified evaluation standards and long-term follow-up data, and little attention is paid to the long-term wearing experience and the damage to orthotic insoles. Additionally, there is a scarcity of studies on the biomechanical feedback of the plantar during movement in patients. Therefore, future research should develop appropriate evaluation scales for children, increase long-term follow-up, and further explore plantar biomechanical data during movement.

For adult flatfoot, orthotic insoles cannot completely correct the arch but can improve plantar pressure distribution, correct abnormal biomechanics, and alleviate symptoms to some extent. Research indicates that adult flatfoot patients exhibit abnormal gait, with a shortened single-leg support phase and an extended double-leg support phase, suggesting that patients increase lateral support to maintain gait stability. These findings provide theoretical support for the customization of orthotic insoles [26].

Through orthotic insole intervention, patients' plantar pressure is significantly improved. One study found that orthotic insoles can reduce the peak ground reaction force during the gait support phase and change the recruitment pattern of lower limb muscles [27]. Another study examined the impact of orthotic insoles on the lower limb electromyographic activity in female flatfoot patients and found that the peroneus longus and medial and lateral heads of the gastrocnemius muscles showed higher electromyographic levels, leading to easier fatigue [28]. After orthotic insole intervention, the electromyographic activity of these muscles was significantly reduced, thereby alleviating the fatigue caused by compensation.

However, there are also some issues with the use of orthotic insoles. One study showed that although orthotic insoles can enhance hindfoot support stability, they may also lead to compensatory activity in the hip and knee joints, thereby limiting foot push-off ability and affecting lower limb flexibility [29]. Therefore, how to reasonably use orthotic insoles to improve flatfoot symptoms while avoiding compensatory issues becomes a key challenge in the treatment of adult flatfoot patients.

4. Summary and prospects

The foot is a highly plastic structure, and orthotic insoles can effectively correct flatfoot by adjusting plantar pressure distribution and restoring lower limb alignment. In clinical studies, early detection and intervention for flatfoot in children and adolescents are emphasized to prevent worsening of the condition. For adult flatfoot patients, while orthotic insoles have some corrective effects, they cannot fully restore arch function. Orthotic insoles not only enhance patients' plantar proprioception and improve their subjective feedback to pressure changes but also effectively redistribute plantar pressure, alleviate abnormal gait, and increase ankle joint stability. In addition, orthotic insoles can provide relief from abnormalities or pain in the lower back, knees, and ankles caused by flatfoot. With long-term use of orthotic insoles, patients experience enhanced plantar flexion strength in the ankle, improved overall lower limb muscle strength, recovery of compensatory muscles, better support of the lateral arch, and effective correction of ankle eversion.

Current research has certain limitations: the mechanism behind orthotic insoles in treating flatfoot involves selecting appropriate materials and shapes to restore arch morphology and compensate for arch function, but the specific biomechanical mechanisms remain to be explored. There is a lack of long-term follow-up data from patients, resulting in insufficient feedback. Additionally, biomechanical analysis studies on patients wearing orthotic insoles during physical activity or under load-bearing conditions are relatively scarce. Children with flatfoot benefit more from custom orthotic insoles than adults, and patients with significant clinical symptoms or multiple foot, ankle, or knee disorders should prioritize the use of orthotic insoles. Future studies should focus on rigorous designs and large sample sizes to evaluate the efficacy of custom orthotic insoles in different flatfoot populations.

7. References

[1] Noh, W.-J., Lee, M. S., & Lee, B.-D. J. S. R. (2024). Deep learning-based automated angle measurement for flatfoot diagnosis in weight-bearing lateral radiographs. Scientific Reports, 14(1), 18411.

[2] Kapo, A., Kapo, S., Mahmutović, I., & Sofić, A. J. H. s. (2020). FACTORS WHICH AFFECT THE OCCURRENCE AND PREVALENCE OF FLAT FEET IN PRESCHOOL CHILDREN: A SYSTEMATIC REVIEW. European Journal of Pediatrics, 22(2).

[3] Bowyer, G., & Uglow, M. (2017). The ankle and foot. In Apley & Solomon's System of Orthopaedics and Trauma (pp. 609-648): CRC Press.

[4] Zhai, J. N., Qiu, Y. S., & Wang, J. J. J. o. p. t. s. (2016). Effects of orthotic insoles on adults with flexible flatfoot under different walking conditions. Journal of Physical Therapy Science, 28(11), 3078-3083.

[5] Matheis, E. A., Spratley, E. M., Hayes, C. W., Adelaar, R. S., Wayne, J. S. J. T. J. o. F., & Surgery, A. (2014). Plantar measurements to determine success of surgical correction of Stage IIb adult acquired flatfoot deformity. The Journal of Foot and Ankle Surgery, 53(5), 562-566.

[6] Dejonghe, R. (2023). CHARACTERISTICS OF INTRINSIC FOOT MUSCULATURE IN INDIVIDUALS WITH ASYMPTOMATIC FLEXIBLE FLATFOOT AND THE EFFECT OF EXERCISE THERAPY. Ghent University,

[7] Stamm, S. E. (2014). Characterization of sagittal plane calcaneal rotation and its relationship to the medial longitudinal arch during the midstance phase of gait. University of Alberta,

[8] Goo, Y.-M., Kim, T.-H., & Lim, J.-Y. J. J. o. p. t. s. (2016). The effects of gluteus maximus and abductor hallucis strengthening exercises for four weeks on navicular drop and lower extremity muscle activity during gait with flatfoot. Journal of Physical Therapy Science, 28(3), 911-915.

[9] Lee, C.-R., & Kim, M.-K. J. J. o. p. t. s. (2014). The effects on muscle activation of flatfoot during gait according to the velocity on an ascending slope. Journal of Physical Therapy Science, 26(5), 675-677.

[10] Deng, Z., Cai, Z., Chen, S., Liu, Y., Chen, F., Deng, Z., . . . Research, A. (2022). Comparison of in vivo hindfoot joints motion changes during stance phase between non‐flatfoot and stage II adult acquired flatfoot. Journal of Foot and Ankle Research, 15(1), 74.

[11] Bonanno, D. R., Ledchumanasarma, K., Landorf, K. B., Munteanu, S. E., Murley, G. S., & Menz, H. B. J. S. r. (2019). Effects of a contoured foot orthosis and flat insole on plantar pressure and tibial acceleration while walking in defence boots. Scientific Reports, 9(1), 1688.

[12] Valenti, F. J. P. S. L. (2022). Use of in-soles to enchance postural con-trol. Paper presented at the Proceedings of 7th Socratic Lectures 2022, Ljubljana.

[13] Sonenblum, S. E., Ma, J., Sprigle, S. H., Hetzel, T. R., & Cathcart, J. M. J. J. o. t. v. (2018). Measuring the impact of cushion design on buttocks tissue deformation: An MRI approach. Journal of Tissue Viability, 27(3), 162-172.

[14] Channasanon, S., Praewpipat, B., Duangjinda, N., Sornchalerm, L., Tesavibul, P., Paecharoen, S., . . . International, O. (2023). 3D-printed medial arch supports of varying hardness versus a prefabricated arch support on plantar pressure: A 1-month randomized crossover study in healthy volunteers. Prosthetics and Orthotics International, 47(2), 210-217.

[15] Newell, T., Simon, J., & Docherty, C. L. J. J. o. a. t. (2015). Arch-taping techniques for altering navicular height and plantar pressures during activity. Journal of Athletic Training, 50(8), 825-832.

[16] Li, L., Yang, L., Yu, F., Shi, J., Zhu, L., Yang, X., . . . Jiang, Q. J. J. o. t. m. (2018). 3D printing individualized heel cup for improving the self-reported pain of plantar fasciitis. Journal of Translational Medicine, 16, 1-11.

[17] Chen, T.-H., Chou, L.-W., Tsai, M.-W., Lo, M.-J., & Kao, M.-J. J. C. i. i. a. (2014). Effectiveness of a heel cup with an arch support insole on the standing balance of the elderly. Clinical Interventions in Aging, 351-356.

[18] Days, A. SASMA 2017 CONGRESS: INDEX TO ABSTRACTS OPEN COMMUNICATION. South African Journal of Sports Medicine.

[19] Ogimi, C., Englund, J. A., Bradford, M. C., Qin, X., Boeckh, M., & Waghmare, A. J. J. o. t. P. I. D. S. (2019). Characteristics and outcomes of coronavirus infection in children: the role of viral factors and an immunocompromised state. Journal of the Pediatric Infectious

Diseases Society, 8(1), 21-28.

[20] Skowron, N., Malak, R., Mojs, E., & Samborski, W. J. J. o. M. S. (2015). Foot arch condition in comparison with the muscular balance of lower limbs in children at school age of 6–14 years. Journal of Medical Science, 84(2), 85-89.

[21] Galli, M., Cimolin, V., Pau, M., Leban, B., Brunner, R., & Albertini, G. J. R. i. d. d. (2015). Foot pressure distribution in children with cerebral palsy while standing. Research in Developmental Disabilities, 41, 52-57.

[22] Herchenröder, M., Wilfling, D., Steinhäuser, J. J. J. o. f., & research, a. (2021). Evidence for foot orthoses for adults with flatfoot: a systematic review. Journal of Foot and Ankle Research, 14, 1-11.

[23] Kenis, V. M., Lapkin, Y. A., Husainov, R. K., Sapogovskiy, A. V. J. P. t., orthopaedics, & surgery, r. (2014). Flexible flatfoot in children. Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery, 2(2), 44-54.

[24] Jafarnezhadgero, A., Madadi-Shad, M., Alavi-Mehr, S. M., & Granacher, U. J. P. o. (2018). The long-term use of foot orthoses affects walking kinematics and kinetics of children with flexible flat feet: A randomized controlled trial. PLOS ONE, 13(10), e0205187.

[25] Fellas, A., Coda, A., & Hawke, F. J. J. o. t. A. P. M. A. (2017). Physical and mechanical therapies for lower-limb problems in juvenile idiopathic arthritis: a systematic review with meta-analysis. Journal of the American Podiatric Medical Association, 107(5), 399-412.

[26] Oliver, T. E. (2019). Adult Acquired Flatfoot Deformity: A Review And Gait Analysis Of Posterior Tibial Tendon Dysfunction. THE UNIVERSITY OF ARIZONA

[27] Gijon-Nogueron, G., Palomo-Toucedo, I., Gil-Tinoco, A., Ortega-Avila, A. B., & Munuera-Martínez, P. V. J. M. (2018). Effect produced on ground reaction forces by a prefabricated, weight-bearing and non-weight-bearing foot orthosis in the treatment of pronated foot: Pilot study. Medicine, 97(22), e10960.

[28] Garbalosa, J. C., Elliott, B., Feinn, R., & Wedge, R. J. T. F. (2015). The effect of orthotics on intersegmental foot kinematics and the EMG activity of select lower leg muscles. The Foot, 25(4), 206-214.

[29] Chen, H., Sun, D., Fang, Y., Gao, S., Zhang, Q., Bíró, I., . . . Biotechnology. (2024). Effect of orthopedic insoles on lower limb motion kinematics and kinetics in adults with flat foot: a systematic review. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 12, 1435554.

Engineering Symposium at Bánki
(ESB 2024)

The evolution of PLCs in the light of case studies

[1] Ákos Sándor Jányoki, [2]Ákos Mester

[1] *Obuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary, janyoki.akos@bgk.uni-obuda.hu*
[2] *R-Traffic Kft. Győr, Hungary, rtraffickft@rtraffickft.hu*

Abstract

After the introduction of eight-bit processors in the late seventies, microprocessor-based industrial process control using home-grown hardware and software gained tremendous momentum despite restrictions imposed by Soviet-influenced countries. Control solutions have been developed for various areas, including comprehensive control of railway interlock systems. I will show the differences in case studies, how PLC systems perform similar tasks these days, and point out the more interesting similarities that exist. The main objective is to use these results for PLC training of mechatronics students at the Faculty of Mechanical and Safety Engineering, University of Obuda. These can greatly help students understand how a PLC can be used and learn how to program it.

Keywords: PLC process control, PLC programming, Centralized railway traffic management

1. Tasks of remote-monitoring / remote-control systems in general

A remote-control/remote-monitoring industrial process control system always includes one or more remotely controlled/monitored local devices, which are operated in parallel to collect local process information. The local equipment may also have certain automatic functions.

A remote-control/remote-monitoring system always includes a database-like information aggregation and storage area containing the operational and status information collected about the system. This can be implemented in the cloud or in the memory of a specific, fixed computing unit.

The system may also include one or more remote computer operator workstations from which all local equipment of the entire system can be monitored/controlled. An operator workstation may be established close to the local equipment if required, but this will normally only allow remote control of the local equipment. These operator workstations may be implemented on dedicated hardware, depending on the design, or on any client PC with appropriate privileges.

The remote-control system greatly facilitates and assists the work of the operator workstation staff by providing various automatic or intuitive prompts and syntactic control of the technology. Other important functions include monitoring operational events, alerting operators when necessary, and recording and printing several different operating logs.

Another important part of the system is the data communication path, which allows bidirectional data transmission between the local equipment and the operator/control centers.

1.1 System GVM-85

Based on the I8085A microprocessor, GVM-85 was a modular microcomputer designed for process control purposes. Within this field, it was universal, just like today's PLCs.

As a result of its lower level of integration, it was made up of many more modules than today's PLCs. It also performed tasks that would be impossible to perform with PLCs today.

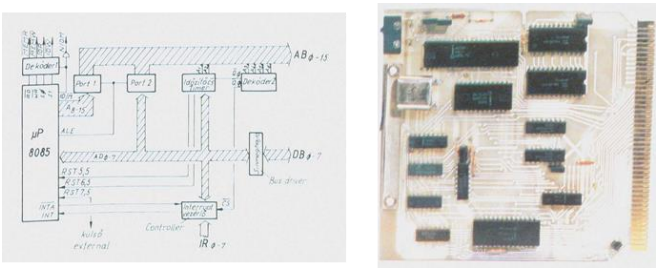


Figure 1. The CPU module of GVM-85 [1]

The hardware was based on the latest 8-bit chipset available from Intel at the time. The CPU module also contained the I8253 timer and the I8259 interrupt control circuitry.

The MEM 24K memory module contained 8 2 KB RAM or EPROM modules, depending on the configuration. The EPROMs had to have the machine code of the control program burned into them before the connection. The bus system ("motherboard") was connected to its own peripheral interface modules, such as the display controller and keyboard port module, matrix printer interface unit, etc.

A maximum of four microprocessors could be interconnected to form a multiprocessor system, using I8255 programmable peripheral circuits (IPC) to allow simultaneous data exchange between processors.

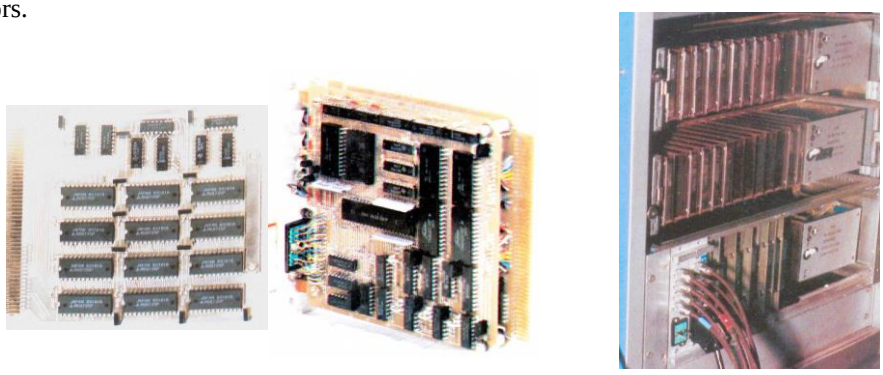


Figure 2. A memory and a display/keyboard/printer module. A cabinet with standardized racks [1]

The digital inputs and outputs were used to scan the digital sensors of the controlled process and to control the actuators (relays, lamps, digitally controlled writing devices). The theoretical maximum configuration was 6570 digital inputs and 2520 digital outputs.

A serial data transmission control unit based on the 8251A USART circuit enabled serial full-duplex MODBUS-type data communication between two or more remote microcomputers. The system also included analogue input and output cards in several versions. [1]

1.1.1 Program development, testing

The program development and structure were done on an engineering workstation composed of system components, using assembly-level language, and system status bits/words (wtd). Source code has been provided by a custom compiler and linker, and it was loaded into EPROMs (See MEM 24 modules).

The program could have been tested using only the "bit-hunting" method.

1.1.2 Applications, projects implemented

Some implemented projects using this system

Industrial process control: automated control of glassworks, waterworks, wastewater treatment plants, wastewater elevation spots

Railway applications: South-Balaton railway line Szabadbattyán – Nagykanizsa section centralized traffic control, Ferencváros station rolling stock automation, Sopron-Ebenfurt railway line electric traction substations, overhead supply switchyard remote control, several other energy remote control systems, Hatvan railway station code control system, Budapest, Batthyány tér - Békásmegyer urban railway line section, centralized traffic control (KÖFI).

The latter will be one of the systems of our case studies.

1.2 Siemens S7-1200 programmable logic controller (PLC)

Today, there is a huge range of process control PLCs available to engineers. In this paper, we will look at the compact design PLCs of the S7 series from Siemens, which were released in 2010. Their application is greatly facilitated by the available TIA Portal engineering development tool.

1.2.1 S7-1200 system components, hardware architecture, configuration options

The CPU unit is a 32-bit microprocessor with digital and analogue inputs and outputs of varying quantity and design. The user program may include logic instructions, mathematical operations, counting and timing tasks, and data link management. Safety and protection functions are also available during PLC configuration to meet today's requirements.

Feature		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
Physical size (mm)		90 x 100 x 75		110 x 100 x 75	130 x 100 x 75	150 x 100 x 75
User memory	Work	50 Kbytes	75 Kbytes	100 Kbytes	125 Kbytes	150 Kbytes
	Load	1 Mbyte		4 Mbytes		
	Retentive	10 Kbytes				
Local on-board I/O	Digital	6 inputs/4 outputs	8 inputs/6 outputs	14 inputs/10 output		
	Analog	2 inputs			2 inputs/2 output	
Process image size	Inputs (I)	1024 bytes				
	Outputs (Q)	1024 bytes				
Bit memory (M)		4096 bytes		8192 bytes		
Signal module (SM) expansion		None	2	8		
Signal board (SB), Battery board (BB), or communication board (CB)		1				
Communication module (CM) (left-side expansion)		3				
High-speed counters	Total	Up to 6 configured to use any built-in or SB inputs				
	1 MHz	-				Ib.2 to Ib.5
	100/80 kHz	Ia.0 to Ia.5				
	30/20 kHz	--	Ia.6 to Ia.7	Ia.6 to Ib.5		Ia.6 to Ib.1
	200 kHz[2]					
Pulse outputs[2]	Total	Up to 4 configured to use any built-in or SB outputs				
	1 MHz	--				Qa.0 to Qa.3
	100 kHz	Qa.0 to Qa.3				Qa.4 to Qb.1
	20 kHz	--	Qa.4 to Qa.5	Qa.4 to Qb.		--
Memory card		SIMATIC Memory card (optional)				
Real time clock retention time		20 days, typ./12 day min. at 40 degrees C (maintenance-free Super Capacitor)				
PROFINET Ethernet communication port		1			2	
Real math execution speed		2.3 µs/instruction				
Boolean execution speed		0.08 µs/instruction				

Technical data		SM 1223 DI (24 VDC) / DQ (Relay)	SM 1223 DI (24 VDC) / DQ (24 VDC)
Article number		DI 8 / DQ 8: 6ES7 223-1PH32-0XB0 DI 16 / DQ 16: 6ES7 223-1PL32-0XB0	DI 8 / DQ 8: 6ES7 223-1BH32-0XB0 DI 8 / DQ 8: 6ES7 223-1BL32-0XB0
Number of inputs / outputs (DI / DQ) See specifications (Page 384)		• Inputs: 8 or 16 (24 VDC) • Outputs: 8 or 16 (relay)	• Inputs: 8 or 16 (24 VDC) • Outputs: 8 or 16 (24 VDC)
Dimensions W x H x D (mm)		• DI 8 / DQ 8: 45 x 100 x 75 • DI 16 / DQ 16: 70 x 100 x 75	• DI 8 / DQ 8: 45 x 100 x 75 • DI 16 / DQ 16: 70 x 100 x 75
Weight		• DI 8 / DQ 8: 230 grams • DI 16 / DQ 16: 350 grams	• DI 8 / DQ 8: 210 grams • DI 16 / DQ 16: 310 grams
Power dissipation		• DI 8 / DQ 8: 5.5 W • DI 16 / DQ 16: 10 W	• DI 8 / DQ 8: 2.5 W • DI 16 / DQ 16: 4.5 W
Current consumption	SM Bus	• DI 8 / DQ 8: 145 mA • DI 16 / DQ 16: 180 mA	• DI 8 / DQ 8: 145 mA • DI 16 / DQ 16: 185 mA
	24 VDC	4 mA / input used 11 mA / Relay coil used	4 mA / input used

Figure 3. Different S7-1200 type PLC versions and some of I/O extension modules [7]

Figure 4. An S7 1200 PLC configuration: power supply, CPU 1214C DC/DC/DC, digital input and output extension modules

1.2.2 Data transmission, communication

All CPU units of the S7-1200 PLC family include a PROFINET connection for network communication (Ethernet, programmable IP address) and can be easily extended by up to 3 x 3. RS 485 or RS 232 communication units.

1.2.3 State visualization options

The HMI is the tool for process state indication in the PLC environment. Its configuration and programming are greatly supported by the TIA Portal development system.

The web server service of the PLC is a practical feature of the S7-1200 family that can be configured by the user for on-site testing or for remote monitoring/remote control.

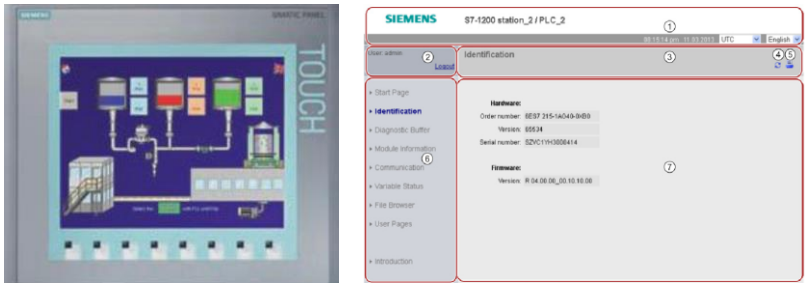


Figure 5. Status visualization by an HMI unit or by using web server feature [6]

Of course, there is also a wide range of licensed SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) programs specifically designed for remote control and monitoring. Based on a system database, these allow the use of different kinds of easy-to-configure visualization and system management.

1.2.4 The TIA Portal engineering tool for program development

Developers can use TIA Portal to perform the complete system design of a project, from the definition of the hardware and network configuration and HMI interfaces, through the writing, testing, and operational simulation of the user software and HMI display, to the online diagnostics check after download.

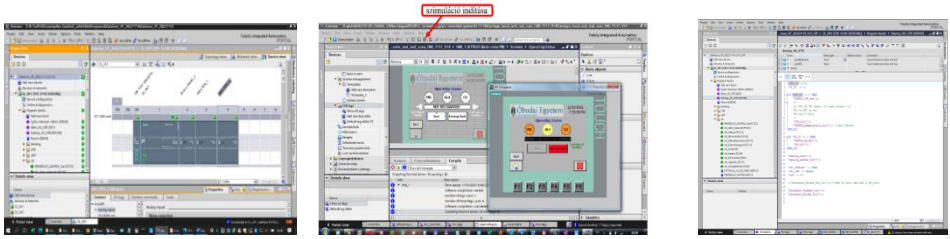


Figure 6. Some of the functions of TIA Portal engineering tool

When programming, standard program languages can be used according to IEC 61131-3. By writing organizer blocks (OB), function blocks (FB) and functions (FC), or by using standard FBs and FCs, and by defining the necessary data blocks (DB), user programs can be written in a very well-structured way, using status words along the system steps for cyclic or single sequence controls. [8]

The PLC web server service, configurable through the TIA Portal, helps to monitor real operation on the fly.

2. Case study: urban railway line, centralized traffic supervision and control

The system controls the section from station Batthyány tér to station Békásmegyer of a busy urban railway line, with trains running every five minutes at peak times.

On the double-track railway line, three directly interconnected railway interlock systems have been built (belonging to stations Batthyány tér, Aquincum, and Békásmegyer). In order to simplify and automate the handling operations, trains are generally operated by means of automatic signaling.

Parts of the centralized control system are the Interlock Controller Equipment (ICE) of each station interlock system, the data transmission line, and the Central Control Room (CCR). (*see Figure 7.)*

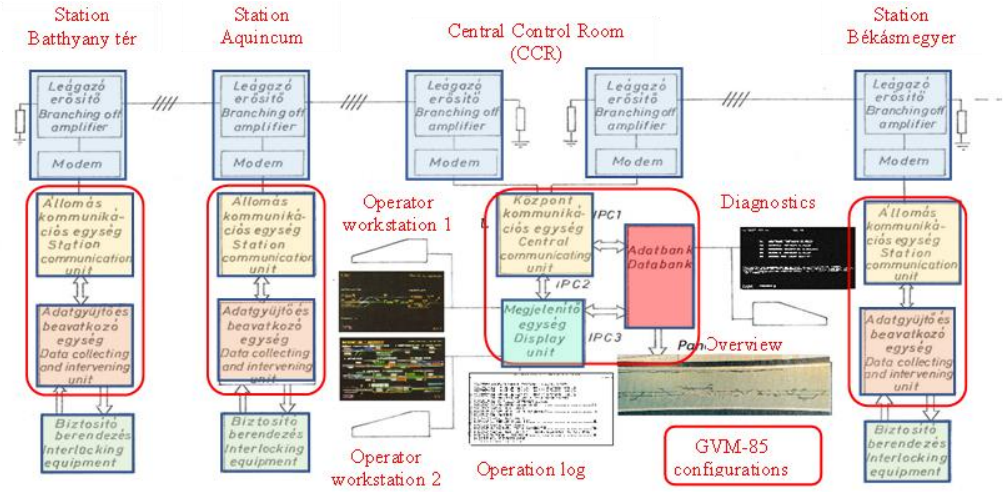


Figure 7. The structure of the centralized control system [3]

2.1 The ICE of the railway section interlocks

Each ICE is of a dual-processor "GVM-85". These communicate with the central equipment by means of a serial MODBUS kind four wire voice-frequency connection. They do data acquisition, collecting input status information from the station interlock system (623/984/820 digital inputs of interlocks, respectively) and transmit these states to the control center. In remote control mode, they interpret the commands sent by the control center and execute them on their connected interlock system using 134/266/159 relay outputs, respectively, in a controlled manner.

The data is exchanged via a parallel communication channel (IPC) between the two processors of the ICE.

2.2 Central control

The CCR equipment is a configuration of a three-processor GVM-85. Tasks of its units are to manage the communication with the ICEs, to serve as a databank, and to visualize the interlocks states for the operators and receive their commands on the workstations. The units, each with a processor in charge, communicate with each other in parallel, as each of them is directly connected to the others.

The communication unit is responsible for organizing the data transmission and the physical management of the two MODEMs connected to the serial voice frequency lines. The MODBUS-like communication is achieved by asynchronous, phase-modulated MODEMs via full duplex data transmission. The communication unit collects the data from the ICEs and transmits the operator commands to them.

The databank of the CCR equipment contains direct physical information, but various logically calculated or generated information as well, such as the communication and hardware status of each station, or train numbers from the visualization unit. It controls the lamp lights of the huge overview wall as well. The diagnostic module is also part of this unit. This allows to monitor the operation of the system, to isolate a possible fault.

The visualization unit of the CCR duties includes serving traffic control workstations and generating the printed operation log. The traffic control workstations are uniform in design. Each workstation is equipped with a color, semi-graphic monitor and a keyboard. The entire line can be controlled from any of the traffic control workstations. [3]

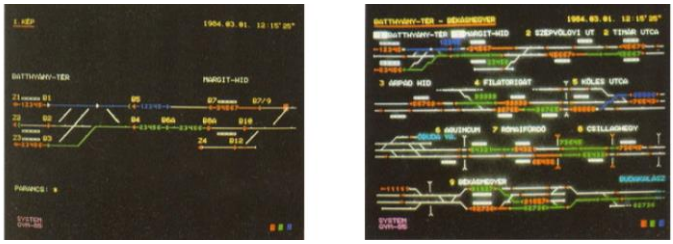


Figure 8. Status visualization examples at the CCR [2]

3. Case study: LINE SECTION Zalacséb-Salomvár - Őriszentpéter REMOTE CONTROL OF Railway switch HEATING CIRCUITS

The Hungarian Railways Co. (MÁV Zrt.) recently replaced the gas-powered switch heating system at the Zalacséb-Salomvár, Zalalövő, and Őriszentpéter stations with an up-to-date electric heating system, which prevents the formation of snow and ice coatings near the moving parts of the switches, which would hinder safe operation.

3.1 Local switching area control units (ACUs)

At railway stations along the line, local railway switch areas (RSA) were created depending on the spatial location and the power supply possibilities. Each RSA is equipped with a local area control unit (ACU) driven by a PLC for data collection and intervention.

The ACU is installed in a conveniently located modular outdoor cabinet, which is easy to configure and contains all the power switching, protection, and disconnection components for heating of the zone's railway switches as well as the necessary interface for the temperature control devices.

The ACU is the basic unit of the system, which can operate independently and does not require any intervention in automatic mode. Based on the temperature of a heated and a cold rail and information from intelligent meteorological sensors (air temperature, precipitation, etc.), it switches the circuits of the associated heating filament according to a programmed algorithm. It also continuously checks the status of other operating controls and monitoring elements, switches, sensors, and meters. The PLC of the ACU also includes appropriate graded procedures based on a data communication link with adjacent ACUs for the case of meteorological sensor failure.

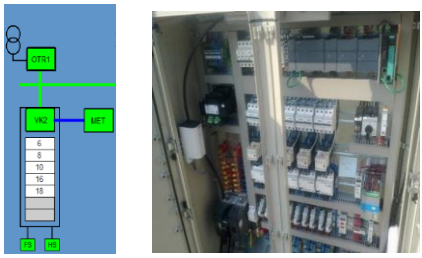


Figure 9. SCADA visualization and the cabinet of an ACU [4]

The electrical power supply of the RSAs heating is provided from the traction 25 kV, 50 Hz network, from 25/0.230 kV transformers. The power for ACUs is supplied via 230V/24V through its uninterruptible power supply (UPS) unit. For the heating of the RSAs at Zalalövő railway station, there are two ACUs, at Zalacséb-Salomvár, one, and at Őriszentpéter, three of them are in charge.

3.2 On-site commissioning options using PLC web server, monitoring, and control

The PLC web server function is a very useful feature for testing the operation of ACUs. This allows with the appropriate privileges via the Internet access to the PLC web server. This has been pre-customized and downloaded to the PLC by the TIA Portal engineering tool.

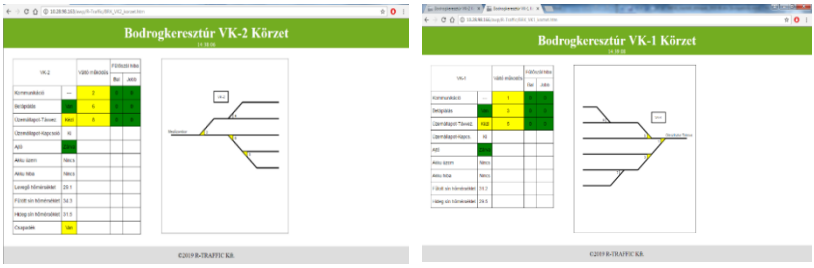


Figure 10. Status display through the web server

3.3 Remote monitoring and management with SCADA

Remote system monitoring and remote control of Zalalövő and the two adjacent stations happen to be settled in Zalalövő station and in the so-called FET center of the MÁV Directorate in Szombathely. For this purpose, a client computer runs a SCADA system, which is used for remote monitoring and remote control of the switch heating systems of the stations of the line section.

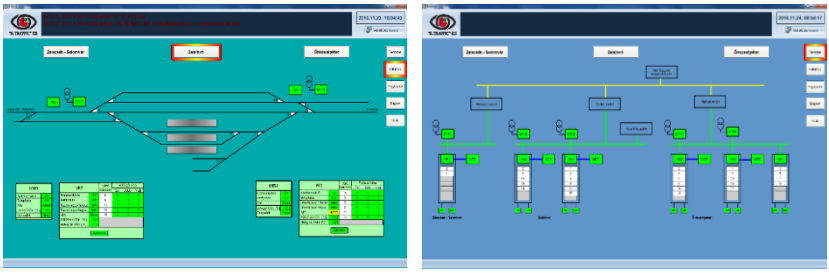


Figure 11. SCADA overview and railway switch heat visualization on the remote monitoring / remote control workstation [5]

3.3.1 Railway switch heating view

The SCADA program allows viewing all the input information of the system, displaying the status of any of its elements, and switching on and off the heating of any railway switch of the ACUs in this view. It provides a number of services based on the "operating log" continuously recorded in the dedicated storage of the system.

3.3.2 Consumption measurement, diagrams, log windows

The energy distribution part of the railway switch heating system is equipped with a separate digital meter. The measured data can be read by PLCs and displayed on the control interface for each ACU.

The diagram windows show the diagrams of analogue signals and meter values like the phase currents, phase voltages, temperatures (air, heated rail, cold rail) associated with each zone. By analyzing them, operations engineers can obtain information on how the external factors affect the operation over time.

Logs can be classified in a lot of different ways, but they have a uniform display layout. Some functions apply to all logs, but there are also log-specific operations. All signals and operational intervention events are included in the logbook if they are defined in such a way that their occurrence or change has logging consequences.

Figure 12. Further SCADA services [5]

3.4 Data transmission

The system's ACUs and the Zalalövő traffic office management device are connected to the remote monitoring and control system via an optical Ethernet network. The data transmission between the particular ACUs and the headquarters in Szombathely is carried out via the Intranet network of MÁV, their addressing complies with the rules for the VLAN network of the heated switches.

This structure allows remote management and control of the system elements from anywhere and at any time, but it’s subject to the appropriate authorizations and the limitations built into the technology, of course.

4. Conclusion

Table 1 shows a comparison of the system components of the above example systems. It is obvious that the developments and changes in the technological background over the last four decades have greatly facilitated the work of system design engineers and have greatly increased the level of service of the process control systems that can be created.

A more detailed examination of the above example systems also shows that the conceptual design of the two main pillars of these remote-control systems, which are distant in time but typical in their time, is very similar:

- Today's process control systems are built from virtually identical functional system components as their roughly 40-year-old predecessors. The way the controlled system and the process control are connected is identical (galvanically isolated DIO, AIO)
- The organization of the system control programs in today's typical process control systems is carried out in the same way along the different states of the system, using status bits/words, as it was at the dawn of computer process control.

To sum up, despite the accelerated technical-technological development, the theoretical considerations of the solutions applied to process control systems have proven to be timeless in the long run, providing a stable and well-tested basis for the education of engineering students who will be working on industrial processes.

5. Table

Table 1. System comparison table

System component	Siemens S7-1200 PLC	GVM-85
Architecture of the remote control system	Communication controller, database, operator workstation(s) Field/station units, (data collection, intervention, communication) Data transmission path	Communication controller, database, operator workstation(s) Field/station units, (data collection, intervention, communication) Data transmission path
System and hardware configuration design	Fast, easy to learn	Thorough system knowledge required
Program management	State-driven	State-driven
System development tool	TIA-Portal Standardized programming languages	None. Assembly level programming, slow and cumbersome
Commissioning, testing	entire toolbox of TIA_Portal , simulation	Device-dependent, slow, difficulty in making program changes
Safety	Hardware design TIA_Portal supported authorization system	No real protection, just the special architecture, it's all up to the programmer
Extensibility	Flexible, easy to extend	Bound but modular architecture, can be extended by programming
Data collection and intervention units	Galvanically isolated DI/O, AI/O	Galvanically isolated DI/O, AI/O
Operator workstation, visualization	Graphical, high-resolution, modern, object-oriented architecture	Pixel-level, character graphical, hand held programming
Databank	Dedicated computer, possibly cloud	Dedicated computer
Logging, archiving	SCADA	Printed, implemented by programming
Data transmission	Optical network, TCP/IP	Wired, MODBUS-like

6. References

[1] Papanek, E., Jányoki, Á. A Ganz Villamossági Művek új ipari folyamatirányító *rendszere,* Ganz Villamossági Közlemények No. 21. 1982. pages 97-106.

[2] Balog, G., Jányoki, Á. A GVM-85 mikroprocesszoros ipari folyamatirányító rendszer alkalmazása vasúti irányítástechnika területén, Ganz Villamossági Közlemények No. 23. 1983. pages 41-49

[3] Jányoki, Á. *A békásmegyeri központi forgalomirányító rendszere,* Ganz Villamossági Közlemények Nr. 26. 1987. pages 10-33

[4] *** *Váltófűtés létesítése Zalalövő állomáson - kiviteli terv,* Rtraffic Kft. Győr, 2016.

[5] *** *Váltófűtés létesítése Zalalövő és Őriszentpéter állomáso*n – users manual, Rtraffic Kft. Győr, november 2016.

[6] *** *S7-1200 programmable controller system manual,* Manualslib https://www.manualslib.com/download/1614359/Siemens-S7-1200.html (10.02.2023)

[7] Dr Hodossy, L., *Siemens S7 1200-as PLC család Oktatási segédlet* Széchenyi István Egyetem Automatizálási Tanszék Győr, 2011 page 20.

[8] *** *IEC 61131-3: a standard programming resource,* PLCOPEN https://plcopen.org/downloads

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Engineering Symposium at Bánki
(ESB 2024)

Seismic analysis of tunnel-form reinforced concrete structures subjected to low-intensity earthquake actions

[1]Kamaran Mohammed Kareem, [2]Bakhtyar Saleh Ahmmad

[1] *University of Halabja, Department of Civil Engineering, Halabja, Iraq*
kamaran.kareem@uoh.edu.iq
[2] *Obuda University, Doctoral School of Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary,*
bakhtyar.ahmman@phd.uni-obuda.hu

Abstract

Multi-story reinforced concrete tunnel form buildings are one of the common structural types in regions prone to high seismic risk due to the inherent earthquake resistance of the buildings and ease of construction. Despite their good performance during earthquakes and the abundance of such structures scattered worldwide, current seismic codes and design provisions provide insufficient guidelines for their seismic design. As a compensatory measure, a series of modal and nonlinear dynamic analyses are conducted by emphasizing the characteristic dynamic behavior of tunnel-form buildings under low-intensity seismic actions. This research performs a detailed 3-D finite element analysis on a 16-story tunnel-form reinforced concrete structure using the advanced FE program ABAQUS CAE. Internal seismic damage in the critical region was presented.

Keywords: Tunnel-form, low intensity seismic, ABAQUS, Non-linear analysis

1. Introduction

The tunnel-form concrete structural system is an innovative industrial construction method that streamlines construction management, reduces project timelines, and minimizes financial risks. Unlike conventional frame structures, this system eliminates the need for columns and beams, as the wall and slab elements resist both lateral and gravitational loads. By casting walls and slabs simultaneously, it overcomes common cold joint issues and ensures a uniform three-dimensional performance under seismic loads. As a result, the system is increasingly favored for large-scale construction projects, particularly in seismically active regions. Over the past two decades, numerous studies have explored various aspects of tunnel-form concrete structures, with findings consistently highlighting their high strength and excellent seismic performance. [1-7]

A review of previous research on tunnel-form concrete structures reveals that the behavior of this system under sequential seismic events has not yet been thoroughly explored. Following significant earthquakes, multiple aftershocks, which are typically weaker than the main event, often occur near the same fault that caused the original earthquake. Observations from recent earthquakes, such as the 2010 Chile earthquake, the 2011 Van earthquake in Turkey, and the 2012 Ahar and 2017 Kermanshah earthquakes in Iran, highlight the importance of considering aftershocks during the design process to enhance seismic reliability, particularly in regions with high seismic risk. This issue has gained increasing attention in the fields of structural and earthquake engineering, especially over the past two decades. [8].

Designing high-rise reinforced concrete (RC) buildings presents a significant challenge, particularly in ensuring sufficient lateral resistance to seismic forces. The Kurdistan Region is frequently affected by seismic activity, with vibrations often felt across vast areas. For example, the 7.3-magnitude earthquake on November 12, 2017, near Sarpol-e Zahab along the Iran-Iraq border, resulted in considerable ground shaking throughout the region. Given this seismic context, performing numerical analyses is crucial to accurately assess the behavior of high-rise tunnel-form buildings during earthquakes, helping to mitigate potential risks.

Due to the region's seismic characteristics, high-rise tunnel-form buildings need to be evaluated for their response to minor seismic actions, especially considering the influence of aftershocks and low-intensity seismic events. The objective of this study is to investigate how these buildings, designed for rapid construction and cost-efficiency, perform under low-intensity seismic forces. To achieve this, a 16-story tunnel-form building was analyzed using the finite element program Abaqus through non-linear dynamic analysis. This method allows for a detailed evaluation of the building's response to seismic forces.

2. Structural model

In this study, a 16-story reinforced concrete tunnel-form building is modeled using the three-dimensional finite element software ABAQUS [9] for the analysis. The floor system consists of a flat slab with a thickness of 160 mm, while the shear walls are 200 mm thick. The floor height is 3.0 meters. The building is initially subjected to gravity loads and a uniformly distributed live load of 500 kg/m². Figure 1 illustrates the geometric properties of the building's plan layout.

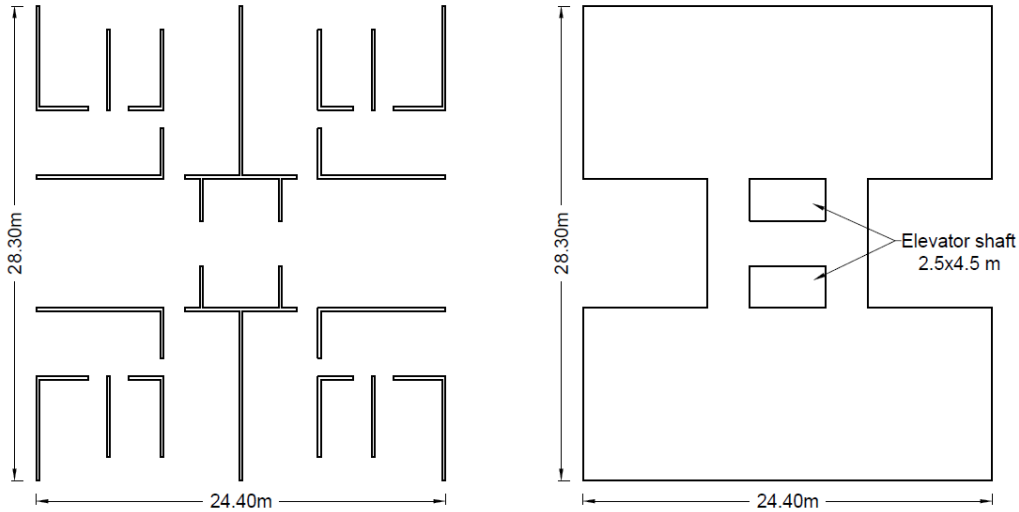


Figure 1. Details of the Structural Model

3. Finite Element and Non-Linear Numerical Analysis for RC Structures

The ABAQUS program [9] is a powerful, intuitive, finite element program. The program is completely modular, allowing the user to acquire and load only the modules that are needed. The input data for the program include nodal points, type of element, loading condition, material properties, dimensioning of the geometry of the structure, the restraints of nodes, the required type of analysis and the termination criteria.

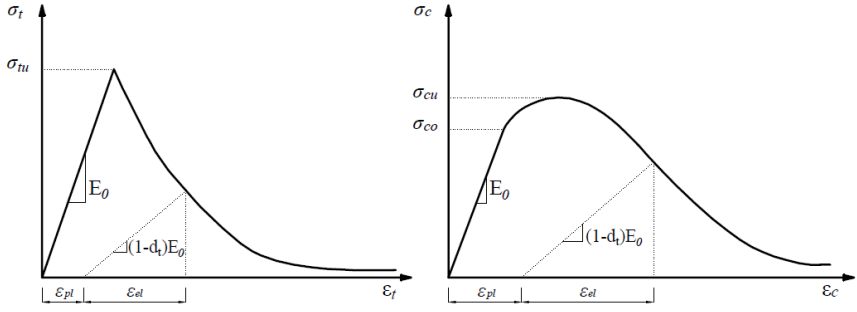
In order to obtain an accurate analysis, proper material models were needed. To be able to understand the mechanical behavior to final failure, it was important that this non-linear behavior could be simulated in the finite element analyses. The nonlinearities of the concrete in compression and the steel were accounted for with plasticity models. Three major effects cause the non-linear response of reinforced concrete, namely (Crushing of concrete in compression, Cracking of concrete in tension, and Yielding of reinforcement). The steel elements were provided with an isotropic multi-linear elasto-plastic material model.

In this study, ABAQUS/dynamic implicit was adopted to simulate the process of progressive collapse. C3D8R solid elements were used to simulate the concrete components: the beam, column, and slab, and the steel reinforcement embedded inside the concrete member using the 'embedded region' constraints, and is modeled by truss element T3D2. For the sake of reducing the computational time and because, in this study, the overall behaviour of the building is assessed, a large mesh size is used. The density, Young's modulus, and Poisson's ratio of the concrete used in this finite element modelling were 2400 kg/m3, 32 MPa, and 0.2, respectively, and the corresponding properties of steel were 7800 kg/m3, 195 GPa, and 0.3, respectively. The concrete damaged plasticity model was adopted for the concrete constitutive model. The Concrete Damage Plasticity (CDP) model is based on work proposed by [10, 11].

To characterize the constitutive behaviour of concrete, four different laws need to be defined: compressive and tensile behaviour of concrete, damage function, yield function, and flow rule. The behaviour of concrete in uniaxial compression and tension, considered in the CDP model, is shown in Figure 2. In case of compression, a linear-elastic response is considered till the initial yield point, σ_{co}. Whereas, in tension, a linear stress-strain relationship is considered up to the ultimate stress, σ_{to}. In the post-peak region (plastic region), the unloading curve shows a degraded stiffness both in compression and tension. This degradation is due to the damage to the material. The model introduces two damage variables, d_c and d_t, to define this degradation. The range of these variables is 0 to 1, depending on the level of damage. Zero represents "undamaged" and one represents " fully damaged". E_o is the initial (undamaged) modulus of elasticity of concrete. ε_c^{in} and ε_c^{pl} are compressive inelastic and plastic strain, and ε_t^{ck} and ε_t^{pl} are tensile cracking and plastic strain, respectively. The stress-strain behaviour both in compression and tension is considered as follows [9]

$$\sigma_t = (1 - d_t)E_o\left(\varepsilon_t - \varepsilon_t^{pl}\right) \quad (1)$$

$$\sigma_c = (1 - d_c)E_o\left(\varepsilon_c - \varepsilon_c^{pl}\right) \quad (2)$$



(a) (b)

Figure 2. Concrete Damage Plasticity material: uniaxial response in compression (a) and tension (b) [Redrawn based on ABAQUS [9]]

Tensile cracking and compressive crushing are the two failure mechanisms considered in the

CDP model. In these mechanisms, the failure surfaces are controlled by the tensile and compressive plastic strains (ε_c^{pl} and ε_t^{pl}). These strains are automatically calculated in the software from the cracking strain and inelastic strain (ε_t^{ck} and ε_c^{in}) following the equations.

$$\varepsilon_t^{pl} = \varepsilon_t^{ck} - \frac{d_t}{1-d_t}\frac{\sigma_t}{E_o} \tag{3}$$

$$\varepsilon_c^{pl} = \varepsilon_c^{in} - \frac{d_c}{1-d_c}\frac{\sigma_c}{E_o} \tag{4}$$

Two model inputs are needed to define the yield function in the model; the ratio of biaxial to uniaxial compressive stress (σ_{bo}/σ_{co}default value is 1.16) and the ratio of the tensile and compressive second invariant (K_c, default value is 2/3). K_c controls the shape of failure surface in the deviatoric plane A non-associated plastic flow is presumed by CDP model where the Drucker-Prager hyperbolic function is used as flow potential. The function is as follows

$$G = \sqrt{(\in \sigma_t tan\psi)^2 + q^2} - ptan\psi \tag{5}$$

Where, ψ = dilation angle which is measured in the $p-q$ plane at high confining pressure; $\in$ = eccentricity. The default value of eccentricity is 0.1.

The CDP model requires the values of and K_c to define the yield function as well as ψ and $\in$ to define the flow rule. This model uses the default values of σ_{bo}/σ_{co}, K_c, and $\in$ as 1.16, 2/3, and 0.1, respectively. A dilation angle of 30^o is considered in this study. A special parameter, the viscosity parameter, needs to be defined in the model that controls the convergence of the model.

Two different parameters, modulus of elasticity (E_c) and Poisson's ratio, are to be input to define the elastic property of the material. In this study, 0.2 is chosen as the Poisson's ratio. The E_c was calculated by the equation given by ACI 318 as follows

$$E_c = 57000\sqrt{f_c'}\ psi \tag{6}$$

To define the stress-strain relationship in compression, the model proposed by Popovics [12] was used in this study. The relationship is shown in the following equation,

$$f_c = f_c'\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}}\frac{n}{n-1+(\varepsilon_c/\varepsilon_{co})^n} \tag{7}$$

Where f_c', ε_{co} are the compressive strength and strain corresponding to the maximum stress, respectively. The *n* is defined by,

$$n = 0.4\cdot 10^{-3} f_c(psi) + 1.0 \tag{8}$$

Whereas, the tensile stress–strain relationship of concrete was in accordance with (Shakib and Morshed [13]), can be obtained by the following:

$$\sigma = F_t\left(\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon}\right)^{0.7} \tag{9}$$

$$\varepsilon_t = \frac{F_t}{\varepsilon_c} \tag{10}$$

Eigen-frequency analyses were conducted on the 3D FE models in order to obtain a preliminary insight into the dynamic behavior of the buildings under study, identifying the main vibration modes, the corresponding periods, and the participating mass ratios.

The seismic response of the building was then investigated through non-linear dynamic analysis; the ground motions were applied to the building in the horizontal directions X-axis and Z-axis. With the aim of simulating the seismic response of the building under low-intensity seismic loads, the PGA value was used by scaling the real accelerograms (registered on November 12 during the 2017 Sarpol-e Zahab (M_w = 7.3), Iran-Iraq border earthquake) through the software code

SeismoMatch [14]. Fig. 3 shows the horizontal component of the accelerogram. The duration of the real frequency is equal to 99.44s. In this study, we chose 25 seconds of high intensity because of the high computational demand required by the analyses. The PGA of 0.05g was used in the non-linear dynamic analyses. The non-linear dynamic analyses with PGA=0.05g aim at simulating the seismic response of the building to earthquakes of low intensity magnitudes and provide useful information about the seismic response and damage distribution of the building for small PGA values.

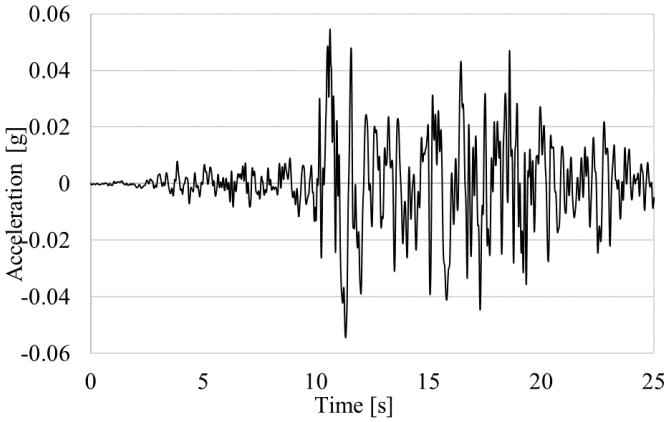


Figure 3. Scaled accelerogram (Horizontal component of the Ezgeleh (Sarpol-e Zahab), Iran-Iraq border earthquake, 12 November 2017) used in the non-linear dynamic analyses

4. Results and discussions

The linear perturbation analysis is performed to calculate the natural periods of the building. Using the Lanczos algorithm, the first 100 natural modes are calculated. The distribution of the first hundred modes in the two orthogonal directions is presented in Fig. 4. Moreover, Fig. 5 shows the deformed shapes and the corresponding periods of the main vibration modes with a participating mass ratio (PMR) larger than about 5% for the building.

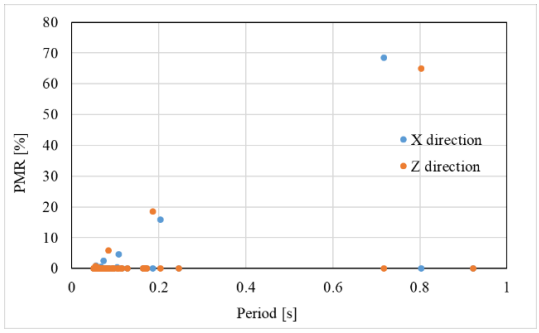


Figure 4. Distribution of the first three hundred modes in the horizontal (X and Z) directions

The first two main modes are Mode 2 (T=0.8 s), involving the whole building with PMR equal to 65% in the Z direction, and Mode 3 (T=0.716 s), involving the whole building with PMR equal to 68.5% in the X direction. The most relevant modes are Mode 6 (T=0.096 s) with the largest PMR (76.4%) in the y direction. The first hundred modes correspond to a total PMR of 94.25% in the X direction, 91% in the Y direction, and 83.12% in the Z direction.

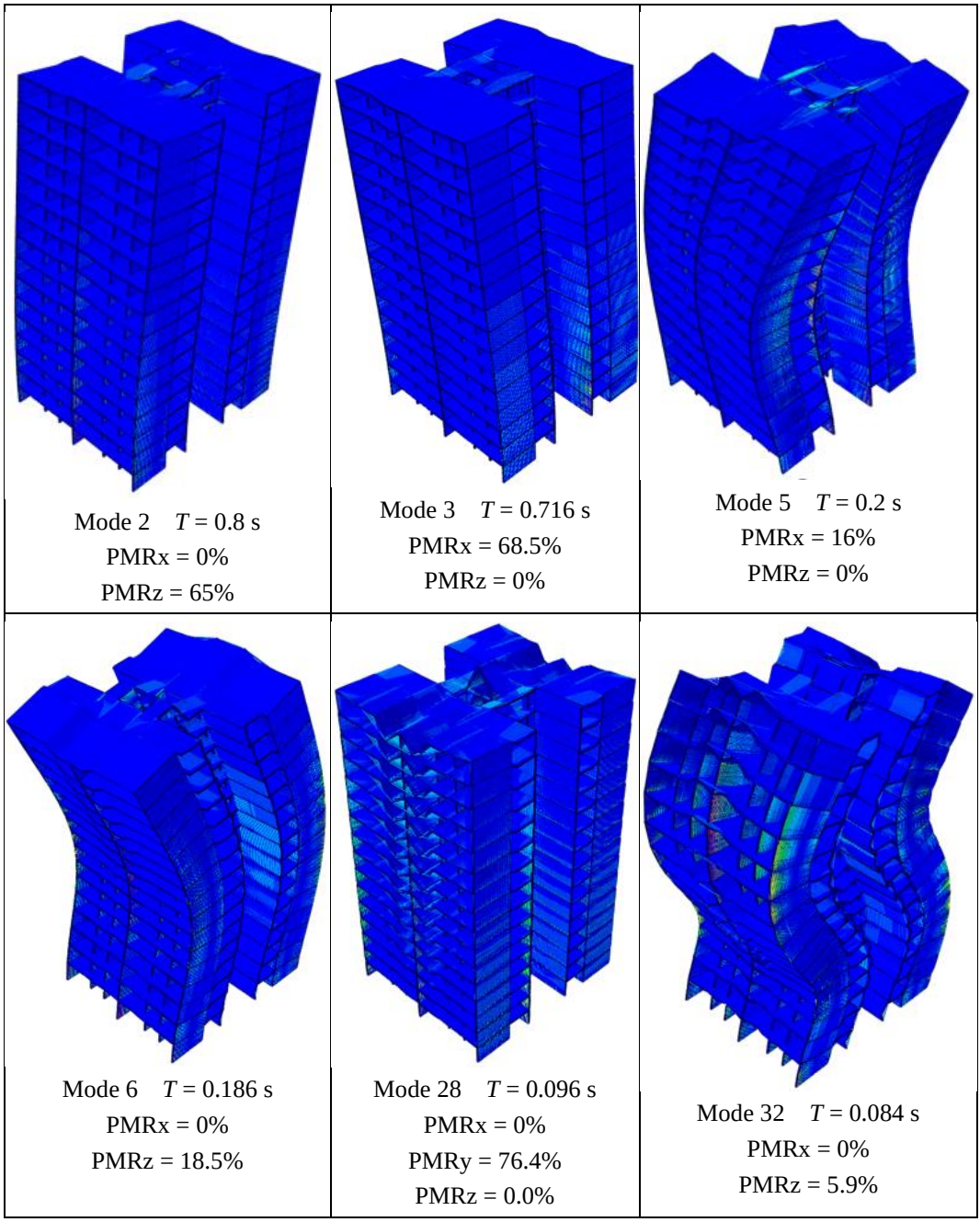
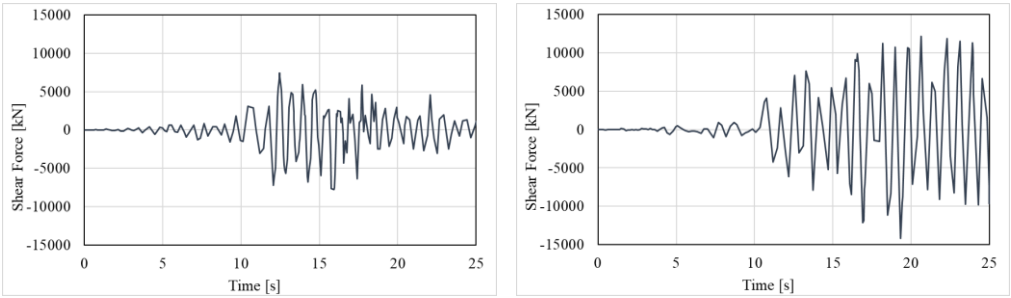


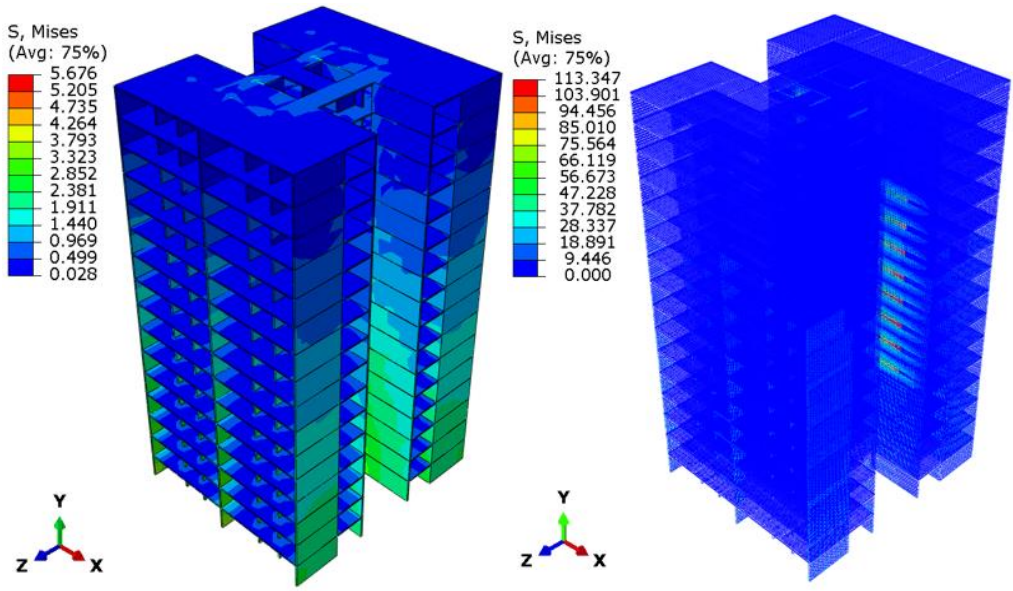
Figure 5. Deformed shapes and corresponding periods of the main vibration modes with indication of the participating mass ratios



X- Direction *Z- Direction*

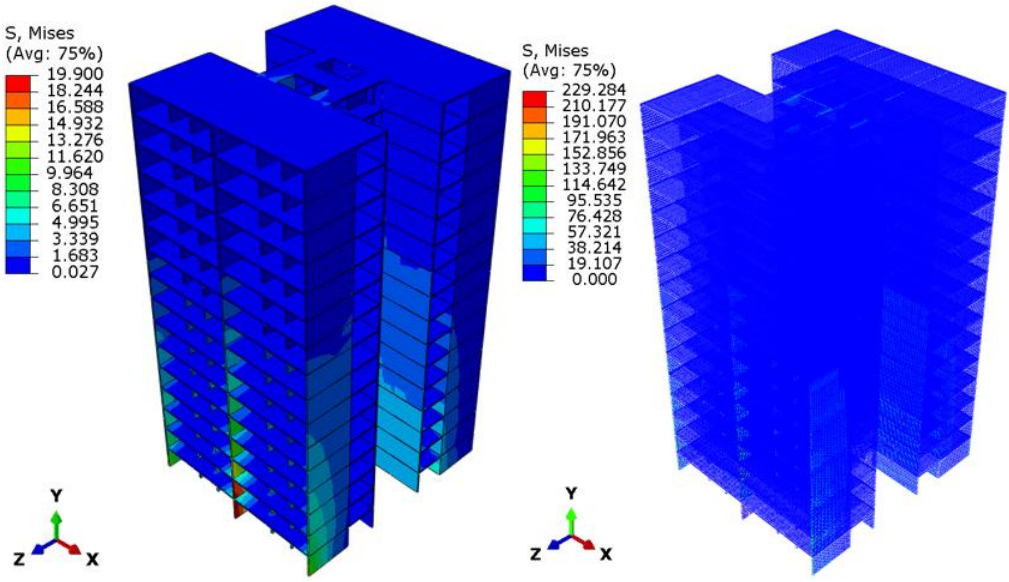
Figure 6. Time histories of base shear force for the earthquakes

Time histories of base shear force obtained for both X and Z-Directions are given in Fig. 6. Von-Mises Stress distribution occurred under the earthquake ground motions in X and Z-Directions are shown in Figs. 7 and 8, respectively.



Concrete *Reinforcement*

Figure 7. Von-Mises Stress distribution in the X-Direction



Concrete *Reinforcement*

Figure 8. Von-Mises Stress distribution in the Z-Direction

Under seismic action in the Z-Direction (stiff side), it can be said that the maximum stress in the concrete and steel reinforcement can be found at the base of the building, the 1st floor, and the 2nd floor levels. The 1st and 2nd floor level reinforcement von-Mises stress distribution and concrete tensile damage are illustrated in Fig. 9. Tensile strain is one of the main reasons causing buckling to the reinforcing bars in RC columns, especially in this situation, as the concrete failed under tensile stress.

The building under seismic action in the X-Direction (flexible side) has a stress distribution in the middle stores. The middle stores reinforcement von-Mises stress distribution and concrete tensile damage, illustrated in Fig. 10.

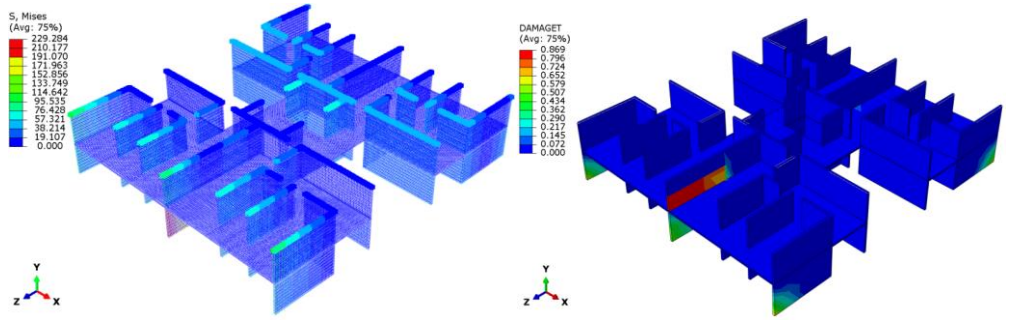


Figure 9. 1st and 2nd floor level (a) Reinforcement Von-Mises Stress distribution in the Z-Direction (b) Concrete tensile damage in the Z-Direction

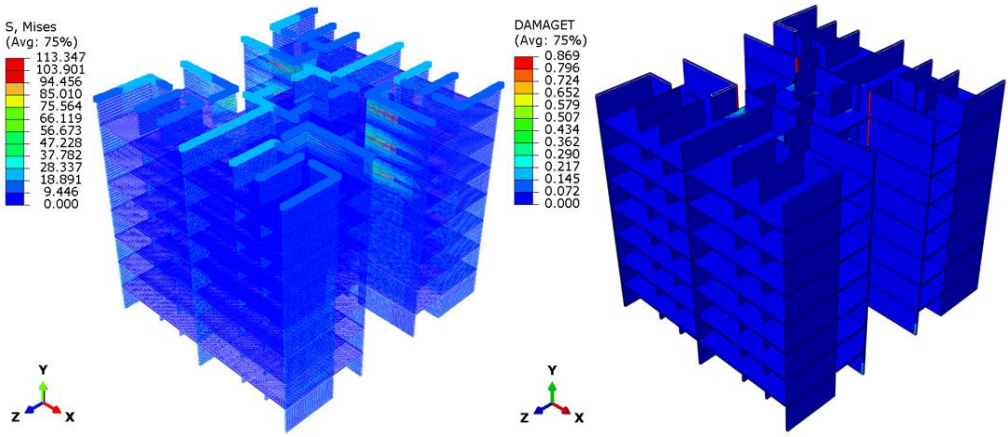


Figure 10. Middle stores (a) Reinforcement Von-Mises Stress distribution in the X-Direction (b) Concrete tensile damage in the X-Direction

5. Conclusion

The aim of this study was to investigate the behavior of tunnel-form concrete structures under low-intensity seismic loads. To achieve this, a scaled version of the main-shock seismic frequency was applied to represent low-intensity seismic conditions. A prototype 16-story tunnel-form building was analyzed using non-linear dynamic analysis. The numerical procedure presented in this study focuses on identifying the most critical regions along the height of the building. The findings demonstrated that conducting structural analysis using advanced finite element modeling and non-linear dynamic analysis is crucial for understanding the overall structural behavior and pinpointing the vulnerable areas of tunnel-form buildings subjected to low-intensity seismic actions.

6. References

[1] Balkaya, C. and Kalkan, E., 2004. Seismic vulnerability, behavior and design of tunnel form building structures. *Engineering Structures*, *26*(14), pp.2081-2099.

[2] Kalkan, E. and Yüksel, S.B., 2008. Pros and cons of multistory RC tunnel-form (box-type) buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, *17*(3), pp.601-617.

[3] Yüksel, S.B., 2008. Slit-connected coupling beams for tunnel-form building structures conditions. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, *13*(3), pp.579-600.

[4] Behesthi Aval, S.B., Mohsenian, V. and Sadegh Kouhestani, H., 2018. Seismic performance-based assessment of tunnel form building subjected to near-and far-fault ground motions. *Asian Journal of Civil Engineering*, *19*, pp.79-92.

[5] Mohsenian, V. and Mortezaei, A., 2018. Seismic reliability evaluation of tunnel form (box-type) RC structures under accidental torsion. *Structural concrete*, *19*(6), pp.1927-1938.

[6] Mohsenian, V., Rostamkalaee, S. and Moghadam, A., 2018, June. Seismic reliability of tunnel form concrete buildings subjected to accidental torsion: a case study. In *16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece*.

[7] Mortezaei, A. and Mohsenian, V., 2022. Reliability-based seismic assessment of multi-story box system buildings under the accidental torsion. *Journal of Earthquake Engineering*, *26*(2), pp.674-697.

[8] Mohsenian, V., Gharaei-Moghaddam, N. and Hajirasouliha, I., 2021. Seismic performance assessment of tunnel form concrete structures under earthquake sequences using endurance time analysis. *Journal of Building Engineering*, *40*, p.102327.

[9] ABAQUS, online documentation. SIMULIA Inc.; 2018.

[10] Lubliner, J., Oliver, J., Oller, S. and Oñate, E., 1989. A plastic-damage model for concrete. International Journal of solids and structures, 25(3), pp.299-326.

[11] Lee, J. and Fenves, G.L., 1998. Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures. Journal of engineering mechanics, 124(8), pp.892-900

[12] Popovics, S., 1973. A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete. *Cement and concrete research*, *3*(5), pp.583-599.

[13] Shakib, S. and Morshed, A.Z., 2021. Modeling of cover concrete cracking due to uniform corrosion of reinforcement. *Journal of Engineering Science*, pp.43-49.

[14] SeismoSoft. (2021). SeismoMatch - A computer program for spectrum matching of accelerograms.

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Engineering Symposium at Bánki
(ESB 2024)

Armor package proposal for combat vehicles

[1]Krisztián Molnár

[1] *Obuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary, molnar.krisztian@stud.uni-obuda.hu*

Abstract

[15] The primary goal of the research is to enhance the protection of combat vehicle crews against impacts of certain energy levels by implementing composite armor packages. This composite armor consists of a combination of aluminum foam, AR500 steel, and ceramic materials, which collectively reduce the energy of shockwaves, the number of shrapnel fragments. The development process is carried out in multiple stages, starting from the design of innovative protective solutions, through 3D modeling, to conducting simulations using simulation software. These simulations play a critical role in the preliminary analysis of the behavior of different materials and structural solutions under various attack scenarios.

[16] Keywords: Composite armor, Crew safety, Simulation, Innovative materials

1. Introduction

In this tank development proposal and research, I focus exclusively on the internal protection of the vehicle, as I consider this the most critical aspect, and because the development trends of modern tanks worldwide point in this direction. The research process involves identifying the areas within the fighting compartment of the vehicle type provided for the research that can be effectively reinforced with additional armor. This would enhance the tank's resistance against threats that it previously could not withstand. The next step is to select suitable materials for the development of the armor package and provide a detailed description of these materials. Following this, I will create 3D models to ensure the design exists at a conceptual level. Then, using appropriate simulation software, I will simulate the protection against specific ammunition types upon impact. Finally, I will draw the necessary conclusions from all these steps to assess the effectiveness of the proposed solutions.

During the research program, a wide range of measurement tools and IT resources were utilized. As a first step, measurements were conducted of the external and internal dimensions of the vehicle used as a test bed for the idea at the facilities of HM Currus Zrt. This step determined the direction of the development. For the measurements, a digital metal caliper and a laser distance meter were used to accurately record the dimensions of the vehicle. To analyze the materials intended for use, a YXLON Cheetah EVO CT scanner was employed for non-destructive material testing, and a METTLER TOLEDO AB204 precision scale. In the design process, two key software programs provided the necessary IT support: Autodesk AutoCAD 2024 and the student-licensed version of Ansys 2024R1. Within Ansys, specifically Ansys Workbench, was used with Speos 2024R1 and Mechanical 2024R1. AutoCAD was used to create the 3D models. Ansys Workbench allowed me to parameterize the Explicit Dynamics simulations. Ansys Mechanical calculated and graphically presented the results of the simulations. This combination ensured the precision and feasibility of both the design.

2. Materials used

This armor design is a composite one, which consequently means that it is not a homogeneous slab of armor added to the existing one, but a multilayered package where each layer has its own task. [1]

Due to the compact design of the interior of the vehicle, the internal armor could have a maximum thickness of 30 mm. Since the minimum effective thickness for internal armor layers is 10 mm, the decision was made to design it with three layers, each 10 mm thick. The layering follows the traditional principles of composite armor. The outer layer is of high hardness, capable of potentially shattering projectiles upon impact or, at the very least, posing a significant challenge to penetration. The second layer is designed to absorb energy effectively, with excellent elastic deformation properties and high yield strength. The third and final layer's role is to prevent the inner two layers from excessive deformation, primarily providing structural reinforcement.

For the outer layer, ceramic material was chosen. During research into ceramics suitable for armor, one material stood out: boron carbide. This material is excellent for the task as it is the third hardest material after boron nitride and diamond, while its relatively low density of 2500 kg/m³ allows for effective protection at a low weight. Its melting point is extremely high, at 2350 °C, and its Vickers hardness is 38 GPa. It has a high elastic limit but low ductility. In addition to providing protection against kinetic impacts, it can also take on radiation shielding duties due to its neutron absorption capabilities. Ceramics function as armor by shattering when struck, creating a shock wave that pulverizes the ceramic, increasing its volume. The resulting sharp and hard ceramic fragments act as a grinding medium, damaging the projectile as it passes through (this brittle fracture is characteristic of ceramics).

For the middle layer, which serves as the pressure and impact-absorbing layer, an interesting material was deemed suitable: aluminum foam. Aluminum foam is produced by injecting neutral gas into molten metal as it cools, creating solidified bubbles within the material. The density of foamed aluminum is lower than that of solid aluminum, making it an effective choice for this application. The dimensions of the test block I measured were 25.6 mm × 26.5 mm × 6.8 mm, and its mass was 1.9979 g. Based on these measurements, I calculated its density to be 433.09 kg/m³, which is 16.04% of the density of solid aluminum (2700 kg/m³). Its compressive strength is higher than that of solid aluminum, nearly four times greater. I created a CT scan of the test sample, which, thanks to the processing software, resulted in a three-dimensional model. Using this model, it was possible to observe the wall thickness of the cells in the sample's cross-section. The typical values ranged between 0.5 and 1 mm, although in some places the thickness reached between 3 and 3.5 mm. Since there is no distinct axis along which the walls are thinner compared to others, it can be stated that for a body with equal side lengths, despite the randomness of bubble formation, the material's strength does not depend on the direction of the force vector.

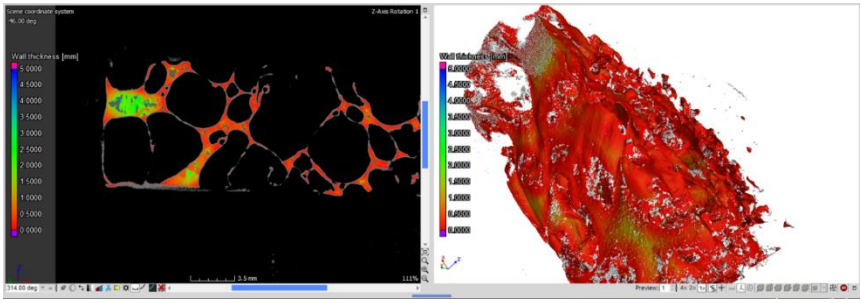


Figure 1. The CT scan of the aluminium foam

For the layer in direct contact with the crew compartment of the vehicle, a metal was intended to be used that is both lightweight and flexible. My first choice was titanium; however, an important consideration is that titanium is very expensive to produce, and manufacturing it in 10 mm thick sheets over a large area is disproportionately costly compared to the level of protection it provides. Therefore, I consider AR500-grade steel plate to be a satisfactory alternative. According to the American MIL-A 46177 standard, its Brinell hardness ranges between 477 and 534 HBW10/3000-W. The carbon content of AR500 steel is between 0.27% and 0.3%, with its main alloying elements being manganese, chromium, molybdenum, and nickel, present at 0.95%, 0.75%, 0.65%, and 0.35%, respectively.[3] Due to its greater hardness and comparable weight, AR500 is a better choice than RHA (rolled homogeneous armor).

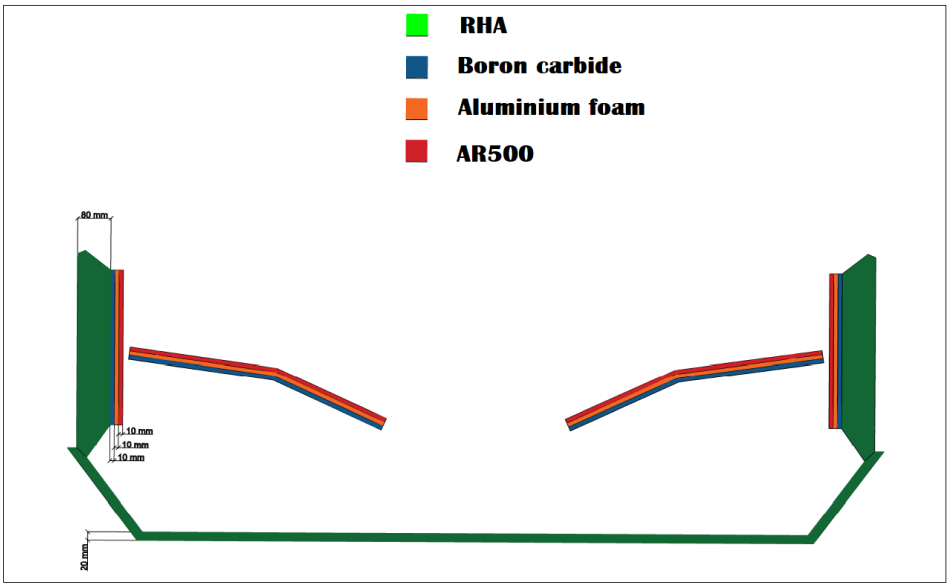


Figure 2. The cross-section of the proposed armor scheme on the existing one

The design for the installation of the supplemental or shrapnel armor involves utilizing the existing threading on the hull and mounting it in 250×250 mm 'tiles' onto the internal armor [2]. A 1 mm gap would be left between the tiles to allow the metals within to expand laterally, thereby increasing the stress distribution across the plate, which can elastically absorb impacts more effectively. Another reason for using small tiles is that replacing the shattered ceramic from a direct hit is much easier with this size compared to having to remove the entire turret along with the internal equipment. These three-layer tiles would be secured with screws equipped with self-locking washers, making them difficult to loosen.

The weight of the supplemental armor is 149.37 kg per side. This calculation is based on the densities of the three materials multiplied by the volumes of their respective layers, resulting in a requirement of 6.02 kg of aluminum foam, 35.01 kg of boron carbide, and 108.34 kg of AR500 steel. The layered armor for the revolving ammunition storage would also be replaced with this same configuration, with a total weight of 215.73 kg. This consists of 8.69 kg of aluminum foam, 50.58 kg of boron carbide, and 156.46 kg of AR500 steel. The armor would be mounted on the axis of the revolving ammunition storage, preserving the trapdoor through which the charge and projectile are transferred.

3. Simulations

I tested my armor concept using simulations. In these simulations, I analyzed how the armor behaves under the impact of armor-piercing projectiles in its current configuration compared to the proposed configuration under identical conditions with the same type of round. The simulations were conducted using the Ansys 2024R1 student license. The parameters in the Workbench program were set, and the calculations and visualizations were performed in the Mechanical module. The simulation environment used was Explicit Dynamics, which is a linear dynamic system. A total of five simulations were conducted, during which all deformations, velocity changes, and stress effects were calculated and analyzed. Specifically, the total deformation, elastic and plastic deformation, and the resulting stress distribution were examined.

In the first simulation, it was examined how the current 80 mm thick rolled homogeneous steel armor behaves when impacted from a distance of 500 meters. The projectile used in this case was the 30 mm APDS (Armor Piercing Discarding Sabot) 3UBR8 tungsten carbide round. For the three-dimensional model of the projectile, only the tungsten carbide core was created, as the ballistic cap does not significantly influence the impact dynamics. After running the simulation, the point on the armor was identified where the projectile first causes a rupture in material continuity. Additionally, the results revealed that this projectile, with its 300 g mass and impact velocity of 1050 m/s, can only perforate the armor, achieving partial penetration, which results in a shrapnel effect on the inner side of the armor.

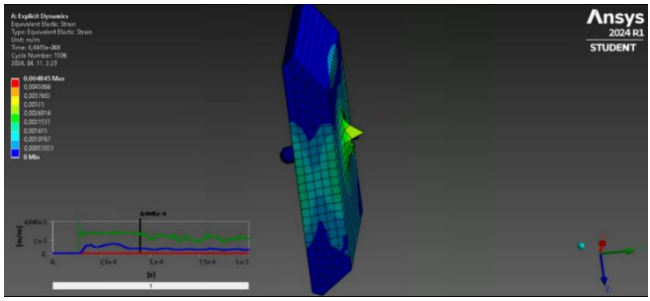


Figure 3. 3UBR8 impact at the moment of armor failure

In the second simulation, the effect of the 3UBR8 projectile was analyzed with the same parameters as in the previous test, but this time including the additional armor layers. These layers were applied not only to the side armor but also to the top of the carousel of the automatic loading system. The results showed that the projectile penetrated the existing 80 mm outer plate, but the additional internal armor stopped it. While the boron carbide layer was also overcome, the process caused most of the projectile to shear off. As a result, the remaining part of the projectile ricocheted back in the opposite direction due to the high elasticity of the foamed aluminum and the innermost AR500 layer. On the side of the crew compartment, the impact resulted in a significant but non-critical dent.

All materials involved exceeded their yield strength, leading to a permanent bulge in the affected area. An important result, which was not previously expected, was that the small gap between the ammunition rack and the side armor caused the armor of the rack to act as a brace. This bracing effect reduced the extent of the dent and absorbed part of the impact energy. The armor on the ammunition rack underwent only elastic deformation, returning to its original shape after the event. Unlike the first simulation, where fragments entered the crew compartment, the fragments in this scenario were ejected outward, meaning no damage occurred inside the tank. This demonstrates the effectiveness of the proposed additional armor in mitigating internal damage.

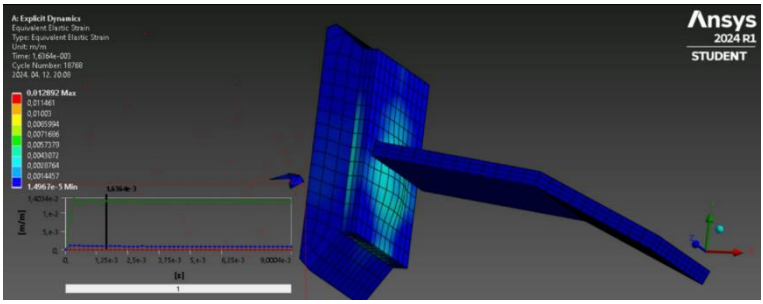


Figure 4. The impact of the 3UBR8, with red dots representing fragments outside the armor, alongside the deformed projectile

In the third simulation, the impact of an APFSDS (Armour-Piercing Fin-Stabilized Discarding Sabot) projectile on the baseline armor was examined. The projectile type used was the 3VBM-17 'Mango', which, while not the most modern, is one of the most widespread in its caliber. The projectile body is made of hardened steel, while the nose cap is tungsten. For the simulation, only these components were considered. The muzzle velocity was 1700 m/s, and the shot was simulated from a distance of 2 km, well within the effective range of the projectile. The projectile's mass was 4850 g, and the angle of impact was 90°, which is optimal for the projectile and poses the greatest challenge for the armor.

Upon running the simulation, the expected outcome occurred: the projectile easily penetrated the armor. During penetration, the projectile deformed and generated a large amount of high-velocity shrapnel that dispersed into the crew compartment. In addition, the main body of the projectile itself also entered the compartment, causing significant internal damage. This confirmed the limitations of the current armor configuration against such a threat.

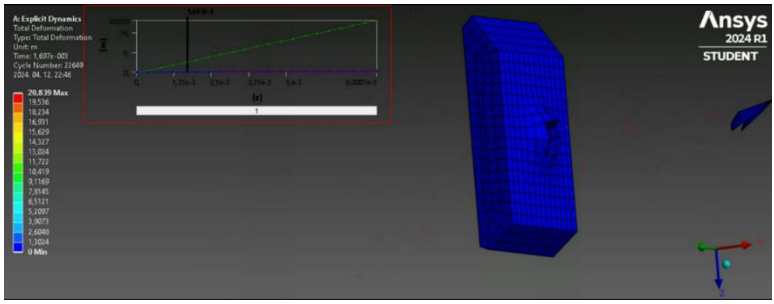


Figure 5. The penetration of the 3VBM-17, showing the plastically deformed armor plate and projectile, with red dots representing the fragments

In the fourth simulation, the same initial conditions were used as in the third simulation, with the key difference being that the target was equipped with my proposed composite armor plates instead of the existing baseline armor. In this case, the projectile successfully penetrated the side armor and its additional layers. However, the impact caused significant deformation and reduced the projectile's velocity from 1450 m/s to 500 m/s. This deceleration rendered the projectile unable to penetrate the ammunition storage compartment's armor. Instead, due to the configuration of the layers, the projectile was deflected downward, toward the chassis of the vehicle.

The rotating ammunition compartment's armor once again acted as reinforcement. However, due to the more forceful impact, plastic deformation occurred in the area where the armor of the compartment came into contact with the deformed side armor and the slowed projectile. Despite this, the additional armor successfully protected the turret crew not only from lethal shrapnel but also from the projectile itself. This result highlights the effectiveness of the reinforced composite armor in safeguarding critical crew areas, even against high-energy threats.

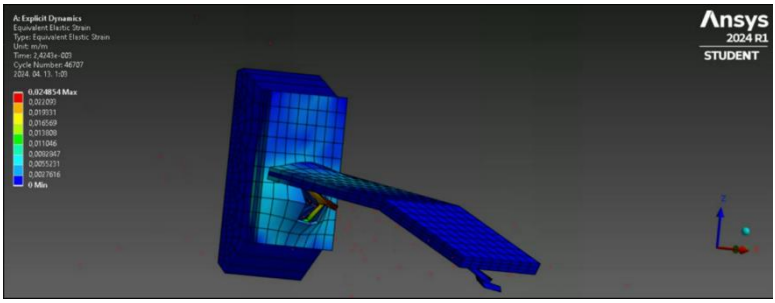


Figure 6. The 3VBM-17 continues its path toward the chassis, with fragments marked by red dots remaining below the crew compartment

4. Conclusion

Simulations have demonstrated that the three-layer additional shrapnel armor, with the specified layer order and thicknesses, effectively enhances protection. In the first control simulation using a smaller autocannon projectile on existing armor, perforation occurred. However, with the additional armor, the second simulation showed successful crew protection. The third simulation, testing the existing armor against a 125 mm shell, resulted in penetration, while the fourth, with the additional armor, deflected the projectile via ammunition storage plates, safeguarding the crew.

The simulations confirmed the shrapnel protection capabilities of the armor. It prevented perforation in one case and deflected a projectile in another, validating the materials used and the concept of angled armor plates. Future experiments should include high-explosive fragmentation and shaped charges, utilizing more advanced simulation tools. If further tests corroborate these findings, live-fire trials could lead to a universal shrapnel-resistant armor applicable beyond T-72 tanks, marking significant progress in crew protection

5. References

[1] W.N.M. Jamil, A. M. Azlan, Z. Sajuri, S. Abdullah, M.Z. Omar, F. Abdullah, és W. F. H. W. Zamri, "Mechanical properties and microstructures of steel panels for laminated composites in armoured vehicles," International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, vol. 13, no. 3, pp. 3741-3753, December 2016, DOI: 10.15282/ijame.13.3.2016.16.0306.

[2] MN HTI, "T-72 harckocsi századparancsnoki változata sorozatgyártási dokumentációja HTJ.TU.1980," levéltári forrás, HM Currus Zrt levéltár, 1981.02.01

[3] "MIL-A-12560H(MR), Military Specification: Armor Plate, Steel, Wrought, Homogeneous (For Use in Combat-Vehicles and for Ammunition Testing)," Department of Defense, USA, 2009.

Examination of Permanent Magnets in different Halbach array configurations

[1]Sándor Nagy, [2]Sándor Semperger

[1]*Obuda University Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary. Contact: nagy.sandor@uni-obuda.hu*
[2]*Obuda University Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary. Contact: semperger.sandor@uni-obuda.hu*

Abstract

The aim of this study is to investigate the application of Halbach permanent magnets using numerical simulations and to determine the optimal magnetization directions and techniques for achieving a stable magnetic field around the Halbach magnet structure. The analysis includes a comparison of the magnetic flux distribution, magnetic field strength, and density of the tested magnets, taking into account various physical parameter changes. The research focuses on the linear configuration of Halbach arrays, supported by a simulation program, while considering the conditions for technical feasibility.

Keywords: Halbach magnet, permanent magnet, flux density

1. Introduction

Permanent magnets are solid objects that maintain a stable magnetic field beyond their physical boundaries without requiring external energy input, following initial magnetization by an external magnetic field. These magnets are characterized by their robust resistance to demagnetization, making them a significant focus of contemporary research. Our study is based on these properties. Although it is feasible to manufacture such magnets artificially, the process is complex and involves multiple stages. The intricacy of the magnetization settings varies with the direction of magnetization and the number of poles, and is also significantly affected by the material type, shape, and spacing of the magnets.

A Halbach array operates based on the interaction between a mobile charged particle and a magnetic field, which generates a net force on the particle. This principle enables the use of these magnetic fields to guide moving charged particles [4,5]. Applications of Halbach arrays include:

- electric motors,
- generators,
- particle accelerators,
- NMR experiment
- and magnetic strips.

The Halbach magnetic arrangement, also known as the Halbach Array (Figure 1), is a unique configuration of permanent magnets featuring a rotating magnetic pattern in space. This pattern

eliminates the magnetic field on one side while enhancing it on the other. This distinctive property has led to significant advancements in the application of magnets, particularly in magnetic levitation railways. The primary advantage is that it minimizes the magnetic field on one side, resulting in a scattered field, and effectively directs the magnetic flux to the opposite side. This nearly merges with the magnetic effects of both sides. This phenomenon can be best understood by examining the magnetic flux distribution (Figure 2).

Discovered by Klaus Halbach, a researcher at Lawrence Berkeley National Laboratory, in 1980, this arrangement has since captured the interest of numerous research groups aiming to optimize its potential applications.

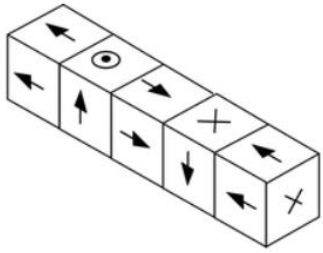


Figure 1. Halbach array layout [1]

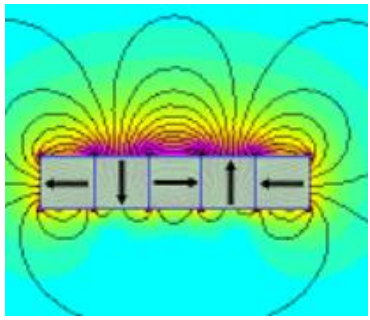


Figure 2. Halbach array flux distribution [1]

The use of Halbach arrays enhances the applicability of magnets. Starting with this configuration and subsequently combining it with the manipulation of magnetic flux density direction, it is possible to homogenize the distribution of magnetic field strength.

2. Examination of the modified arrangement of the linear Halbach configuration

The initial design of the study features a linear Halbach array consisting of 5 individual magnets, each with distinct magnetization directions, as illustrated in Figure 1. This configuration adheres to the basic Halbach arrangement. We modeled this setup using the FEMM 4.2 [3] simulation program [5], which lays the groundwork for the direction of physical research and implementation. Using the same type of magnet, the simulation program allows for the examination of various magnetic shapes and arrangements with scaled physical corrections. The results of these simulations were compared and evaluated.

2.1 Initial basic test status

The initial basic Halbach magnetic arrangement is illustrated in Figure 3, which also displays the initial dimensions.

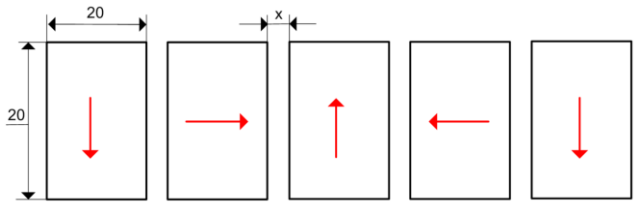


Figure 3. The primary configuration of the linear Halbach array is depicted in a two-dimensional format [1]

The type and properties of the magnet used in the research are shown in Figure 4.

	Characteristic	Units	min.	nominal	max.
Magnetic Properties	**Br**, Residual Induction	Gauss	12,800	13,150	13,500
		mT	1280	1315	1350
	H_{cB}, Coercivity	Oersteds	10,800	11,850	12,900
		kA/m	860	943	1027
	H_{cJ}, Intrinsic Coercivity	Oersteds	12,000		
		kA/m	955		
	BHmax, Maximum Energy Product	MGOe	40	42	44
		kJ/m^3	318	334	350

Figure 4. NDFeB N42 magnet datasheet [2]

2.2 Complex Halbach simulation study

In the following chapter, we present the results of the numerical cyclic analysis of various Halbach configurations. The alternating pole configuration (Figure 3) was used as the base magnetic arrangement, followed by physical rearrangements. In the simulation program, measuring lines were placed at three different distances, as shown in the magnetic flux distribution diagram of the base magnet (Figure 5). These measuring lines were positioned 1, 2, and 5 mm from both the lower and upper surfaces of the magnetic system, along which the magnetic inductions were examined.

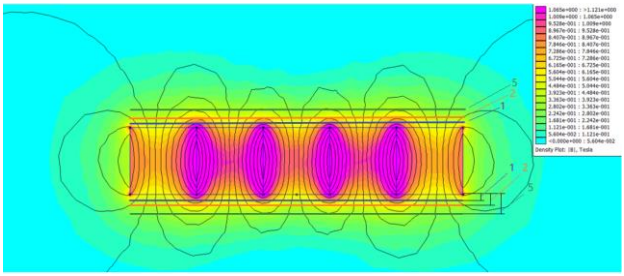


Figure 5. Based on the magnet flux distribution diagram [1]

The next chapter presents the two-dimensional structural diagrams of various physically modified Halbach magnets, where the magnetic flux density along the measuring lines is compared.

Magnetic flux density, also known as magnetic induction, is a vector quantity that represents the strength of a magnetic field. It is denoted by the symbol *B*, and its unit of measurement is the Tesla (T).

2.3 Comparison of magnetic structure modifications

The following chapter includes Table 1, which presents the compared structural configurations. The geometrical modifications were carried out using the FEMM4.2 program, wherein the structural setup was altered in 0.1 mm increments. At each step, the field strength values and flux density distributions were recorded. The table highlights key points, and the comparison helps determine the research pathway towards optimizing the modifications.

Table 1. Comparison of Magnetic Structural Modifications Based on Field Strength

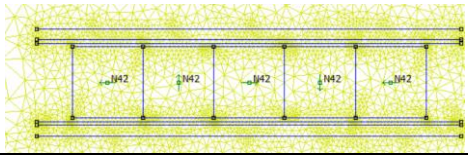
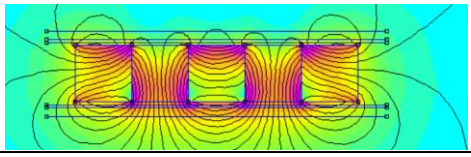
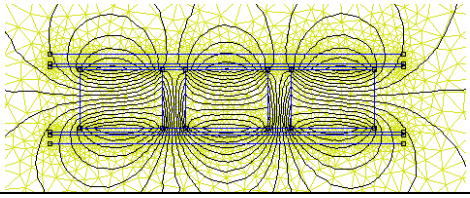
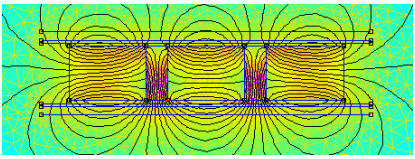
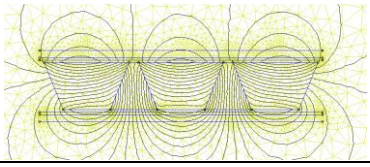
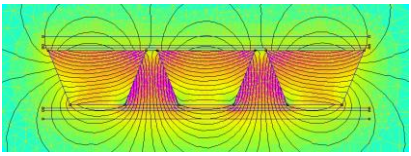
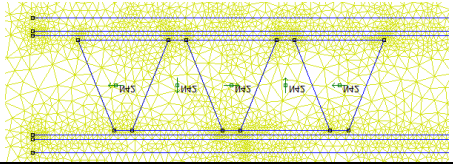
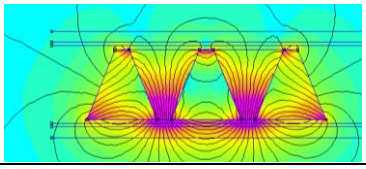
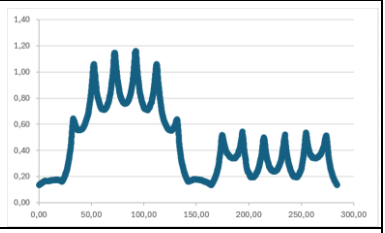
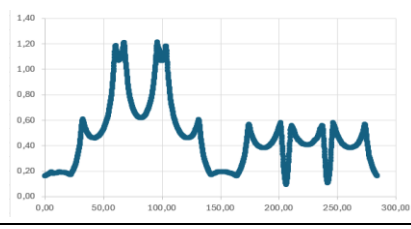
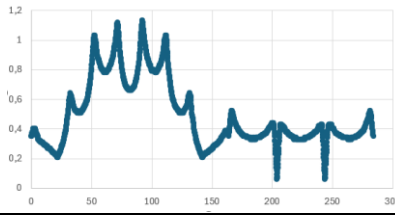
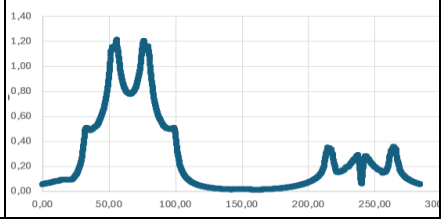
Type	Geometric shape	Flux density
1		
2		
3		
4		

Table 1 outlines the geometric configurations of the 4 tests, where we examined the results of structural modifications. The attached images demonstrate the extent to which geometric modifications influence the flux density.

Table 2 illustrates the changes in field strength within the previously discussed Halbach magnetic structures.

Table 2. Comparison of Magnetic Structural Modifications Based on Field Strength

Type	Field strength diagram	Type	Flux density
1		2	
3		4	

The table presents the dynamic changes in flux density. The diagrams in Table 2 illustrate the variations in field strength by structure. Each figure can be divided into two parts: the right side shows the upper field strength, while the left side depicts the lower field strength of the Halbach structure. The objective is to optimize the upper field strength while minimizing the lower field strength. The following table presents the maximum values of the results.

Table 3. Maximum Magnetic Field Strength of Investigated Halbach Structures

Type	Geometric shape	Maximum Flux density
1	Basic Halbach array	1.18 T
2	Halbach array with rectangular structure	1.21 T
3	Trapezoidal Halbach array	1.18 T
4	Halbach array with triangular structure	1.21 T

3. Conclusion

Based on the results obtained during the research process, it is evident that the maximum magnetic field strength cannot be significantly influenced in the investigated systems. However, it was observed during the modifications that the distribution of magnetic flux density can be altered, allowing the field strength to be regulated predominantly to one side.

The examination results indicate that the triangular structural configuration proved to be the best for homogenizing the field strength. In the future, we will continue geometric modifications in this direction, expanding our research calculations to include changes in the pole orientations of the magnet.

4. References

[1] S. Nagy and S. Semperger, "Investigation of different of arrangement of Halback array," in Proc. IEEE 7th Int. Conf. Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering, 2024, in press

[2] Arnold Magnetic Technologies, "N42 Neodymium Magnet Datasheet," Nov. 2017. [Online]. Available: https://www.arnoldmagnetics.com/wp-content/uploads/2017/11/N42-151021.pdf

[3] "Magnetic Tutorial," FEMM, Accessed: Dec. 13, 2024. [Online]. Available: https://www.femm.info/wiki/magneticstutorial

[4] J. Ofori-Tenkorang and J. H. Lang, "A comparative analysis of torque production in Halbach and conventional surface-mounted permanent-magnet synchronous motors," in Proc. IEEE IAS 30th Annu. Meeting, Oct. 1995, pp. 657-663.

[5] J.M.D. Coey, Permanent magnet applications. J. Magn. Magn. Mater., vol. 248, no. 3, pp. 441-456, Aug. 2002.

Criminal use of drones and possible lines of defence

[1] Norbert Daruka, [2] Krisztián Végh

[1] Obuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary, daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu
[2] Ludovika University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering, Budapest, Hungary, vegh.krisztian1@gmail.com

Abstract

The use of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) with criminal intent falls within the scope of activities that are intended to achieve illegal or objectionable ends and may endanger human life, public order, or national security. The criminal use of drones, as unmanned aerial vehicles are commonly known, raises a number of dangers and ethical issues that have become increasingly pressing with the development of modern technology. Although drones were originally designed for military and industrial purposes, the proliferation of easily accessible and cheap models has opened up new opportunities for criminals. The experience of innovation in recent years – in the battlefield – also shows that the development of capabilities such as advanced weapon systems, drones, and other strike-measuring devices has accelerated significantly. Today, unmanned systems are used across the full spectrum of communications, reconnaissance, strike measurement, and support. Our aim is to raise awareness of the problem posed by these devices and to highlight possible ways and means of defence.

Keywords: unmanned systems, drones, drone protection, malicious use.

1. Unmanned systems

Unmanned systems, also known as drones, have developed significantly in recent decades and have a wide range of applications in modern society. Systems with unmanned mobile platforms are commonly referred to as UxS.

Depending on the type of deployment, they can be categorised as land-based (UGS – Unmanned Ground System), airborne (UAS – Unmanned Aircraft System), or maritime (UMS – Unmanned Maritime System). UxS use sensors to detect the environment and its changes and are able to process the information received semi-automatically and autonomously. These devices, known as “drones”, have undergone enormous change over the last decade. These changes are mainly due to technological developments and conflicts in the world.

Confusingly, the term “drone” is clearly associated in the vernacular with unmanned aerial vehicles, and this will be very difficult to change, if it is to be changed at all.

Today, unmanned systems are playing an important role in many areas, and their technological development is affecting many sectors.

1.1 Military applications

Unmanned systems were originally related to military applications and have become an important part of modern warfare. As a result of the experience of armed conflicts of today, it is now clear that the emergence and mass deployment of UAVs is changing the nature of warfare. They have become ubiquitous, from the combat to the strategic level. Opinions differ, however, as to whether this is a revolutionary change or 'merely' an evolution of warfare. Drones are essentially used for tasks that would otherwise be carried out by human power or would require the direct or indirect presence of a human being, but their loss or injury does not put personnel at risk, which in turn allows commanders to accept a significantly greater risk. Nowadays, drones and drone systems of various sophistication are available to all actors in the security environment. Regular armies and non-state actors are developing their reconnaissance, strike, and other drone capabilities. Its main applications are in reconnaissance, data and information transfer, EW missions, deception, logistics, medical transport, and various strike applications such as explosive ordnance disposal, chemical delivery. Defending against them in both battlefield and urban environments is an extremely difficult task, which is a significant factor in today's environment [1].

1.2 Agricultural application

Drone applications in agricultural fields have also developed significantly in recent years. The most typical applications include various types of parcelling, survey areas, spraying, and harvest forecasting. One may ask why this area is vital in view of the objectives of this publication. Well, it is simple: in the context of conflicts, it must also be recognised that the main objective of two or more opposing forces is to put the enemy in a position where he is forced to give up his territorial, power, or economic ambitions or position. Just think of the longer-term impact on the economy of using drones to destroy crops in agricultural areas. And in the short term, it could be used to disrupt troop movements, as a pass over an area planted with crops could result in huge losses if the area is set on fire. Although this is a rough idea, it cannot be ignored.

1.3 Logistics and transport

The use of drones in freight forwarding is gaining increasing attention as it offers significant advantages in the fast, cost-effective, and safe transport of goods. Many companies are focusing on their environmentally friendly features and extreme speed. Unfortunately, malicious use is also possible in this area, as it is not possible to know exactly what the package arriving at the exact address by drone contains. “However, the real threat is when explosive devices are targeted using this method. In this case, the unsuspecting victim has no idea that an explosive device, for example, may be in the immediate vicinity instead of the plug, book, or food they ordered. Sceptics might argue that, even from a distance of 16 kilometres, the bomber would not know when to detonate the device. To those who think this way, I recommend studying explosive devices with different sensors. Since the explosive devices can be delivered in a sealed package, only a light or a photocell is needed for the system to work. The victim in this case has no idea that he is playing with his life the moment he opens the package” [2]. It has been more than a decade since the risks of logistics deliveries by drones were highlighted, but no countermeasures have been taken. It is also certain that if a successful attack is carried out, it will not be publicised, as drone transport or drone logistics itself is a huge field that can suffer huge losses from bad publicity.

1.4 Infrastructure inspection and maintenance

Unmanned systems are a great help in areas where human access to infrastructure is difficult or risky. In this respect, access, repair, and maintenance of high buildings and bridges are made

possible. For critical infrastructures, the monitoring, repair, and maintenance of energy supply systems is perhaps the most challenging. It is no coincidence that this is perhaps the sector most at risk from deliberate attacks, sabotage, and military targets. In the case of critical infrastructures, it is impossible to list all the sectors that would not pose a problem to those living, working, or policing in the area in the event of an external attack. In this respect, oil installations, communication stations, and energy sector installations are also critical. Looking at conflict zones around the world, on the other hand, there is an increase in the vulnerability of health facilities and military installations. Drones and, in this respect, cruise munitions can cause enormous damage at the local, regional, and even national level.

Loitering Munition is ammunition whose trajectory or flight path is controlled. Depending on the mission profile, it searches for predetermined targets on the ground in the area of operations and, once enabled by the operator, engages moving targets with high accuracy. The LM is intended for single use against enemy targets. Once launched, it does not return and cannot be returned to a ready-to-use state. The increased threat posed by unmanned air systems applies to both UAS and LM. Both are often referred to indiscriminately as “kamikaze drones” when used as active assets.

1.5 Environmental monitoring and research

Mention should also be made of the use of unmanned systems to protect the environment. The monitoring of nature reserves, disaster monitoring and detection, and monitoring of climatic changes also fall into this category. This is perhaps the only area where there is currently no risk of criminal use.

1.6 Entertainment and media

The use of unmanned systems for entertainment purposes is also widespread. Drones have become an essential part of sports coverage. Aerial coverage offers a whole new perspective on events and, unfortunately, the dangers are inherent. It may not be common, but these systems can also malfunction, lose control, or fall due to physical contact, posing a danger to those in the area. This does not mean that the systems are being maliciously damaged; the indirect risk is still there.

If we look at future trends, it can be seen and realised that unmanned systems will continue to evolve in the future. In our opinion, the main trends in the development of drones will be determined by the emergence of autonomous systems, 5G, and its additional components, and "Swarm" technology. We are confident that these are the areas where protection needs to be created now, regardless of the fact that the final trends are not yet known.

2. The use of drones in terrorist activities

The intertwining of terrorist activities and drones is a growing concern in many countries around the world, as drones have become a highly effective tool for terrorist groups, particularly in carrying out terrorist attacks. Drones offer terrorists a new and highly effective way to carry out conventional attacks without the need to be directly present on the ground. The wide availability, low cost, and ease of use of drones have led to their rapid adoption by these types of groups [3]. The main areas of application are:

2.1 Bombing

Guided Explosive Devices: One of the most dangerous applications of drones is the delivery of explosive devices and the attack on targeted objects. Drones are capable of delivering small but effective explosives and explosive devices, and dropping them directly on targets. Terrorists can use

these attacks to target selected targets, such as government buildings, military bases, or even mass gatherings.

Drones as "mobile bombs": Drones can reach places where other conventional explosive devices are more difficult to reach. Drones flying at low altitudes can reach the target area with pinpoint accuracy, making them difficult to detect and allowing them to attack quickly and by surprise.

2.2 Surveillance and spying

Covert surveillance: Drones offer terrorists an ideal tool for monitoring targets, government buildings, military bases, or strategic infrastructure. Drones can hover over desired locations for hours, recording movements and events without posing a direct threat to observers.

Covert surveillance: smaller drones, which can be easily hidden, can observe people and the environment undetected [4]. Drones can use light and infrared detection, so they can operate effectively even at night.

2.3 Communication disruption

Jamming attacks: Some terrorists may also use drones to jam communication and navigation systems. Disruption of sensitive equipment such as mobile phones and radio communication systems can contribute to reducing the effectiveness of security measures.

2.4 As a means of transport

Smuggling of weapons and drugs: Drones are increasingly being used for illegal transport, including drugs, weapons, and other illicit substances. Drones are able to bypass traditional border security systems as they do not require any formal entry or customs clearance.

2.5 Creating a mass disaster

Biological or chemical attacks: although drones do not yet have biological or chemical weapons for widespread use, they could theoretically be able to deliver small quantities of toxic substances or infectious micro-organisms to the intended target. Such an attack, although small in range, could create enormous fear and panic.

3. The dangers of drones

Drones are an increasing challenge for security authorities. The following threats are of particular concern in relation to the use of drones by terrorist groups:

3.1 Vulnerable targets

Drones allow terrorists to precisely target public services, critical infrastructure such as power grids, water supply systems, hospitals, and other critical public or private facilities. Such attacks can cause significant economic and social damage [5].

3.2 Difficult to detect

A major advantage of drone attacks is that they are extremely difficult to detect. Because drones are small and relatively slow, they can easily evade conventional defence systems such as radars and missile defence systems.

3.3 Mass panic and psychological impact

Drone attacks can have a particularly psychological impact on society, as civilians who are unable to predict when and where they may be attacked may experience increased stress. A small explosion can be enough to cause panic in the population.

3.4 Strategic threat

Drones are capable of carrying out highly precise attacks, giving terrorist groups the opportunity to target high-profile individuals (e.g., political leaders, military commanders). This type of targeted attack can have an extreme impact on political stability.

4. Defending against drones

A number of security measures are in place to counter terrorist use of drones, but defending against them is complex and costly. In terms of the amount of literature available and processed, and the number of codes and regulations adopted and implemented, on drone protection (both active/drone countermeasures and passive protection), it can be said that there is still room for improvement. We believe that this is simply because it is a relatively new threat, and the time between its recognition and the development of the right responses to it has been extremely short. [6]

In a nutshell, drone protection is the sum of activities to protect forces, assets, and critical infrastructure from the harmful effects of drones, whereby the coordinated efforts of the relevant disciplines can avoid or minimize the damage caused by drones.

With regard to the active technical conditions for drone protection, only "systems of systems" employing multiple sensors and "effectors" simultaneously and in a system can provide effective protection. It is therefore a complex task for the various platforms of air defence, coordinated in time, height, and distance [7]. Some defence options are described below:

4.1 Sensor systems

Radar systems: Radars for detecting drones are capable of monitoring low-altitude moving objects. These systems can monitor flight zones and provide timely alerts if a drone is in an undesired area.

Optical and infrared sensors. Infrared systems are also capable of night detection.

4.2 Signal jamming

Jamming is a technique that jams the communication between a drone and the control station by emitting electromagnetic signals. If the drone is unable to communicate with its pilot, it may return to its point of origin or crash. The effectiveness of jamming depends largely on the strength of the jamming, the type of drone, and the communication frequency.

Radio Frequency (RF) jamming: RF jamming can disrupt the communication and navigation systems of drones, causing them to become uncontrollable or shut down.

GPS jamming: Interference with the GPS-based navigation systems of drones can force them to return to a safe location or make an emergency landing.

Network jamming: recent developments could include interference with 5G, Wi-Fi, and other wireless communication systems that could profoundly affect the operation of some drones.

4.3 Defence systems

While jamming and detection are important, integrated systems often also include physical defenses that can stop, intercept, or destroy a threatening drone. The most common such devices are:

Drone netting systems: The purpose of such systems is to intercept the drone without completely destroying it. The net is used to drop the drone in a safe place after it has been intercepted. Captured drones are usually stopped on the spot, thus minimizing the risks.

Firing (non-lethal weapons): Some systems use special firearms that target the drone. Such weapons usually do not kill, but simply destroy the drone's electronics or propellers, causing it to stop.

Energy-based systems (lasers, microwave weapons): Energy-based weapons incorporated into integrated systems are capable of destroying the drone's electronic systems in a targeted manner. Lasers and microwave weapons can attack the drone's sensors, communication systems, or engines, disabling or destroying them.

Anti-drone systems: In some countries and organizations, systems are in place to physically neutralize drones. Such systems may include net interception, electronic jamming, or even drone attacks.

4.4 Automated management systems

Modern integrated systems often include autonomous systems that can automatically react to drone threats. These systems automatically detect drones, classify threats, and immediately initiate the appropriate response, whether it be jamming, interception, or destruction.

Automatic target identification and tracking: Sensors and AI-based systems enable fast and accurate drone identification and tracking. AI enables the system to automatically select the most appropriate defensive response.

Integrated responses. For example, the system can first warn, then trigger a jamming attack, and finally, if necessary, physically destroy the drone.

4.5 Legal and regulatory measures

Regulation and licensing: Stricter regulations and registrations on drones could facilitate the identification and tracking of potentially dangerous individuals and groups.

Defence authorities: State and international cooperation is key to countering terrorist drone threats, as some attacks may cross international borders.

The convergence of terrorist activities and drones poses serious challenges to global security. The easy availability, low cost, and versatility of drones provide terrorists with the opportunity to carry out attacks, observe targets, and disrupt security systems effectively. In addition to adequate defence mechanisms and legislation, international cooperation is important to minimize terrorist activities in the future.

5. References

[1] Végh Krisztián (2024): A repülő IED, mint harctéri innováció. In: Daruka N.; Ember I.; Kovács Z. T. (szerk.) III. Fúrás-robbantástechnika nemzetközi szimpózium különkiadás 2024. Budapest, Magyarország, ISBN:9786158259101, Magyar Robbantástechnikai Egyesület 2024. 274 p. pp. 80–93.

[2] Daruka Norbert (2014): Oktokopter A légi szállítás modernizációja, vagy a robbanószerkezetek célba juttatásának újabb lehetősége. Repüléstudományi Közlemények Online folyóirat 26. évfolyam 2014/2. HU ISSN 1789-770X, pp. 247–256.

[3] Balogh Zsuzsanna: Tisztes távolság – optimális védőtávolság robbantásos támadások esetén. Repüléstudományi Közlemények Online folyóirat 26. évfolyam, (2012), Különszám. 380–386. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2012.2.30

[4] Ember István – Kovács Zoltán Tibor (2022): Mini drónok lehetséges alkalmazása tűzszerész műveletekben. HADITECHNIKA 56 évfolyam 2022/2. pp. 18–23.

[5] Daruka Norbert – Szalkai László (2022): The dangers of unmanned aircraft systems. In: Daruka, Norbert (szerk.) Fúrás-Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium Különkiadás 2022. Velence, Magyarország, Magyar Robbantástechnikai Egyesület 2022. pp. 247–257.

[6] Lukács László – Balogh Zsuzsanna: A kritikus infrastruktúra létesítményeinek robbantásos cselekmények elleni védelméről. Honvédségi Szemle, 147. (2019), 3. 85–102. Online: https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/honvszemle/article/view/254

[7] Végh Krisztián – Daruka Norbert (2024): Protection against civil and military drones - so that the “blessing” does not come from above. In: Daruka N.; Ember I.; Kovács Z. T. (szerk.) III. Fúrás-robbantástechnika nemzetközi szimpózium különkiadás 2024. Budapest, Magyarország, Magyar Robbantástechnikai Egyesület 2024. 274 p. pp. 216–226.

Engineering Symposium at Bánki
(ESB 2024)

Effects of longitudinal bending stiffness on joint range of motion and peak angle velocity during the stance phase of running

[1]Quian Liu, [2]István Bíró

[1] *Obuda University, Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary, liu.qian@uni-obuda.hu*
[2] *Obuda University, Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary, biro-i@mk.u-szeged.hu*

Abstract

Running has become one of the most popular sports because of its low cost and ease of joining. Longitudinal bending stiffness (LBS) is a footwear property that plays a vital role in runners' athletic performance. A total of 16 healthy male recreational runners (running time ≥ 6 months, weekly running distance ≥ 10 km) were recruited for this study. After warming up and getting familiar with the experimental environment, the subjects wore three types of LBS running shoes (shoe 1: 2.7 Nm/rad, shoe 2: 5.0 Nm/rad, shoe 3: 8.6 Nm/rad) in random order and ran at a speed of 10km/h. The Visual3D three-dimensional motion analysis software was used to analyze the joint angles of the hip, knee, ankle, and metatarsophalangeal (MTP) joints during the running stance period, and the joint range of motion (ROM) and peak angle velocity were further obtained. This study found that ankle and knee ROM and peak angle velocity were significantly greater than S1 when wearing S2 and S3. MTP joint ROM and peak angle velocity were significantly smaller than S2 and/or S1 when wearing S3. This provides a basis for understanding how LBS affects lower limb joint ROM and peak angle velocity. It also provides suggestions for recreational runners on the choice of running shoes.
Keywords: running, longitudinal bending stiffness, joints, angle, angle velocity

1. Introduction

Although running is popular, it has a disadvantage that cannot be ignored, that is, the risk of running-related injuries (RRI) is extremely high [1]. These injuries may involve the hip, knee, ankle, and other parts of the body, and require careful and steady training as well as proper body position and equipment to reduce the risk of injury and maximize the benefits of running. Various studies have examined the prevalence of injuries in runners, with the prevalence ranging from 3.2% to 84.9%, a large variation that differences in study design, injury definitions, victim characteristics, and follow-up periods can explain [2].

Longitudinal bending stiffness (LBS) refers to the hardness or stiffness of the shoe when it is bent in the longitudinal direction (i.e., from heel to toe). The LBS of running shoes not only affects the biomechanical characteristics of running, but also affects the subjective feelings of runners [3]. Wang Yu [4] found in his study on the effects of different LBS insoles on subjective comfort and jogging biomechanics that changing the LBS of sports shoe insoles can change the LBS of the entire shoe and affect the subjective comfort of the wearer. The smaller the LBS, the better the overall comfort, and the more people tend to choose such shoes; changes in the insole LBS can affect the eversion angular velocity of the ankle joint, the eversion angle of the knee joint, and the extension

angle of the metatarsophalangeal joint during jogging. Choosing sports shoes with appropriate LBS can protect the knee joint, ankle joint, and metatarsophalangeal joint to a certain extent and reduce the chance of injury; changes in the insole LBS can affect the position of the center of pressure point and joint torque during jogging, which can improve running economy. In addition, Ma et al. [5] found that changes in LBS affect the plantar flexion speed during the extension phase of running; the lower the stiffness, the faster the speed; it also affects the plantar flexion speed during the cushioning phase of running; the higher the LBS, the faster the speed; and increasing LBS can increase the stability of the movement of the inner foot during running. In addition, Chen et al. [6] found that LBS directly affects the performance of various sports such as running, jumping, sprinting, and multidirectional sports, and prevents metatarsophalangeal joint loss by limiting metatarsophalangeal joint hyperextension. In addition, it was concluded that running shoe LBS mainly affects the kinematic parameters of the metatarsophalangeal joint and ankle joint. Higher running shoe LBS has a shock-absorbing effect by increasing the ankle contact angle, and higher stiffness running shoes have the smallest ankle eversion angle before and after running, while low stiffness running shoes have the largest ankle eversion angle. Low stiffness running shoes have higher propulsion force, but excessive reliance on knee joint work may pose a risk of injury [7].

The purpose of this study is to compare the range of motion (ROM) and peak angle velocity of the hip, knee, ankle and metatarsophalangeal (MTP) joints of the lower limbs during the stance phase of running when recreational runners wear different LBS running shoes, in order to explore the LBS suitable for recreational runners from a biomechanical perspective, and to provide a reference for further reducing sports injuries and improving sports performance.

2. Materials and Methods

2.1 Participants

A total of 16 adult males were recruited for the study (participant information is shown in Table 1). The recruitment criteria for recreational runners in this experiment were: continuous running for at least 6 months and at least 10 kilometers per week. The dominant limb refers to the leg that is preferred for kicking a ball. The dominant limb of all participants is the right lower limb. All participants had no health problems and/or neuromuscular diseases and/or known gait disorders, and had no lower limb injuries in the past six months. All participants were informed of the purpose, methods, and procedures of the test before the test and signed the informed consent form.

Table 1. Demographic information

N	16
Age	23.13±1.17
Height	175.21±1.62
Weight	75.72±3.61
Cumulative running time（months）	8.23±1.12
Weekly running distance	15.47±2.34

2.2 The Experimental Shoes

The specific details of the running shoes used in this experiment are shown in Figure 1. In order to eliminate the influence of other design parameters of the shoes on the mechanical properties of the shoes, the experimental shoes used in this study were all provided by a third-party organization and the LBS values of the running shoes were measured by a third-party organization using a rotating axis material testing machine (Instron ElectroPuls E1000, Norwood, MA, USA) to ensure that the other mechanical properties of the three pairs of running shoes were the same except for the LBS. The customized running shoes requirements are as follows: (1) In terms of material composition, the outsoles of the three pairs of running shoes are made of rubber with the same material properties, the midsoles are made of EVA cushioning materials and carbon fiber plate support materials with the same material properties, and the uppers are made of artificial leather with the same material properties; (2) In terms of appearance and size, the heel height of the three pairs of running shoes is 4.2 cm, and the forefoot thickness is 2.6 cm; (3) In terms of LBS, this study selected the LBS based on previous studies [8, 9].

Figure 1. The information of shoes (S1: shoe 1, S2: shoe 2, S3: shoe 3)

2.3 The Experimental Process

Before the formal test, the subjects entered the laboratory to fill in basic information. After filling in the basic information, the subjects warmed up by running for 10 minutes at the speed they felt most comfortable. After completing the warm-up, participants will use the results of a random draw to determine the order in which they will wear their running shoes in the formal experiment. In the first step of the formal test, each subject was asked to stand on a force platform to collect static coordinates. During the test, the subjects were asked to run on a specified track wearing the first pair of shoes. The subjects were asked to complete a full gait cycle on the force platform (Kistler, Winterthur, Switzerland) located in the middle of the track. In this test, a full gait cycle was defined as the time from the right heel strike to the right forefoot leaving the ground. The force platform recorded the ground reaction force during running at a frequency of 1000 Hz to determine a complete gait cycle. The motion data of the stance phase was recorded at a frequency of 200 Hz using an infrared 3D motion capture system with eight cameras (Vicon Metrics Ltd., Oxford, UK). The force platform and the infrared motion capture system were synchronized to collect motion data. In order to obtain the running speed of the subjects in a timely manner, a Brower infrared timing light (Brower Timing System, Draper, UT, USA) was used to control the speed. The subject must successfully complete five attempts for each pair of shoes.

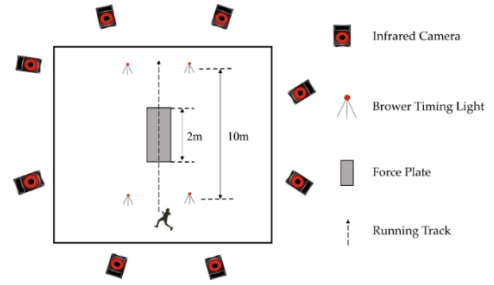


Figure 2. Experimental flow chart

2.4 Data Analysis

Kinematic data preprocessing was performed in Vicon Nexus software, and five complete support periods were captured for each test group of each subject. The support period was defined as the interval from right heel strike to left toe lift-off. The frame number corresponding to the right heel strike (the first frame with a force value exceeding 20 N) and the frame rate corresponding to the left toe lift-off (the last frame with a force value exceeding 20 N) were determined by the vertical ground reaction force value [10]. The missing marker points in the support period were completed, and the wrong or redundant marker points in the support period were deleted. Then, a file containing the support period marker point trajectory and ground reaction force data (.c3d format) was exported for subsequent processing.

The exported files were further processed using the biomechanical analysis software Visual3D (C-Motion, Germantown, USA), and the static data of the subjects collected were selected to create a static model. After the static model was created, the joint angles were calculated using the "Compute Model-Based Data" command. The calculated data were filtered using the "Lowpass Filter" command, and the kinematic data cutoff frequency was 14 Hz, which was used for the denoising process of the marker trajectory. The joint angles of each frame during the support phase were exported in .txt format using the "Export Signals to ASCII File" command in the "Script/Pipeline Processing" window. The ROM and peak angle velocity of the joints were calculated and summarized in Excel (Microsoft, SFO, USA).

2.5 Statistical Analysis

SPSS 26.0(SPSS, Chicago, IL, USA) software was used for statistical analysis.

Descriptive statistics were provided as means and standard deviations (SD). Tests for normality and homogeneity of variances (Shapiro–Wilk and Levene's, respectively) were conducted on all data before the analysis. One-way ANOVA was performed to determine the effects of LBS on joint ROM and peak angle velocities during running. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

3. Results

3.1 ROM

The effects of LBS on joint ROM are shown in Table 2.

The knee flexion and extension ROM when running in S2 and S3 are significantly greater than those in S1(P=0.001). The ankle dorsiflexion and plantarflexion ROM when running in S2 and S3 are significantly greater than those in S1 (p =0.001). The MTP dorsiflexion ROM when running in S3 is significantly smaller than this in S1 (p =0.001). The MTP plantarflexion ROM when running in S3 is significantly smaller than this in S1 and S2(p=0.001).

Table 2. The effects of LBS on joint ROM

(a. Significantly different from S1, b. Significantly different from S2, c. Significantly different from S3.)

ROM（°）		S1	S2	S3
Hip	Extension	40.01±8.92	41.90±7.83	44.28±8.50
Knee	Flexion	21.36±4.34bc	27.75±2.67a	28.06±4.85a
	Extension	15.03±9.29bc	19.23±5.52a	19.91±8.35a
Ankle	Dorsiflexion	14.25±1.57bc	18.53±0.98a	18.78±0.92a
	Plantarflexion	32.90±4.01bc	38.43±4.79a	38.12±4.97a
MTP	Dorsiflexion	15.90±3.89	17.20±4.22c	13.40±1.33b
	Plantarflexion	15.65±4.42c	12.60±3.47c	8.88±2.34ab

3.2 Peak Angle Velocity

The effects of LBS on joint peak angle velocity are shown in Table 3.

The knee flexion and extension peak angle velocity when running in S2 and S3 are significantly greater than those in S1 (p=0.001). The ankle dorsiflexion and plantarflexion peak angle velocity when running in S2 and S3 are significantly greater than those in S1 (p =0.001). The MTP plantarflexion ROM when running in S3 is significantly smaller than this in S1 and S2 (p =0.001).

Table 3. The effects of LBS on joint peak angle velocity

(a. Significantly different from S1, b. Significantly different from S2, c. Significantly different from S3.)

Peak angle velocity（rad/s）		S1	S2	S3
Hip	Extension	6.16±0.97	6.18±0.46	5.94±0.49
Knee	Flexion	4.12±1.47bc	7.32±1.28a	9.37±1.28a
	Extension	4.12±1.47bc	6.32±1.28a	7.37±1.28a
Ankle	Dorsiflexion	5.71±0.79bc	7.24±2.05a	7.10±1.87a
	Plantarflexion	4.80±0.66bc	7.38±0.51a	7.45±0.84a
MTP	Dorsiflexion	3.53±0.49	3.78±2.46	3.35±0.63
	Plantarflexion	8.44±1.58c	7.13±1.68c	4.23±1.32ab

4. Discussion

This study compared the hip, knee, ankle, and MTP joints of recreational runners during the running stance phase under three different LBS. Mainly observe the changes in joint ROM and peak angle velocity to explore the effects of different LBS on lower limb biomechanics. The study found that different LBS will affect the biomechanical characteristics of recreational runners during running.

In this study, the effects of running shoes on the biomechanical characteristics of the lower limbs were mainly concentrated on joint ROM and peak angular velocity. The knee ROM and ankle peak angular velocity were shown to be greater in S3 and S2 than in S1. Increasing the LBS of running shoes will change the way the foot contacts the ground, which may cause runners to adjust their gait to adapt to the physical characteristics of the shoe. This adjustment may include changing the way the foot strikes the ground [11], thereby affecting the range of motion of the knee joint during the running cycle. The greater the LBS of the running shoe, the more obvious the rebound effect of the sole after each step. This elastic reaction not only reduces energy loss but also provides additional power when the foot strikes the ground, thereby increasing the angular velocity of the ankle joint [9]. The reason why the ROM of the ankle and knee with high LBS is greater than that with low LBS is primarily due to the mechanical properties of the materials and the design of the joint structure [12]. Higher LBS generally provides better support and stability to the ankle, reducing unwanted movements and improving the efficiency of motion. This enhanced stability allows the joint to function more effectively within its designed range of motion [13], thus potentially increasing the overall ROM compared to joints with lower stiffness, which might allow for excessive and less controlled movements, leading to a decreased effective ROM.

The reason why the range of motion of the MTP is smaller in cases of high LBS compared to low LBS is primarily due to the rigidity and limited flexibility of the structures involved. High longitudinal bending stiffness indicates that the material or structure (such as a shoe or orthotic) is more resistant to bending [14]. This increased resistance restricts the natural movement and flexion of the metatarsophalangeal joint, thereby reducing its range of motion [15]. In contrast, low longitudinal bending stiffness allows for greater flexibility and bending, enabling a larger range of motion in the joint [16].

High LBS running shoes can reduce energy loss and improve the efficient conversion and transfer of energy, which requires the ankle joint to complete its action cycle more quickly when running. This efficiency improvement is usually reflected in the acceleration of the ankle joint during the stage of pushing the ground, thereby increasing the angular velocity.

5. Conclusion

This study found that ankle and knee ROM and peak angle velocity were significantly greater than S1 when wearing S2 and S3. MTP joint ROM and peak angle velocity were significantly smaller than S2 and/or S1 when wearing S3. This provides a basis for understanding how LBS affects lower limb joint ROM and peak angle velocity. It also provides suggestions for recreational runners on the choice of running shoes.

6. References

[1] L. Ceyssens, R. Vanelderen, C. Barton, P. Malliaras, and B. Dingenen, "Biomechanical risk factors associated with running-related injuries: a systematic review," Sports medicine, vol. 49, 1095-1115, 2019.

[2] N. Kakouris, N. Yener, and D. T. Fong, "A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners," Journal of sport and health science, vol. 10, no. 5, 513-522, 2021.

[3] Q. Liu et al., "Running Velocity and Longitudinal Bending Stiffness Influence the Asymmetry of Kinematic Variables of the Lower Limb Joints," Bioengineering, vol. 9, no. 11, 607, 2022.

[4] Y. Wang, "Effects of Insole with Different Bending Stiffness on Subjective Comfort and Jogging Biomechanics," Chinese Master's Theses Full-text Database, 2019.

[5] Y. Ma, " Influence of Midfoot Running Shoe Bending Stiffness on Iomechanical and Subjective Characteristics during Running," Chinese Master's Theses Full-text Database, 2015.

[6] Y. Chen, " Effects of Different Stiffness Insoles on Lower Limb Biomechanical Characteristics during Long-time Running," Chinese Master's Theses Full-text Database, 2020.

[7] D. Sun, Y. Song, J. Quan, S. Li, and D. Gu, " Effect of Running Shoes Bending Stiffness Alteration on Lower Extremity Biomechanical Performance and Running Economy," China Sport Science and Technology, vol. 58, no. 07, 68-75, 2022.

[8] W. Hoogkamer, S. Kipp, and R. Kram, "The biomechanics of competitive male runners in three marathon racing shoes: a randomized crossover study," *Sports Medicine,* vol. 49, 133-143, 2019.

[9] E. Day and M. Hahn, "Optimal footwear longitudinal bending stiffness to improve running economy is speed dependent," Footwear Science, vol. 12, no. 1, 3-13, 2020.

[10] P. R. Cavanagh and M. A. Lafortune, "Ground reaction forces in distance running," Journal of biomechanics, vol. 13, no. 5, 397-406, 1980.

[11] H. Chen, E. Shao, D. Sun, R. Xuan, J. S. Baker, and Y. Gu, "Effects of footwear with different longitudinal bending stiffness on biomechanical characteristics and muscular mechanics of lower limbs in adolescent runners," Frontiers in Physiology, vol. 13, 907016, 2022.

[12] L.-A. M. Furlong and A. J. Harrison, "Differences in plantarflexor function during a stretch-shortening cycle task due to limb preference," Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition, vol. 20, no. 2, 128-140, 2015.

[13] L. Xiang, Q. Mei, A. Wang, V. Shim, J. Fernandez, and Y. Gu, "Evaluating function in the hallux valgus foot following a 12-week minimalist footwear intervention: A pilot computational analysis," Journal of Biomechanics, vol. 132, 110941, 2022.

[14] J. A. Ortega, L. A. Healey, W. Swinnen, and W. Hoogkamer, "Energetics and biomechanics of running footwear with increased longitudinal bending stiffness: a narrative review," Sports Medicine, vol. 51, no. 5, 873-894, 2021.

[15] S. Willwacher, M. König, B. Braunstein, J.-P. Goldmann, and G.-P. Brüggemann, "The gearing function of running shoe longitudinal bending stiffness," Gait & posture, vol. 40, no. 3, 386-390, 2014.

[16] P. Tabor, A. Mastalerz, D. Iwańska, and O. Grabowska, "Asymmetry indices in female runners as predictors of running velocity," Polish Journal of Sport and Tourism, vol. 26, no. 3, 3-8, 2019.

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Engineering Symposium at Bánki
(ESB 2024)

Effects of different schemes of hallux valgus osteotomy on the stress based on computer digital simulation

[1]Qiaolin Zhang, [2]István Bíró

[1] *Obuda University, Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary, zhangqiaolin123@gmail.com*
[2] *University of Szeged, Faculty of Engineering, Szeged, Hungary, biro-i@mk.u-szeged.hu*

Abstract

This study explored how the position and lateral displacement in Chevron osteotomy affect stress on the metatarsophalangeal joint. Using CT images from a patient with moderate hallux valgus, a 3D model was simulated under a standing load. Ansys software analyzed biomechanical properties after six Chevron osteotomy interventions. Results indicated reduced peak stress on the first metatarsal bone with distal 1/5 osteotomy and 2-4mm lateral displacement. Stress increased with distal 2/5 osteotomy. Lateral movement decreased peak stress on the first metatarsophalangeal joint, with 0.48MPa and 0.61MPa stress at distal 4mm osteotomy. Distal 1/5 osteotomy at 5 sites with 4mm lateral displacement was optimal for moderate hallux valgus. Osteotomy position did not affect the first metatarsal bone stress distribution. Distal 1/5 osteotomy provided better stability and reduced stress between the first metatarsophalangeal joints compared to distal 2/5 osteotomy, which distributed stress on both sides of the osteotomy plane, hindering healing.

Keywords: Hallux valgus, chevron osteotomy, first metatarsophalangeal joint, finite element analysis

1. Introduction

Hallux valgus is the first metatarsophalangeal joint deformity [1, 2], often ac-companied by foot pain or severe dysfunction [3]. The disease occurs in 30% of adults and is characterized by medial osseous process, pronation of the big toe, and secondary metatarsophalangeal joint dislocation [4]. Hallux valgus angle (HVA) and intermetatarsal angle (IMA) are usually used to evaluate the degree of hallux valgus [5]. Hallux valgus can cause serious health problems and affect an individual's ability to participate in sports activities [6].

Chevron osteotomy is a distal osteotomy for mild to moderate hallux valgus deformity [7]. In this operation, a V-shaped incision was formed in the head or neck of the distal metatarsal, and the distal fragment was laterally displaced. So far, Chevron osteotomy and its modified operation are the most commonly used surgical methods for the treatment of hallux valgus. How to achieve satisfactory surgical results, reduce pain, and prevent complications is a problem worthy of doctors' consideration [8].

The finite element method is a computer simulation technology that has been widely used in engineering, mechanics, biomechanics, and other fields. In biomechanics, the finite element method has been used to study the behavior of the foot and ankle, including the effect of load on bone and soft tissue. In this study, a series of finite element models with different osteotomy positions and lateral displacement during Chevron osteotomy were established to simulate the stress distribution

of metatarsal bone when standing at rest, and to explore the biomechanical properties of hallux valgus foot and the effect of operation on its biomechanics. The evaluation of the curative effect of clinical orthopedic surgery is mainly based on the improvement of clinical symptoms, while mechanical analysis is ignored. From the point of view of biomechanical mechanism, this study studied the influence of osteotomy position and lateral displacement of Chevron osteotomy on the stress of metatarsophalangeal joint, and tried to clarify the stress mechanism of different modified Chevron osteotomy on the first metatarsophalangeal joint [9]. According to the results of this study, optimize the operation plan and improve the success rate of operation and the postoperative rehabilitation effect. In order to improve the relevant theoretical research of the osteotomy, and provide a theoretical basis for a series of clinical evaluation criteria, rehabilitation strategies, or reconstruction techniques [10].

2. Materials and methods

2.1 Model building

According to a patient with moderate hallux valgus (her HVA and IMA were 26.74 °and 14.09 °respectively), the right foot was scanned by CT at an interval of 0.5mm, and the standing state of the right foot was simulated. Mimics16.0 (Materialise, Leuven, Belgium) is used to segment the 2D image to get the 3D model of bone and tissue, and Geomagic Studio 2013 (Geomagic, Inc., Research Triangle Park, NC, United States) is used to smooth the surface of the model. Each surface component is then imported into SolidWorks 2020 (SolidWorks Corporation, Waltham, MA, USA) to form a solid part. The purpose of this study was to explore the stress distribution of the first metatarsophalangeal joint when standing with different osteotomy methods of Chevron osteotomy. Different osteotomy positions were simulated at distal metatarsal1/5 and 2/5, respectively. After osteotomy, the distal metatarsal head was pushed laterally to 2mm, 4mm, and 6mm, and the osteotomy angle of each model was 90° [11]. After the operation simulation was carried out using Solidworks software. Import the model into the software Ansys Workbench 19.2 (ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, USA) to establish ligaments, divide meshes, and perform finite element analysis [12].

Chevron osteotomy is simulated in SolidWorks. Chevron osteotomy first removes the medial osseous process of the metatarsal head, and then forms a V-shaped incision in the head or neck of the distal metatarsal bone. At the same time, the distal metatarsal bone is laterally displaced, and the proximal excess metatarsal bone is removed after displacement [13]. In SolidWorks, the steps of simulating Chevron osteotomy are as shown in Figure 1.

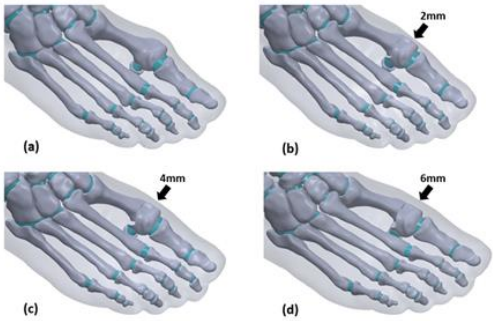


Figure 1. The cartilage constructed in Solidworks, and the methods used to simulate different operations and the final solid model

2.2 Boundary and loadings

In this study, the stress on both feet of patients with hallux valgus was simulated when standing in balance, and the finite element method was used to analyze the standing balance of the right foot. In the study, only the neutral state under the condition of equilibrium standing is considered for static analysis. The upper surface of the soft tissue wrapped outside the bone, the distal tibia and the distal fibula were fixed, and the degrees of freedom in 6 directions were constrained. In this study, the balance standing mass of the subjects was 50kg. In previous finite element studies, most studies simulated quiet standing by applying 50% body weight to the ankle joint, considering muscle strength, and applying 25% body weight to the Achilles tendon. Therefore, the tension of 125N is applied vertically at the attachment point of the Achilles tendon, the ground support is simulated by elastic material, and is only allowed to move freely in the vertical direction, and the vertical ground reaction force of half-body weight is applied to the lower surface of the plate, 250N. Except for soft tissue, all materials are regarded as isotropic linear elastic materials, and the material properties of each part are derived from the literature [14].

3. Results

3.1 Stress distribution of the metatarsal bone

The stress distribution of the 7 model metatarsals is shown in Figure 2. M1-M5 represent the first to the fifth metatarsal, respectively. The results showed that for the foot with and without osteotomy, the stress distribution of the second metatarsal bone was the most concentrated, and the maximum stress was concentrated on the second metatarsal bone. Compared with the postoperative foot, the stress of the second metatarsal bone of the foot without osteotomy was more concentrated. With the increase of lateral displacement distance, the stress distribution should not obviously change, and there is still the maximum stress concentration in the second metatarsal. It is worth noting that when the position of osteotomy is changed from distal 1/5 to 2/5, the stress distribution does not change. for the first metatarsal, the stress is mainly distributed in the middle and lower edge of the metatarsal bone. When the osteotomy position is distal 2/5, the stress of the first metatarsal bone is mainly distributed at both ends of the osteotomy plane, as shown in Figure 2.

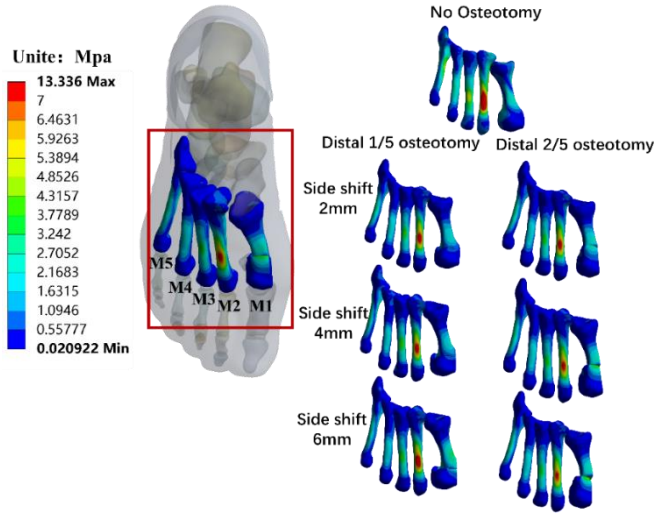


Figure 2. Stress distribution of the first to fifth metatarsal bones under different osteotomy methods

3.2 Stress distribution of the metatarsophalangeal joint

Figure 3 shows the maximum stress of the first metatarsophalangeal articular cartilage without osteotomy and with different osteotomy methods. It can be seen from the figure that the stress of articular cartilage is reduced under lateral 4mm osteotomy, especially at the distal 1/5 osteotomy position, compared with the articular cartilage without osteotomy, the stress is reduced by 28.6%. In the case of lateral 2mm and lateral 6mm, the stress of articular cartilage increased. The stress of articular cartilage in distal osteotomy was higher than that in the distal osteotomy.

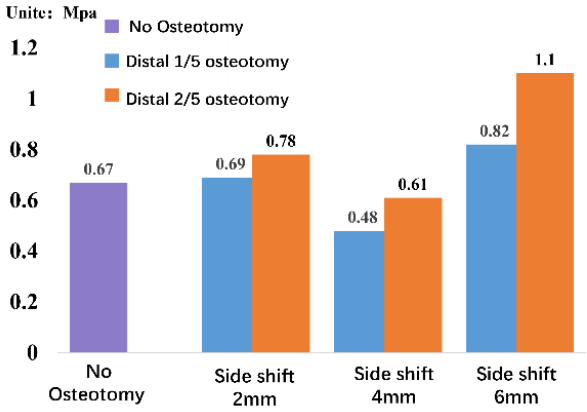


Figure 3. Stress value of the first metatarsophalangeal joint cartilage

4. Discussion

Finite element analysis showed that the maximum stress of the first metatarsal bone changed obviously with the change of the position of osteotomy. When osteotomy was performed at distal 1/5, both lateral 2mm and lateral 4mm could reduce the maximum stress of the first metatarsal bone. The stress of the first metatarsal bone was higher than that of the unosteotomized metatarsal bone with other osteotomy methods, but the stress of the first metatarsal bone increased significantly, and the stability decreased when the osteotomy was performed at the distal 2/5 site. Chevron osteotomy is distal osteotomy, the incision is V-shaped, and the mechanical behavior of this shape prevents slippage; however, the V-shaped vertex of the osteotomy as a fulcrum is easy to lead to varus deformation and gap formation, on the other hand, compared with other osteotomy, because the stress is distributed along the surface of the single-plane osteotomy, sliding rather than gap formation occurs. Therefore, Chevron osteotomy is more anti-sliding, but it is also disadvantageous in the formation of a gap [15], and needs some stability to reduce the formation of the gap. The osteotomy line is located in the neck of the first metatarsal head and neck. Compared with the metatarsal shaft and base, the distance between the distal end of the osteotomy and the osteotomy line is smaller, the force arm is short, and the osteotomy surface is rough, which is more beneficial to increase its stability [16]. There is no need for internal fixation at the end of osteotomy in order to maintain postoperative recovery [17-19]. The stress at the end of the osteotomy is mainly related to the traction of the soft tissue and the friction of the broken end. From the stress analysis diagram of the first metatarsal bone, we can see that under the distal 2/5 osteotomy, the stress of the first metatarsal bone is mainly distributed at both ends of the osteotomy plane, and the distance between the distal end of the osteotomy and the osteotomy line is long, and the force arm is large, which makes the osteotomy end more unstable in the absence of internal fixation. the dorsal displacement of the osteotomy end occurs in the standing state, which is not conducive to promoting the healing of the broken end.

5. Conclusion

The position of osteotomy did not affect the stress distribution of the first metatarsal bone, and the osteotomy at distal 1/5 had better stability than that at distal 2/5, and could better reduce the stress between the first metatarsophalangeal joint. When osteotomy is performed at distal 2/5, the stress is distributed on both sides of the osteotomy plane, which is not conducive to promoting the healing of the broken end. Distal osteotomy and lateral 4mm is the most suitable for patients with moderate hallux valgus with an HVA of 25.6° and an IMA of 14.1°.

6. References

[1] J. Ying, Y. Xu, B. István, and F. Ren. (2021). "Adjusted Indirect and Mixed Comparisons of Conservative Treatments for Hallux Valgus: A Systematic Review and Network Meta-Analysis," Int J Environ Res Public Health, vol. 18, no. 7.

[2] K. W. Young, H. S. Lee, and K. C. Park. (2019). "Outcome of Second-Ray Pathologies Following Weil Osteotomy in Patients Treated for Hallux Valgus," Foot Ankle Spec, vol. 12, no. 5, pp. 452-457.

[3] T. L. Lewis, R. Ray, and D. J. Gordon. (2022). "Time to maximum clinical improvement following minimally invasive chevron and Akin osteotomies (MICA) in hallux valgus surgery," Foot Ankle Surg, vol. 28, no. 7, pp. 928-934.

[4] M. F. Kasparek, E. Benca, L. Hirtler, M. Willegger, F. Boettner, S. Zandieh, J. Holinka, R. Windhager, and R. Schuh. (2022). "Biomechanical evaluation of the proximal chevron osteotomy in comparison to the Lapidus arthrodesis for the correction of hallux valgus deformities," Int Orthop, vol. 46, no. 10, pp. 2257-2264.

[5] S. Zhang, X. Wang, T. Chen, C. Wang, and J. Wang. (2022). "Outcomes of modified chevron osteotomy for hallux valgus," Foot Ankle Surg, vol. 28, no. 4, pp. 514-517.

[6] D. W. Austin, and E. O. Leventen. (1981). "A new osteotomy for hallux valgus: a horizontally directed "V" displacement osteotomy of the metatarsal head for hallux valgus and primus varus," Clin Orthop Relat Res, no. 157, pp. 25-30.

[7] A. Scarton, A. Guiotto, T. Malaquias, F. Spolaor, G. Sinigaglia, C. Cobelli, I. Jonkers, and Z. Sawacha. (2018) "A methodological framework for detecting ulcers' risk in diabetic foot subjects by combining gait analysis, a new musculoskeletal foot model and a foot finite element model," Gait Posture, vol. 60, pp. 279-285.

[8] Y. Peng, W. Niu, D. W. Wong, Y. Wang, T. L. Chen, G. Zhang, Q. Tan, and M. Zhang. (2021)."Biomechanical comparison among five mid/hindfoot arthrodeses procedures in treating flatfoot using a musculoskeletal multibody driven finite element model," Comput Methods Programs Biomed, vol. 211, pp. 106408.

[9] H. H. Buddhadev, and C. E. Barbee. (2020). "Redistribution of joint moments and work in older women with and without hallux valgus at two walking speeds," Gait Posture, vol. 77, pp. 112-117.

[10] C. Matzaroglou, P. Bougas, E. Panagiotopoulos, A. Saridis, M. Karanikolas, and D. Kouzoudis. (2010). "Ninety-degree chevron osteotomy for correction of hallux valgus deformity: clinical data and finite element analysis," Open Orthop J, vol. 4, pp. 152-6.

[11] [Y. Zhang, J. Awrejcewicz, O. Szymanowska, S. Shen, X. Zhao, J. S. Baker, and Y. Gu. (2018). "Effects of severe hallux valgus on metatarsal stress and the metatarsophalangeal

loading during balanced standing: A finite element analysis," Comput Biol Med, vol. 97, pp. 1-7.

[12] T. Kimura, M. Kubota, N. Suzuki, A. Hattori, and K. Marumo. (2018). "Comparison of Intercuneiform 1-2 Joint Mobility Between Hallux Valgus and Normal Feet Using Weightbearing Computed Tomography and 3-Dimensional Analysis," Foot Ankle Int, vol. 39, no. 3, pp. 355-360.

[13] L. Wu. (2007)."Nonlinear finite element analysis for musculoskeletal biomechanics of medial and lateral plantar longitudinal arch of Virtual Chinese Human after plantar ligamentous structure failures," Clinical Biomechanics, vol. 22, no. 2, pp. 221-229.

[14] J. T.-M. Cheung, M. Zhang, A. K.-L. Leung, and Y.-B. Fan. (2005)."Three-dimensional finite element analysis of the foot during standing—a material sensitivity study," Journal of biomechanics, vol. 38, no. 5, pp. 1045-1054.

[15] R.G. Nielsen.; Rathleff, M.S.; Simonsen, O.H.; Langberg, H. (2009). "Determination of normal values for navicular drop during walking: a new model correcting for foot length and gender," Journal of foot and ankle research, 2, 1-7.

[16] S. Nakamura, R. D. Crowninshield, and R. R. Cooper. (1981). "An analysis of soft tissue loading in the foot--a preliminary report," Bull Prosthet Res, vol. 10-35, pp. 27-34, Spring.

[17] Zhang, L., Zhang, Q., Zhang, Y., Arthur, M., Teo, E. C., Bíró, I., & Gu, Y. (2022). The effect of concave-side intertransverse ligament laxity on the stress of AIS lumbar spine based on finite element method. Bioengineering, 9(12), 724.

[18] Ji, Y., Zhang, Q., Song, Y., Hu, Q., Fekete, G., Baker, J. S., & Gu, Y. (2022). Biomechanical characteristics of 2 different posterior fixation methods of bilateral pedicle screws: A finite element analysis. Medicine, 101(36), e30419.

[19] Zhang, Q., Sun, D., Wang, M., Tafferner-Gulyás, V., Chen, H., Bíró, I., & Gu, Y. (2024). Effect of Plantar Fascia Stiffness on Plantar Windlass Mechanism and Arch: Finite Element Method and Dual Fluoroscopic Imaging System Verification. Medical Engineering & Physics, 104259.

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Engineering Symposium at Bánki
(ESB 2024)

Limitations of ISO26262 in Addressing Nonlinear Dynamics in Highly Automated Driving Systems

[1]Samir Rasulov, [2]Péter Bakucz, [3]Judit Lukács

[1] *Obuda University, Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary, rasulov.samir@phd.uni-obuda.hu*
[2] *Obuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary, bakucz.peter@bgk.uni-obuda.hu*
[3] *Obuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary, lukacs.judit@bgk.uni-obuda.hu*

Abstract

Ensuring the functional safety of highly automated driving (HAD) systems introduces challenges that extend beyond the scope of existing standards. ISO26262, the leading framework for automotive electrical and electronic (E/E) systems, rests on assumptions of determinism, linearity, and modular fault containment. However, HAD systems inherently exhibit emergent phenomena, bifurcations, sensitivity to initial conditions, nonlinear dynamics, and temporal instability. These characteristics undermine the predictability and modular reasoning that ISO26262 depends on, rendering traditional safety analysis methods such as FMEA, FTA, and V&V insufficient. This study explores the fundamental limitations of ISO26262 when applied to nonlinear dynamic systems. By drawing on concepts from low-dimensional attractor analysis and chaos theory, it demonstrates how small perturbations, even in the absence of component failures, can lead to significant and unpredictable system-level risks. The findings highlight an urgent need to rethink safety frameworks to better address the dynamic and emergent behavior of HAD systems.

Keywords: functional safety, ISO26262, highly automated driving, nonlinear systems

1. Introduction

Ensuring the functional safety of highly autonomous driving (HAD) systems has become apparent as a crucial concern as vehicle autonomy increases. The ISO26262 standard, which offers a thorough framework for recognizing, evaluating, and reducing functional safety risks in electrical and electronic (E/E) systems, is widely used by the automotive industry [1]. Nonetheless, the underlying assumptions upon which ISO26262 is based assume deterministic behavior, linearity, and modularity of the system [2]. The intricate, adaptive, and frequently chaotic dynamics that define highly automated driving systems defy these presumptions [3].

Because of feedback-driven decision-making, multi-sensor fusion, and real-time environmental interactions, nonlinear behavior is characteristic of HAD systems [4]. These systems may exhibit emergent behaviors that cannot be linked to failures of individual components and are sensitive to beginning conditions [5]. Such dynamics are complicated for traditional hazard analysis techniques like FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), FARA (Hazard Analysis and Risk Assessment), and FTA (Fault Tree Analysis), which are essential to ISO26262 Parts 3, 4, and 9. They rely on

cause-and-effect relationships and make the assumption that the architecture of the system can anticipate and contain safety-critical faults [6], [7], [8].

Moreover, the supporting procedures of ISO26262 (Part 8) impose further limitations. Verification and validation (V&V) activities assume the ability to specify expected system behavior under all operating conditions [5], [9]. This assumption is contradicted by nonlinear systems, where even minor adjustments can result in wildly divergent outcomes. Because previous successful performance under stable conditions does not imply safety in dynamic or uncommon event situations, the ”proven-in-use” of the standard defense is also undermined. Even tool qualifying procedures are ineffective when applied to models that attempt to simulate chaotic scenarios [2].

The constraints of existing methods for assessing the reliability of HAD systems are investigated in this study, with an emphasis on the suitability of ISO26262 for nonlinear dynamics. Low-dimensional attractors and chaos theory concepts are utilized to better comprehend the complex, emergent behaviors found in these systems, behaviors that current functional safety requirements are not well-suited to handle, rather than to suggest a completely new safety framework. In this paper, we contend that the ability of ISO26262 to handle the safety issues of nonlinear systems is fundamentally constrained. There is an urgent need to identify the shortcomings of conventional safety frameworks and to critically reevaluate the definition, testing, and assurance of functional safety as the automobile industry moves toward more autonomous vehicles [2], [3], [5].

2. Functional Safety Overview

Functional safety in the automotive industry refers to the absence of unnecessary risk resulting from hazards caused by malfunctioning electrical and electronic (E/E) systems [1]. Road vehicle functional safety is governed by ISO26262, which is considered a global standard. It provides a framework for managing safety-related risks at every phase of the life cycle of an automotive system, from design to decommissioning [10].

The standard is founded on a top-down, risk-based paradigm. The process begins with the Hazard Analysis and Risk Assessment (HARA) in Part 3, which determines potential risks and allocates Automobile Safety Integrity Levels (ASILs) based on severity, controllability, and exposure [11]. Higher ASILs necessitate stricter safety precautions [6]. Following HARA, system-level development is covered in Part 4, where safety objectives are divided into functional and technical safety criteria and dispersed among system components [7].

The phases of hardware and software development are covered in Parts 5 and 6, focusing on traceability, modularity, and adherence to established safety standards [12], [13]. Throughout the development process, verification and validation (V&V) procedures are used to ensure that all components of the system work as intended and that the system as a whole satisfies its safety goals [9], [10].

Safety analyses like Fault Tree Analysis (FTA) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) are covered in Part 9. These methods use fault propagation models and causal chains to pinpoint critical failure points and assess how errors could jeopardize safety objectives [8].

Tool qualification, change management, configuration management, and proven-in-use arguments are examples of supporting procedures in Part 8. These govern design evolution, guarantee tool safety, and permit reuse of previously verified components based on performance data from the past [9].

Although ISO26262 offers a comprehensive framework for controlling functional safety in traditional automotive systems, it is mainly based on the assumptions of component-level fault isolation, linearity, and predictability. These assumptions do not apply to nonlinear systems, particularly those dominated by chaotic dynamics, as the following section will demonstrate. In

these systems, minor perturbations can result in substantial behavioral alterations at the system level that are difficult to predict or evaluate using ISO26262 approaches.

3. Nonlinear Dynamics in Automated Driving

Environmental conditions for highly autonomous driving (HAD) systems are dynamic, uncertain, and frequently unstable. A characteristic of complex systems, HAD systems usually display nonlinear dynamics, unlike conventional automotive systems that can be represented using linear equations and deterministic reactions. The formation of attractors and bifurcations in system behavior, nonlinear feedback loops, and sensitivity to beginning circumstances are some manifestations of these [4], [14].

A system that does not have a direct proportionality between its input and output is said to be nonlinear. In these kinds of systems, minor adjustments to the input or starting circumstances can have radically different results; this is commonly known as the ”butterfly effect.” As Trogatz explains, if Lorenz started his simulations from two slightly different initial conditions, the resulting behaviors would be totally different [15]. It is very challenging to forecast future system states using deterministic simulations or conventional linear models because of this sensitivity. Bifurcations, or abrupt shifts in system behavior brought on by slow parameter changes, also make stability analysis and safety validation more difficult [16].

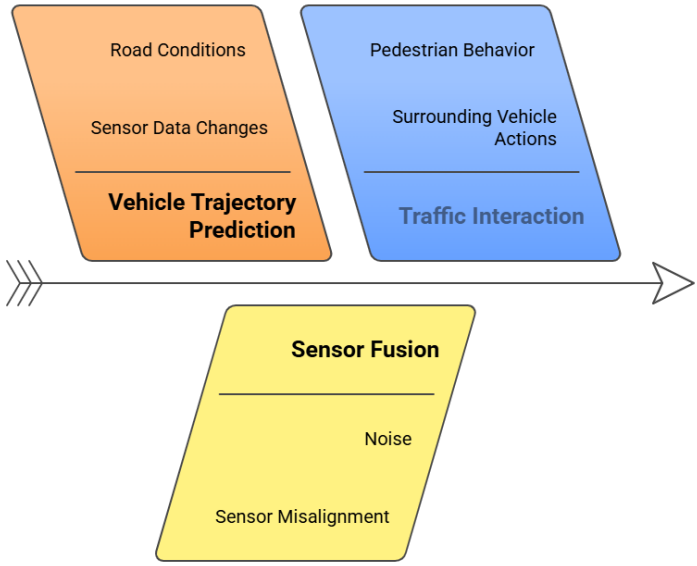


Figure 1. Challenging nonlinear features in HAD applications based on [2], [4], and [17]

Specifically, we employ low-dimensional attractor reconstruction, a method from chaos theory, to analyze these phenomena. We can determine the fundamental structure of the behavior of the system, whether it is chaotic, periodic, or stable, by simulating its dynamics in a reduced-dimensional phase space. These characteristics enable us to describe the system based on the overall change in its state over time rather than on specific flaws.

This viewpoint highlights a key drawback in the use of ISO 26262: its incapacity to identify or measure dependability in systems where faults are emergent characteristics resulting from the internal dynamics of the system rather than isolated malfunctions. The traditional presumptions of

traceability, modularity, and predictability that support contemporary functional safety approaches are called into question by such behavior.

4. Why Functional Safety Fails Here

The foundation of ISO26262 is the idea that system behavior is traceable, quantifiable, and predictable. By spotting possible flaws, evaluating their risk, and putting mitigation plans based on predictable results into action, safety is guaranteed in this situation. However, in nonlinear systems, like highly automated driving, where minor deviations can have disproportionately enormous and unforeseen repercussions, this linear and modular approach proves to be fundamentally insufficient.

Under these circumstances, several provisions of ISO26262 become problematic:

4.1 Sensitivity to Initial Conditions

Nonlinear systems, particularly chaotic processes, are extremely sensitive to early conditions, which means even slight variations in initial states can result in wildly disparate system behaviors. This characteristic explicitly contradicts the predictability assumption incorporated into ISO26262.

For example, according to ISO26262-3:2018 (Clause 6.4.3), dangers must be categorized according to their severity, exposure, and controllability — that is, if the impact of a hazard can be reliably foreseen [6]. Similarly, repeatable test results are assumed by software unit and integration tests (ISO26262-6:2018, Clauses 9.4 and 10.4) [13].

However, in chaotic systems, this assumption collapses. Tiny deviations in system state or environmental inputs can lead to fundamentally different operational trajectories, even when starting from nearly identical initial conditions [15, 16]. As a consequence, deterministic testing and verification strategies are not sufficient to ensure comprehensive safety.

Additionally, tools must generate consistent outputs in accordance with Clause 11.4.5 in Part 8 (Tool Qualification) [9]. In contrast, in a nonlinear dynamic context, even minor arithmetic rounding errors during computation can cause significant divergences in system behavior over time [15, 16]. This renders model-based simulations and verification procedures highly unreliable for certifying the safety of systems dominated by chaotic dynamics, highlighting a critical gap in current functional safety standards.

4.2 Emergent Behavior

Emergent behavior occurs in nonlinear systems, particularly those that involve feedback and adaptation. That means the overall system displays traits or results that cannot be attributed to any one component; instead, these behaviors are the consequence of interactions between components, internal states, and environmental inputs, producing frequent, unexpected, and challenging outcomes using conventional safety engineering techniques [5].

This presents a significant obstacle for ISO26262, which is based on the concepts of fault containment and modular decomposition. A good illustration can be Clause 6.4.1 of ISO26262-4:2018, which specifies that technical safety criteria must be assigned to specific system components. This method makes the assumption that the system will be safe overall if every module satisfies its safety requirements [7].

Nevertheless, even when each component precisely complies with its designated safety standards when operating in isolation, the complex interactions among components in emergent dynamic systems might result in harmful behaviors at the system level. These undesirable behaviors result from the unforeseen ways that components affect one another in dynamic, real-world situations rather than from the failure of a single module. The system may enter dangerous states

that were not anticipated during modular verification or identified by component-level validation alone due to a combination of small timing errors, feedback loops, or environmental triggers that are harmless at the component level. Therefore, in the presence of nonlinear emergent events, the modular decomposition approach stated by ISO26262 is no longer sufficient to ensure overall system safety [5].

Comparably, Clause 6.4.4.4 of Part 4 mandates that the system design be analyzed using methods such as FMEA and FTA. These techniques are predicated on the idea that failures have a known root cause and spread linearly and traceably [7]. This restriction also applies to Part 3, namely the Concept Phase. Clause 6.4.2.2 of ISO26262-3:2018 specifies dangers regarding the malfunctioning behavior of the items, suggesting a clear correlation between system hazard and component failure [6]. Nonetheless, in reality of nonlinearity, emergent risks could arise without any component failure at all, rendering them undetectable to the analysis framework of the standard.

The idea that isolated components may be validated to ensure safety is simply not valid in emergent behavior-governed systems. Rather, the entire system needs to be examined, including the erratic interactions and nonlinear feedback loops that only show up when the system is fully integrated or operating.

4.3 Bifurcations and Sudden Behavioral Shifts

Bifurcations, which are sudden and frequently dramatic changes in system behavior brought on by tiny, continuous alterations in input or internal parameters, are one of the characteristics that distinguish nonlinear systems [15]. Such bifurcations may result in sudden changes in operational modes, decision rules, or stability regimes when driving in a highly automated environment [18].

Faults are not always the cause of these immediate shifts. For example, the automatic system may transition from a standard lane-following mode to a defensive or emergency maneuver if any slight alteration is experienced in the estimated trajectory of a close vehicle. An abrupt fallback behavior, such as an emergency stop, might also result from a little delay in data fusion or a modest decline in sensor confidence. In each instance, bifurcation is characterized by a significant change in behavior while the system maintains its functionality [4].

ISO26262 fails to handle such a type of behavior. The foundation of the standard is the idea that system degradation occurs in a traceable and gentle manner with well-defined safe states and transitions. Clause 6.4.4.2 of ISO26262-4:2018, for example, highlights the necessity of defining safe states and the transitions between them [7]. However, the change from one behavior to another is not always linear or predictable in systems that are prone to bifurcation. It is possible for a system to switch between operating regimes, and established fault models or safety objectives are not able to address these transitions [19].

Additionally, software integration testing is covered in ISO26262-6:2018, Clause 10.4, which states the assumption that interactions between software units may be confirmed under known and controlled circumstances [13]. However, bifurcations frequently only happen when several subsystems engage in dynamic, real-time interaction. These transitions may be entirely missed in testing conducted under nominal or static settings [15, 18].

In addition, the idea of backup techniques as outlined in ISO26262 is compromised by bifurcation occurrences. According to the standard, fallback measures must be planned, intentional reactions to known flaws or dangers [7]. The fallback option may be unnecessary or dangerous in a nonlinear system, though, as a bifurcation could lead the system to enter a state that was never experienced during design or testing [15, 18].

4.4 Temporal and Rate Instability

In addition to exhibiting unexpected state changes, nonlinear systems can show unpredictable rates of change. The alteration of speed and timing of transitions between behaviors might not be anticipated either, so it is not just the end behavior of the system that becomes unknown. Even in the absence of external defects or component failures, phenomena like abrupt lane changes, rapid accelerations, rapid decelerations, or rapid loss of control can happen. The intrinsic nonlinear dynamics of the system and its sensitivity to minor perturbations lead directly to these erratic timing patterns [5, 20].

ISO26262-4:2018 (Clause 6.4.4.2) emphasizes the notion of safe states, where the timing constraints are also laid out for switching between operational modes. It makes the assumption that these changes take place within predictable time frames. As a result, it becomes possible to create safe backup plans like safe shutdowns or controlled emergency brakes [7]. These presumptions can be readily broken in highly automated driving (HAD) systems with chaotic and nonlinear dynamics. The system may progress toward a hazardous state more quickly than the safety measures were intended to handle due to slight actuation delays, sensing mistakes, or external disturbances [21, 22].

According to Strogatz (1994), nonlinear systems frequently show fast-slow alternations, in which abrupt regime transitions can result from comparatively minor parameter changes, rendering temporal evolution extremely non-uniform. A delay of even a single fraction of a second can cause a chaotic system to surpass a critical threshold, from which recovery becomes either exceedingly challenging or impossible. The reason is that the event happens too rapidly or unexpectedly, safety features that rely on preset reaction timings, like time-to-collision estimates, evasive maneuvers, or system degradations, might not react effectively in this situation [15].

Thus, temporal and rate instability present a fundamental challenge to the ISO26262 architecture. The assumption that system behaviors can be planned and validated with respect to predictable timing collapses in the face of nonlinear dynamics. This not only jeopardizes the effectiveness of hazard identification and risk mitigation strategies but also calls for new frameworks that can account for variable rates of change and emergent temporal patterns in HAD systems.

4.5 Summary of ISO26262 Limitations in Nonlinear Contexts

A comprehensive review of the structural assumptions included in specific ISO26262 clauses is given in Table 1, which also shows how these assumptions fail when they are applied to dynamic, nonlinear systems like highly automated driving. The analogy draws attention to the fundamental discrepancy between emergent, unexpected behavior found in nonlinear systems and deterministic safety logic.

Table 1. Limitations of ISO26262 Clauses in Nonlinear Systems

ISO26262 Clause	**Purpose / Assumption**	**Why It Fails in Nonlinear Systems**
Part 3 – 6.4.3	Classify hazards by severity, exposure, and controllability	Assumes hazard effects can be foreseen, but small perturbations lead to unpredictable outcomes (chaos).
Part 4 – 6.4.1	Assign technical safety requirements to system components	Assumes modular decomposition, but emergent behavior arises from component interactions.
Part 4 – 6.4.4.2	Define safe states and their timed transitions	Assumes transitions occur within a predictable time, but rate instability breaks timing assumptions.
Part 4 – 6.4.4.4	Require system analysis using FMEA and FTA	Assumes linear fault propagation, but nonlinear systems fail without component-level faults.
Part 6 – 9.4, 10.4	Ensure deterministic software unit and integration testing	Assumes repeatable results, but system state diverges under identical inputs due to sensitivity to initial conditions.
Part 8 – 11.4.5	Require tool qualification for consistent output	Assumes model-based tools are stable, but minor numerical errors lead to divergent behavior in chaotic models.
Part 9 – Safety Analysis	Identify and mitigate fault propagation via FTA/FMEA	Based on cause-effect chains, nonlinear interactions bypass these fault pathways.

5. Summary

The structural limits of ISO 26262 as they relate to highly automated driving (HAD) systems with nonlinear dynamics were investigated in this study. Although ISO26262 offers a strict safety framework for traditional automotive systems, it is predicated on the ideas of modular fault containment, linear behavior, and determinism. These presumptions become problematic in nonlinear systems, when characteristics including temporal instability, bifurcations, emergent dynamics, and sensitivity to initial conditions compromise component-level safety assurances and predictability.

The study demonstrated how conventional methods like fault tree analysis (FTA), failure mode and effects analysis (FMEA), and deterministic software validation become unreliable when faced with chaotic interactions and system-level transitions that are impossible to capture through linear decomposition by analyzing particular clauses and safety procedures within ISO26262.

The findings underscore the urgent need to re-evaluate existing functional safety standards in light of the dynamic nature of HAD systems. Future safety frameworks must incorporate principles from chaos theory and nonlinear systems analysis to better account for emergent risks and unpredictable behavior that arise not from failures, but from complexity itself.

6. Future Work

The creation of supplementary safety evaluation techniques that go beyond linear cause-effect reasoning will be necessary to address the shortcomings of ISO26262 in the setting of nonlinear systems. Future studies should investigate how nonlinear dynamics tools like bifurcation theory and low-dimensional attractor analysis may be included in safety assurance pipelines. The detection of emergent dangers, latent instability, and erratic changes in system behavior may be aided by these tools.

Another interesting option is developing simulation and verification environments that explicitly mimic chaotic interactions and sensitivity to initial conditions. Beyond the presumptions of finite fault propagation, such platforms would enable safety engineers to examine system behavior across various dynamic inputs and failure scenarios.

Collaboration across disciplines will also be crucial. Both system design and the development of safety standards require consideration of insights from real-time systems engineering, complexity science, and control theory. The development of next-generation safety frameworks that are more suited to handle the dynamic reality of fully automated driving will be aided by this change.

Acknowledgments

Supported by the 2024-2.1.1 University Research Scholarship Program of the Ministry for Culture and Innovation from the Source of the National Research, Development and Innovation Fund.

7. References

[1] International Organization for Standardization, "ISO 26262-1:2018 – Road Vehicles – Functional Safety – Part 1: Vocabulary," 2018, ISO Standard. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/68383.html

[2] Burton, S., Gauerhof, L., & Heinzemann, C. (2017). Making the case for safety of machine learning in highly automated driving. In Computer Safety, Reliability, and Security: SAFECOMP 2017 Workshops, ASSURE, DECSoS, SASSUR, TELERISE, and TIPS, Trento, Italy, September 12, 2017, Proceedings 36 (pp. 5-16). Springer International Publishing.

[3] Rajkumar, R., Lee, I., Sha, L., & Stankovic, J. (2010, June). Cyber-physical systems: the next computing revolution. In Proceedings of the 47th Design Automation Conference (pp. 731-736). https://doi.org/10.1145/1837274.1837461

[4] Paden, B., Čáp, M., Yong, S. Z., Yershov, D., & Frazzoli, E. (2016). A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles. IEEE Transactions on intelligent vehicles, 1(1), 33-55. https://doi.org/10.1109/TIV.2016.2578706

[5] Leveson, N. G. (2016). Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety (p. 560). The MIT Press.

[6] International Organization for Standardization, "ISO 26262-3:2018 – Road Vehicles – Functional Safety – Part 3: Concept Phase," 2018, iSO Standard. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/68385.html

[7] International Organization for Standardization, "ISO 26262-4:2018 – Road Vehicles – Functional Safety – Part 4: Product Development at the System Level," 2018, iSO Standard. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/68386.html

[8] International Organization for Standardization, "ISO 26262-9:2018 – Road Vehicles – Functional Safety – Part 9: ASIL-Oriented and Safety-Oriented Analysis," 2018, ISO Standard. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/68391.html

[9] International Organization for Standardization, "ISO 26262-8:2018 – Road Vehicles – Functional Safety – Part 8: Supporting Processes," 2018, ISO Standard. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/68390.html

[10] Macher, G., Höller, A., Sporer, H., Armengaud, E., & Kreiner, C. (2015). A combined safety-hazards and security-threat analysis method for automotive systems. In Computer Safety, Reliability, and Security: SAFECOMP 2015 Workshops, ASSURE, DECSoS. ISSE, ReSA4CI, and SASSUR, Delft, The Netherlands, September 22, 2015, Proceedings 34 (pp. 237-250). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-24249-1_21

[11] Khastgir, S., Birrell, S., Dhadyalla, G., Sivencrona, H., & Jennings, P. (2017). Towards increased reliability by objectification of Hazard Analysis and Risk Assessment (HARA) of automated automotive systems. Safety Science, 99, 166-177. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.03.024

[12] International Organization for Standardization, "ISO 26262-5:2018 – Road Vehicles – Functional Safety – Part 5: Product Development at the Hardware Level," 2018, ISO Standard. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/68387.html

[13] International Organization for Standardization, "ISO 26262-6:2018 – Road Vehicles – Functional Safety – Part 6: Product Development at the Software Level," 2018, ISO Standard. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/68388.html

[14] Defoort, M., Floquet, T., Kokosy, A., & Perruquetti, W. (2008). Sliding-mode formation control for cooperative autonomous mobile robots. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55(11), 3944-3953.
https://doi.org/10.1109/TIE.2008.2002717

[15] Strogatz, S. H. (2024). Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering. Chapman and Hall/CRC.

[16] Abarbanel, H. D., Brown, R., Sidorowich, J. J., & Tsimring, L. S. (1993). The analysis of observed chaotic data in physical systems. Reviews of modern physics, 65(4), 1331. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.65.1331

[17] Rhinehart, N., McAllister, R., Kitani, K., & Levine, S. (2019). Precog: Prediction conditioned on goals in visual multi-agent settings. In Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision (pp. 2821-2830).

[18] Ott, E., Chaos in Dynamical Systems, 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2002.

[19] Koopman, P., & Wagner, M. (2017). Autonomous vehicle safety: An interdisciplinary challenge. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 9(1), 90-96. https://doi.org/10.1109/MITS.2016.2583491

[20] Slotine, J. J. E., & Li, W. (1991). Applied nonlinear control (Vol. 199, No. 1, p. 705). Englewood Cliffs, NJ: Prentice hall.

[21] Khalil, H. K., & Grizzle, J. W. (2002). Nonlinear systems (Vol. 3). Upper Saddle River, NJ: Prentice hall.

[22] Thrun, S. (2002). Probabilistic robotics. Communications of the ACM, 45(3), 52-57. https://doi.org/10.1145/504729.504754

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Microstructural Investigation of Dual-Phase Boride/Carbide High-Entropy Ceramics

[1]Sara Ines Moussaoui, [2]Annamária Naughton Duszová, [2]Monika Hrubovčáková, [2]Marek Vojtko, [3,4]Mark Windisch, [5]Péter Pinke, [2,5]János Dusza

[1] *Obuda University, Doctoral School on Materials Sciences and Technologies, Budapest, Hungary*
[2] *Institute of Materials Research, Slovak Academy of Sciences, Košice, Slovakia*
[3] *Bay Zoltán Nonprofit Ltd. for Applied Research, Budapest, Hungary*
[4] *Department of Materials Physics, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary*
[5] *Obuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary*

Abstract

Reactive sintered (Ti-Zr-Nb-Ta-Hf)B_2 - (Ti-Zr-Nb-Ta-Hf)C dual-phase, high-entropy ceramics were prepared via a two-step spark plasma sintering (SPS) process at a maximum temperature of 2100°C, with a sintering time of 5 minutes at an applied pressure of 70 MPa. Microstructure analyses revealed no structural defects in the form of large pores, microcracks, or large grain clusters. The composite shows high relative density (~ 99%), and relatively homogeneous microstructure with average grain sizes of the boride and carbide phases 3 μm and 2 μm, respectively, with a negligible oxide content (HfO_2/ZrO_2 < 1wt%). It was found that Ti, Zr, and Nb elements are predominantly enriched in the boride phase, whereas Ta and Hf are concentrated more in the carbide phase.

Keywords: ceramic materials, dual-phase boride/carbide, high-entropy ceramics

1. Introduction

High-entropy ultra-high temperature ceramics (HE-UHTCs) represent a rapidly evolving class of materials designed to withstand extreme environments, offering exceptional mechanical, thermal, and tribological properties. These materials have garnered significant attention for applications in aerospace, hypersonic vehicles, and other high-temperature industrial settings. Recent research efforts have focused on innovative synthesis techniques, microstructural evolution, and the mechanical properties of these ceramics to optimize their performance [1-3].

A very promising group of these advanced ceramics developed as potential systems for ultrahigh temperature applications is the so-called dual-phase high-entropy ultra-high temperature ceramics (DPHE-UHTCs) [4-14].

Different processing routes have been applied for the preparation of DPHE-UHTCs:

• Reactive sintering of a mixture of boride and carbide powders applying spark plasma sintering (SPS) or hot pressing (HP) [4,5];

• Co-synthesis - boro-carbothermal reduction of the powder mixture of commercial oxides, carbon, and boron carbide to produce a mixture of high entropy boride (HEB) and high entropy carbide (HEC) powders, which is further spark plasma sintered [6,7];

• Sequential synthesis - carbothermal reduction of oxides and carbon to produce the high-

entropy carbide powders, which are mixed with boron carbide and zirconium hydride, followed by a reaction to produce a high-entropy boride phase by consuming part of the carbide phase [8].

The method applied for the first time by Qin et al. [4] for the preparation of DPHE-UHTCs is the reactive sintering of individual commercially available carbide and boride powders. In this work, they processed and published DPHE-UHTCs from commercial boride and carbide powders utilizing high-energy ball milling followed by SPS, achieving relative densities higher than 99 %, consisting of a hexagonal HEB and a cubic HEC phase. The hardness of the prepared DPHE-UHTCs was higher than the weighted linear average of the two single-phase high-entropy UHTCs, which are already harder than the RoM averages of the individual binary carbides and borides.

Applying co-synthesis, Luo et al. [6] synthesized single-phase HEB and HEC powders together with dual-phase high-entropy powders via a simple one-step boro/carbothermal reduction at 1650 oC. Based on these powders, a series of high-density, homogeneously distributed dual-phase high-entropy ceramics were produced by SPS at 2000 °C with average grain size ranging from 0.5 to 1.5 μm and high Vickers hardness and fracture toughness with values 24.2 ± 0.3 GPa and 3.19 ± 0.24 MPa·m1/2, respectively.

Fine-grained dual-phase high-entropy ceramic was synthesized using a sequential boro/carbothermal process by Smith et al. [8]. Solid solution formation occurred at the densification temperature of 1900 °C, resulting in a relative density higher than 99 %. The Vickers hardness of the system was 26.5 ± 1.4 GPa at a load of 2 N.

The most recent published contributions in this field focus on processing routes, theoretical predictions, and characterization/testing of the systems applying advanced methods as high-resolution transmission electron microscopy (HRTEM), nanoindentation, microcantilever test, tribological methods, etc. [9-14].

The aim of the present investigation was to study the microstructure characteristics of recently developed reactive sintered (Ti-Zr-Nb-Ta-Hf)B2 - (Ti-Zr-Nb-Ta-Hf)C dual-phase, high-entropy ceramics.

2. Experimental procedure

Commercially available powders (Alfa Aesar) were used with molar ratios of 2TaC:2HfC: ZrC: ZrB2: 2NbB2: 2TiB2 in order to achieve the target composition of a 50 mol.% (TaHf-Zr-Nb-Ti)C - 50 mol.% (Ta-Hf-Zr-Nb-Ti)B2 dual-phase high-entropy ceramics.

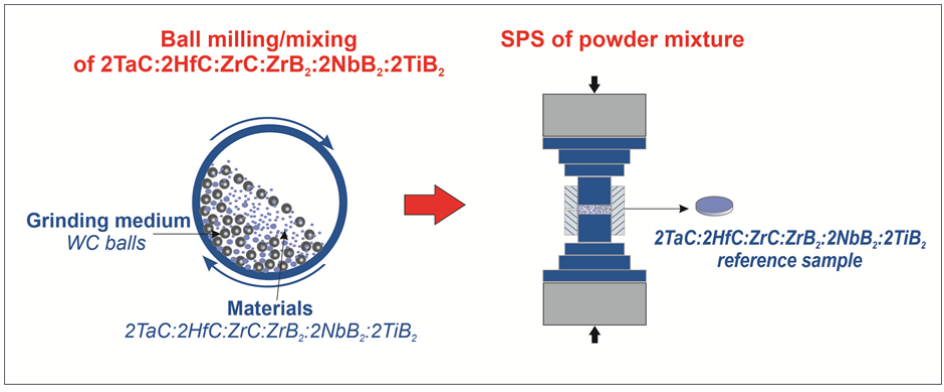


Figure 1. Schematic illustration of the processing route for the preparation of the composite

The raw powders were mixed and milled in a planetary ball mill; the homogenized powder was sintered in a Spark Plasma Sintering (SPS) device (FCT HP D10-SD) at a temperature of 2100°C, pressure of 70 MPa, and sintering time of 5 min (Figure 1).

The density of the sintered samples was determined by Archimedes' method in distilled water as an immersion medium. Specimens for microstructure examination were prepared by routine ceramographic procedure; they were cut, ground, and polished down to a 1 μm size polishing suspension. The crystalline phase composition of the sintered sample was determined by X-ray diffractometry (XRD) using a Philips X'PertPro device (Cu Kα radiation). The microstructure characteristics and elemental composition of the sintered sample were determined by scanning electron microscopy (FIB-SEM ZEISS AURIGA Compact) equipped with an energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) detector. Microstructural characteristics, phase distribution, and porosity were also examined using scanning electron microscopy (SEM) (JEOL JSM-60LV). Electron backscatter diffraction (EBSD) maps provided insights into grain orientation and texture.

The grain size was determined by the line intercept method, counting the number of grain boundaries intercepting the line of a known length drawn on an SEM image of the sample. In total, 100 grains were counted for the analyses.

3. Results and discussion

XRD results of the investigated (Ta-Hf-Zr-Nb-Ti)C-(Ta-Hf-Zr-Nb-Ti)B_2 composite ceramics, confirming the successful formation of a dual-phase high-entropy ceramic with negligible oxide content (HfO_2/ZrO_2 < 1 wt%). The carbide and boride phases, denoted as HEC and HEB, respectively, exhibit lattice parameters of a = 4.5246(7) Å for the cubic carbide (Fm-3m) and a = 3.0974(6) Å, c = 3.3643(8) Å for the hexagonal boride (P6/mmm), as determined by Rietveld refinement.

The characteristic microstructure of the sintered dual-phase material at different magnifications is illustrated in Figure 2. According to the results of the microstructure analyses, both the carbide (light grey) and boride grains (dark grey) are relatively homogenously distributed with only a small amount of porosity, resulting in a relative density of 99%. The grain size varies between 1 μm and 8 μm, with a slightly lower average size for carbides (~2 μm) than for borides (~3 μm), forming small clusters of grains. Very small pores were detected at the grain boundaries with a size of approximately 100 nm.

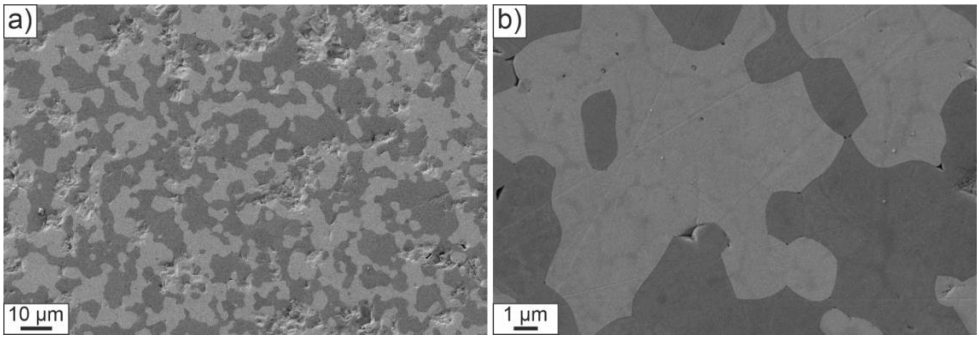


Figure 2. Characteristic microstructures of the investigated dual-phase boride/carbide composite at low (a) and high (b) magnifications

The EBSD analysis further proved the presence of separate hexagonal HEB and cubic HEC phases (Figure 3a) with an inverse pole figure (IPF) map (Figure 3b) revealing equiaxed grains with random crystallographic orientations, indicating a randomized texture. The EBSD analysis is very useful when the influence of the crystallographic orientation on the local mechanical properties is studied.

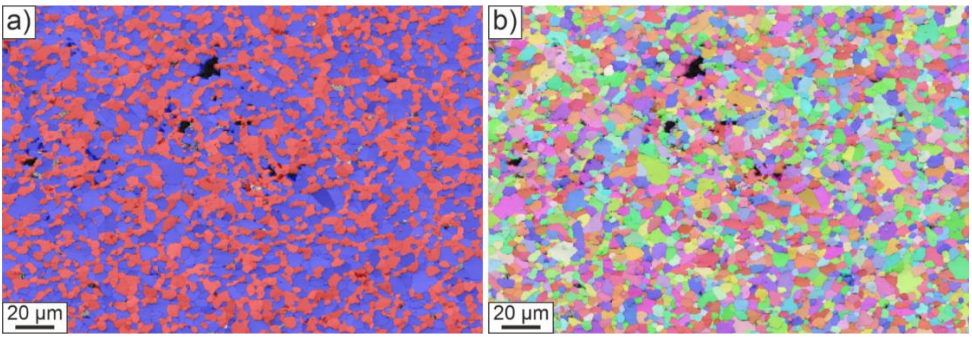


Figure 3. (a) EBSD phase map of the distribution of HEC (blue) and HEB (red) phases (b) Inverse Pole Figure (IPF) map of random crystallographic orientations and equiaxed grains

The grain sizes in the developed system (Figure 4) are similar to the grain sizes for the system published by Qin et al. [4] who reported a definite correlation between the grain sizes of the carbide and boride phases with the phase fraction and the lowest grain sizes approximately 7 µm with similar mol% of carbide/boride. In the systems, Luo et al. [6] reported significantly lower average grain sizes of 0.64 ± 0.2 µm for the boride and 1.5 ± 0.4 µm for the carbide in their dual-phase ceramic, processed using different processing routes.

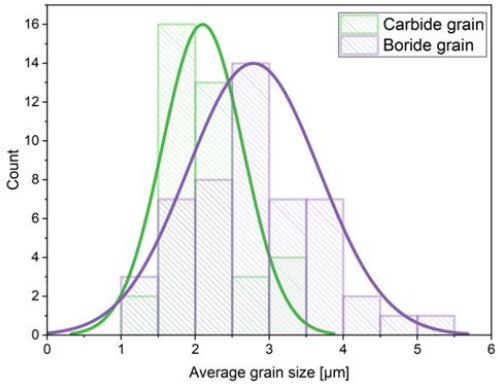


Figure 4. Grain size distributions in the investigated composite

EDS analyses of the polished surface revealed (Figure 5) that the elemental distribution of the component, metallic elements, is not perfectly homogeneous. The carbide phase abounds in Hf and Ta, while Nb, Zr, and Ti segregate predominantly in the boride phase. In addition to the principal element W and O impurity elements are also detected, which is in agreement with the presence of a negligible amount of oxides confirmed by XRD. Tungsten was found mainly in the carbide phase rather than in boride grains, which were introduced most probably during ball milling using WC

balls. Oxygen was detected to form an oxide phase at the grain boundaries, mainly at triple junctions. As it is visible in Figure 5, the SEM+EDAX analyses for such a study are not ideal, detecting boride content in HEC and carbide content in HEB as the result of the large testing volume.

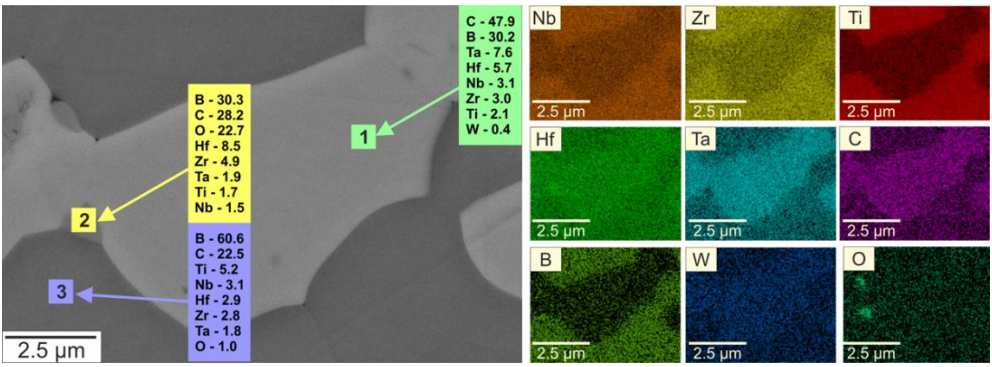


Figure 5. EDX maps for individual elements in the HEC and HEB phases of the investigated system

The applied methods for microstructure study of the investigated system are very useful; however, for the study of the microstructure characteristics at the nano/atomic level, HRTEM is necessary, which will be used in the future.

4. Conclusions

The aim of the present investigation was to study the microstructure characteristics of recently developed reactive sintered (Ti-Zr-Nb-Ta-Hf)B_2 - (Ti-Zr-Nb-Ta-Hf)C dual-phase, high-entropy ceramics. The main results are the following:

- Reactive sintered (Ti-Zr-Nb-Ta-Hf)B2 - (Ti-Zr-Nb-Ta-Hf)C dual-phase, high-entropy ceramics were prepared via a two-step spark plasma sintering (SPS) process at a maximum temperature of 2100°C, with a sintering time of 5 minutes at an applied pressure of 70 MPa;
- Microstructure analyses revealed no structural defects in the form of large pores, microcracks, or large grain clusters. The composite shows high relative density (~ 99%), and relatively homogeneous microstructure with average grain sizes of the boride and carbide phases 3 µm and 2 µm, respectively, with a negligible oxide content (HfO_2/ZrO_2 < 1 wt%).
- It was found that Ti, Zr, and Nb elements are predominantly enriched in the boride phase, whereas Ta and Hf are concentrated more in the carbide phase.

5. References

[1] R.Z. Zhang, M.J. Reece, Review of high entropy ceramics: design, synthesis, structure and properties, J. Mater. Chem. A. 7 (2019) 22148–22162. https://doi.org/10.1039/c9ta05698j

[2] Oses, C., Toher, C. & Curtarolo, S. High-entropy ceramics. Nat Rev Mater 5, 295–309 (2020). https://doi.org/10.1038/s41578-019-0170-8

[3] S. Akrami, P. Edalati, M. Fuji, K. Edalati, High-entropy ceramics: Review of principles, production, and applications, Mater. Sci. Eng. R Reports. 146 (2021) 100644. https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100644

[4] M. Qin, J. Gild, C. Hu, H. Wang, M.S. Bin Hoque, J.L. Braun, T.J. Harrington, P.E. Hopkins, K.S. Vecchio, J. Luo, Dual-phase high-entropy ultra-high temperature ceramics, J. Eur. Ceram. Soc. 40 (2020) 5037–5050. https://doi.org/10.1016/J.JEURCERAMSOC.2020.05.040

[5] S. Huo, L. Chen, X. Liu, Q. Kong, Y. Wang, H. Gu, Y. Zhou, Reactive sintering of dual-phase high-entropy ceramics with superior mechanical properties, J. Mater. Sci. Technol. 129 (2022) 223–227. https://doi.org/10.1016/J.JMST.2022.03.035

[6] S.C. Luo, W.M. Guo, K. Plucknett, H.T. Lin, Fine-grained dual-phase high-entropy ceramics derived from boro/carbothermal reduction, J. Eur. Ceram. Soc. (2020). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-58173/v1

[7] L. Feng, W.G. Fahrenholtz, G.E. Hilmas, S. Curtarolo, Boro/carbothermal reduction co-synthesis of dual-phase high-entropy boride-carbide ceramics, J. Eur. Ceram. Soc. 43 (2023) 2708–2712. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.12.056

[8] S.M. Smith, L. Feng, W.G. Fahrenholtz, G.E. Hilmas, T. Huang, High-entropy boride–carbide ceramics by sequential boro/carbothermal synthesis, J. Am. Ceram. Soc. (2022). https://doi.org/10.1111/jace.18517

[9] S.M. Smith II, W.G. Fahrenholtz, G.E. Hilmas, S. Curtarolo, Thermodynamic analysis of metal segregation in dual phase high entropy ceramics, Journal of Materiomics, available online 14 January (2024). https://doi.org/10.1016/j.jmat.2023.12.007

[10] A. Naughton-Duszová, P. Švec, A. Kovalčíková, R. Sedlák, P. Tatarko, P. Hvizdoš, P. Šajgalík, J. Dusza, On the phase and grain boundaries in dual phase carbide/boride ceramics from micro to atomic level, J. Eur. Ceram. Soc. 43 (2023) 6765–6773. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.07.034

[11] A. Naughton-Duszová, M. Hrubovčáková, M. Vojtko, D. Albov, D. Medveď, L. Ďaková, Ľ. Medvecký, P. Hvizdoš, T. Csanádi, Fracture strength of grains and grain boundaries in a dual-phase high-entropy ultra-high temperature ceramics, J. Eur. Ceram. Soc. 44 (2024) 5422–5431.https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.01.034

[12] S.M. Smith II, N. Gilli, W.G. Fahrenholtz, G.E. Hilmas, S. García-González, E. Jiménez-Piqué, S. Curtarolo, L. Silvestroni, Dual-phase ceramics based on multication boride and carbide: Investigations at the nanoscale, Journal of Materiomics, https://doi.org/10.1016/j.jmat.2024.06.002

[13] S. Filipovic, S.M. Smith II, G. Hilmas, W. Fahrenholtz, N. Obradovi, S. Curtarolo, Synthesis and properties of (Hf,Mo,Ti,W,Zr)B2–(Hf,Mo,Ti,W,Zr)C dual phase ceramics, J. Eur. Ceram. Soc. 44 (2024) 116670. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.116670

[14] A. Naughton Duszová, L. Ďaková, T. Csanádi, A. Kovalčíková, V. Kombamuthu, H. Ünsal, P. Tatarko, M. Tatarková, P. Hvizdoš, P. Šajgalík, Nanohardness and indentation fracture resistance of dual-phase high-entropy ceramic, Ceram. Int. 49 (2023) 24239-24245. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.12.027

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Challenges and risks of nuclear energy investments in Africa

[1]Kristóf Stölczer

[1] *Obuda University, Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary, stolczerk@icloud.com*

Abstract

Nuclear power remains a key element of clean energy production, as it can generate continuous, low-carbon electricity while reducing dependence on fossil fuels. Its potential is particularly significant in Africa, where rapid urbanisation and growing energy demand require reliable energy sources. The deployment of nuclear power in Africa faces significant technical, financial, and infrastructural challenges. Public scepticism, high capital investment, and a lack of trained personnel continue to block its deployment. From a geopolitical point of view, nuclear energy development intersects with governance structures, as seen in North Africa, where political stability and transparency are key concerns. The case of Ghana highlights the economic trade-offs between nuclear power and renewable alternatives such as solar power. Russia's nuclear export strategy illustrates both the opportunities and the risks of international nuclear cooperation. Despite technological advances, cost overruns and political instability remain a major threat to nuclear deployment. Addressing these challenges requires a comprehensive regulatory framework, public-private partnerships, and international cooperation to ensure the safe and sustainable deployment of nuclear energy.

Keywords: nuclear energy, African nuclear sector, energy demand in Africa, African energy sector

1. Introduction

The main benefit of nuclear energy is a continuous, low-carbon source of energy that reduces dependence on fossil fuels. Nuclear reactors in operation produce no greenhouse gases, meaning they're a key tool in the fight against climate change. Nuclear energy can also be a game-changer in meeting the increasing energy demands in Africa, powered by rapid urbanization and population growth. In fact, rising energy demand on the continent is expected to grow by 60% by 2040. Moreover, nuclear energy is useful for sectors other than electricity generation, like agriculture, industry, medicine, etc. Nuclear power is also suited to technologies like seawater desalination and industrial heat production. Additional economic opportunities through nuclear energy could arise from regional collaborations and technology exports. Nonetheless, the introduction of nuclear energy to Africa is significantly challenged from both technical and cost perspectives. One single nuclear power plant of 1000 MW can cost between $1.5 billion and $8 billion, which is a difficult time for African countries that do not have adequate money. Another problem is the absence of an adequately trained workforce (nuclear engineers, technicians, researchers, etc.) and the technical capacity to adhere to the potential establishment of nuclear technology. And the new challenge is compounded by a lack of infrastructure — overloaded electrical grids and poorly developed transportation systems. Another key hurdle is public skepticism of nuclear energy. The Chernobyl and Fukushima accidents, coupled with nuclear waste disposal concerns, diminish public acceptance

of nuclear technology [1]. It is important to win public appreciation for the benefits of nuclear energy through engaging communities impacted by the construction of nuclear power plants and awareness programs.

2. Nuclear Expansion

Advancing nuclear energy globally will require broad political and regulatory reforms. African countries must put in place sound laws and regulatory regimes, including safety and waste management standards, based on the milestone approach of the IAEA. Specialized education and training programs will be needed to develop human resources and technical capacity. Funding challenges are best addressed through models from public-private partnerships and buy-in from international financial institutions. Regular educational campaigns that focus on the benefits and safety of nuclear technology can also instill confidence in the public. Nuclear power provides a dependable, low-emission energy source that decreases reliance on fossil fuels. Its geopolitical implications, however, are especially relevant in North Africa [2], where political instability and nondemocracy exacerbate nuclear energy deployment risks. In contrast, the European Union and the United States believe that democracy and transparency should come with a nuclear energy package. The introduction of nuclear energy in rich states such as Algeria, Libya, and Egypt could therefore be seen as a means of cementing political power. From the fossil fuel crisis to the environmental impacts, addressing Ghanaian energy needs in an increasingly sustainable way has come into focus. It analyses the technological and economic feasibility of nuclear energy and solar energy in Ghana as an efficient long-term energy security approach. Plans for Ghana to use nuclear energy go back to the 1960s, but the idea is gaining serious consideration as a solution to the periodic energy crises of the country only in recent years. Construction of the proposed 1200 MW nuclear power plant was estimated to cost between $6 billion and $9 billion, and take up to 12 years. Nuclear energy has low carbon emissions and stable, high-volume energy production. Nonetheless, the implementation of nuclear power is costly in terms of initial investment, waste management, and, critically, safety regulations, placing a burden on the national budget of a country with a debt-to-GDP ratio above 60%.

3. The case study in Ghana

For example, Ghana [3] is blessed with an average sunshine of 3,000 hours of sunlight per year. A 20 MW solar power plant costs just $8 million and can be finished in a few months. The relatively low upfront investment costs of solar energy and brief implementation timeline render it an attractive option for short- and medium-term energy security. The generation cost of solar energy is between 5–12 EUR/kWh, in contrast to an estimate for nuclear energy of 125 EUR/kWh. Solar energy systems provide more flexibility and can be deployed much faster than traditional energy sources of a smaller magnitude. Once the economic situation of the country settles, nuclear energy presents a long-term alternative. Financing models like public-private partnerships can also serve an important role in the implementation of both technologies. But the use of nuclear energy involves higher political and security risks that raise the stakes for its application. As global awareness of safety concerns grew after the 1986 disaster at the Chernobyl nuclear plant, Russia’s nuclear industry generally retreated from the world stage. Restoring credibility and reviving the sector were formidable trials, but beginning in 2007, Russia, as the most prominent Russian nuclear actor, implemented sky-high goals.

4. Role of the Russian nuclear industry

Russia has become a key player in the global nuclear export market thanks to the AES-2006 reactor design and strong political support [4]. The main russian actor is a high-technology innovation-driven corporation. Originally intended for the European marketplace, AES-91 and AES-92 reactor models were later exported to China and India. The reactors included core catchers, greatly improving safety levels. A modernization, the AES-2006 is then equipped with more active and passive safety systems and an increase in power. Then came the VVER-TOI model, which has promised to be built quicker and cheaper, but whose practical performance has yet to be demonstrated. Domestically, the nuclear sector in Russia is hindered by a small internal market and a lack of funds. There have also been considerable delays and technical problems with AES-2006 reactors in Russia that have cast doubt on the technology's reliability. Yet these experiences have yielded lessons that have benefited later export efforts. Russia has managed to secure new trade partners while maintaining its previous alliances. China and India have emerged as some of the biggest clients of Russia, but delays and cost overruns are still major hurdles. Emerging markets like Turkey, Bangladesh, and Vietnam hold great promise, but challenges remain. The "Build-Own-Operate" model, from which the Akkuyu project in Turkey was based, has investment limitations. Vietnam canceled its nuclear program in the end, citing costs and safety concerns. The Russian success, however, seems strategic essentially because it allows low prices as well as the opportunity for financing [5]. Much of the financing has come from the Russian government, encouraging a number of countries to turn toward nuclear technology. But political risks or cost overruns are an ever-present threat to their success. Russia’s nuclear export program illustrates one way a sidelined industry can reemerge in the world. Technological and safety innovations in AES-2006 and other reactors have allowed Russia to provide modern, competitive solutions. Yet, despite frequent delays, cost escalations, and challenges in new markets, the program has yet to realize its full potential. The fate of the Russian export strategy will depend on its ability to navigate technological and financial challenges successfully and to continue to expand its footprint in global markets. If their promises can be fulfilled, new-generation reactors like the VVER-TOI are crucial to a nuclear future.

5. Nuclear challenges in North Africa

North African countries such as Morocco, Algeria, Tunisia, Libya, and Egypt have seen a rapidly growing energy demand in the last few decades. This growth created multiple energy and political challenges related to energy supply diversification and sustainable resource integration. Regional leaders are assessing the importance of nuclear energy in the context of energy security and the import-export structure. [6] Several countries have found nuclear energy to be an attractive solution for enhancing energy security. North African interests have paid particular attention, as energy demands grow, fossil fuels get depleted, and alternative energy becomes imperative. However, the technical dependence is probably the greatest obstacle the adoption of nuclear technology faces. Middle Eastern and North African countries currently have neither the knowledge nor the capacity to independently develop nuclear energy. Thus, all aspects of the construction, maintenance, and fuel supply of nuclear power plants are completely dependent on imported technologies and foreign specialists. This increases costs and decreases energy independence. Constructing the associated nuclear infrastructure is a vastly expensive prospect, especially considering the dependency on imported know-how and the low energy costs of the region. A single reactor can cost billions of dollars, far beyond the budgetary means of most North African countries. The relatively small size of the regional energy systems also does not lend itself to the efficient integration of the output from large nuclear plants, making such investment fairly uneconomic. Another major challenge has to do with safety risks: managing radioactive waste and preventing nuclear accidents require effective regulatory and technical capacities that are not fully developed

in North Africa. Resistance from the public makes the adoption of nuclear energy all the more difficult. Past incidents — Chernobyl and Fukushima, for instance — have profoundly shaped public views, delaying acceptance of nuclear projects. The implementation of such strategies, which emphasize the benefits of nuclear energy, while also communicating safety information, at the same time, will be crucial to gaining public trust.

6. Energy security and risks

Strong interest in nuclear energy is still driven by several factors despite these challenges. Energy security is especially urgent, as countries such as Morocco and Tunisia depend on energy imports, exposing their economies to risks. The Exhaustion of fossil energy resources represents a significant challenge for Egypt, Algeria, and Libya, and there is a need to replace them with new energy sources. Electricity demand in the region is rising at 4–8% per year, which is above the global average, underlining the need for additional energy supplies. Moreover, there is increasing pressure for energy-intensive desalination technology, due to desertification and water scarcity. Energy shortages represent an annual loss of 2–4% of GDP for African countries [7], and stable, reliable energy sources such as nuclear power could help reduce these losses. From a sustainability perspective, one of the biggest advantages of nuclear energy is that it produces almost no carbon emissions and significantly less damage to the environment, compared to fossil fuels. Africa possess a rich endowment of uranium resources, notably in Niger, Namibia and South Africa, giving it a local source to develop nuclear energy with a regard to diminish overreliance on foreign controls in fuelling the nuclear stream. In summary, the development of nuclear energy in North Africa is impeded by multiple factors: technological reliance, financial burden, concerns for safety, and public opposition. Still, the impetus to bolster energy security, meet sustainability targets, and capitalize on indigenous uranium deposits provides compelling motivation for its uptake. Nuclear energy is a potential long-term solution for energy challenges in the region, if countries are able to address comprehensive political and regulatory reforms and secure necessary technological and financial support through international cooperation. Societal acceptance will be critical for success, necessitating clear communication strategies and greater public participation to show how nuclear energy can be beneficial. All North African countries, with different progress, goals, and motivations, plan to use nuclear energy. Egypt plans to build four reactors by 2025 in a bid to meet the needs for 4 GW of power generation. The North African country also plans to develop its first reactor after 2020, and two more units every two years in order to increase its energy generation capacity. Morocco intends to deploy two reactors by the year 2030, with a collective capacity of 2 GW, as it aims to decrease reliance on imported energy. Tunisia also expressed interest in constructing a smaller 900 MW reactor by 2020; however, the relevant small-scale electrical grid within the country presents compelling challenges to integrating such large-scale projects. Libya is in economically better condition, but does not feel itself to be under the same threat as Syria, and has the fossil fuel reserves to leave nuclear energy as a much lower priority.

7. Conclusion

The African energy transition is a massive challenge but also a transformative opportunity. The continent has abundant renewable energy resources, important critical minerals, and unexplored potential for nuclear energy. But the way towards a sustainable energy future is plagued with infrastructural deficits, financing constraints, governance challenges, and socio-economic inequalities.

8. References

[1] Felix Orikpete, O. (2023). Nuclear fission technology in Africa: Assessing challenges and opportunities for future development. Nuclear Engineering and Design, 413, 112568. https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112568

[2] Supersberger, N. (2011). Integration of renewable energies and nuclear power into North African energy systems: An analysis of energy import and export effects. *Energy Policy*, 39(8), 4458-4465. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.046

[3] Agyekum, E. B. (2020). Sustainable energy: Is it nuclear or solar for African countries? Case study on Ghana. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100630. https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100630

[4] Thomas, S. (2018). Russia's nuclear export programme. *Energy Policy*, 121, 236-247. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.06.036

[5] Hickey, S. M. (2021). Nuclear power in the Middle East: Financing and geopolitics in the state nuclear power programs of Turkey, Egypt, Jordan and the United Arab Emirates. *Energy Research & Social Science*, 74, 101961. https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101961

[6] Jewell, J. (2011). A nuclear-powered North Africa: Just a desert mirage or is there something on the horizon? *Energy Policy*, 39(8), 4445-4457. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.042

[7] Ansah, M. N. (2021). Atoms for electricity generation in Africa: Analysis of factors affecting the continent's readiness. Progress in *Nuclear Energy*, 141, 103938. https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103938

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Safety Protocols for Atmospheric Rocket Launches

[1]Bence Ujhegyi, [2]Enikő Réka Fábián

[1] *Obudai University Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary ujhegyi.bence@stud.uni-obuda.hu*
[2]*Obudai University Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering Institute of Mechanical Engineering and Technology Department of Materials Technology., fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu*

Abstract

The safety of atmospheric rocket launches is of paramount importance, as even the smallest oversight can lead to severe consequences. Historical experiences and technological advancements have fundamentally shaped safety protocols that encompass detailed preparations, automated monitoring systems, and robust emergency procedures. The future of the industry relies on the continuous enhancement of safety measures, fostering a culture of learning and sharing best practices. Minimizing the risks associated with atmospheric rocket launches necessitates collaboration among teams and a steadfast commitment to safety.

Keywords: Atmospheric rocket launch, Safety protocols, Emergency procedures, Risk management

1. Introduction

Rocket launches have long been one of the most complex engineering challenges, where even the smallest oversight can have catastrophic consequences. Safety protocols developed over time are integral to minimizing the inherent risks involved in these launches. The main focus of this article is to explore the evolution and application of safety measures specifically for atmospheric rocket launches, emphasizing how early experiments, such as those in China with gunpowder-propelled devices, were conducted without safety considerations and resulted in unpredictable outcomes. By the 20th century, the contributions of pioneers like Konstantin Tsiolkovsky and Robert H. Goddard provided essential theoretical and practical insights, but comprehensive safety protocols were still lacking. The failures in early space race missions highlighted the critical need for structured risk management. This article addresses the ongoing challenge of maintaining rigorous safety standards amidst evolving technological and engineering advancements, proposing strategies to strengthen adherence to safety practices for the protection of human life and equipment.

Safety in rocket launches serves multiple purposes. Primarily, it protects human lives, including those of the launch team and, in crewed missions, the astronauts. Secondly, it safeguards the often expensive and highly valuable equipment that comprises rockets and their payloads. A launch failure can result not only in financial losses but also in significant setbacks in research and development efforts. In atmospheric rocket launches, where rockets traverse lower altitudes compared to orbital launches, safety is still paramount due to the potential for high-speed debris, fires, and environmental impacts. The modern safety approach involves strict adherence to protocols that encompass thorough pre-launch inspections, carefully constructed checklists, and well-defined abort procedures. Each of these aspects plays a critical role in mitigating risks and ensuring that any

potential hazards are managed efficiently.

2. Challenges in Implementing Safety Procedures

Implementing safety protocols for atmospheric rocket launches involves tackling numerous challenges that arise from both technical and human factors.

2.1 Technical Challenges

The complex nature of rockets, with their intricate propulsion, guidance, and structural systems, means that even minor technical issues can escalate into significant safety hazards. For instance, propulsion system failures, such as unexpected changes in thrust or fuel leaks, can lead to catastrophic consequences. Similarly, the guidance system must be precisely calibrated; even slight misalignments can result in deviations from the intended flight path, endangering both the mission and surrounding areas. Structural integrity also plays a vital role. Rocket bodies are subjected to immense stress during the launch, requiring detailed inspections to prevent weaknesses that could lead to in-flight disintegration. Ensuring technical reliability requires extensive testing of individual components and systems, redundancy in critical mechanisms, and real-time monitoring during launches. Yet, despite these precautions, technical failures remain a persistent challenge due to the sheer number of variables involved in each launch [1].

While technology can help automate many processes, human oversight is essential, and human error remains a significant risk factor. Misinterpretations, procedural lapses, or delayed reactions can compromise safety. For example, incorrect data interpretation or skipping checklist steps due to fatigue or time constraints can have severe repercussions. Training is therefore paramount [2]. Teams must be well-versed not only in the technical aspects of rocket launching but also in situational awareness and rapid decision-making. Regular simulation drills and comprehensive training programs help build familiarity with emergency procedures and improve response times during unexpected situations.

A cornerstone of launch safety is the ability to halt the process swiftly and safely if necessary. Abort protocols are pre-planned sequences that outline when and how to cancel a launch. These protocols are triggered by various factors, such as sudden equipment malfunctions, changes in weather conditions, or unexpected anomalies in pre-launch diagnostics [1][3]. A robust abort system must be designed with precise criteria that dictate the “go” or “no-go” decision points. Once an abort command is given, the launch team must be prepared to secure the rocket, manage any potential hazards (such as fuel venting), and initiate follow-up safety measures. Case studies from past launches demonstrate the importance of these protocols. For example, there have been instances where proper abort procedures prevented severe damage or casualties by stopping launches just before critical failures occurred.

3. Comprehensive Safety Equipment and Pre-Launch Protocols

Safety in atmospheric rocket launches hinges on a combination of robust equipment and meticulously structured pre-launch procedures. These measures form the backbone of successful and secure operations [4]. Preparing the launch site involves comprehensive assessments to ensure it is free from potential hazards. Safety zones are marked to establish a secure perimeter, protecting the crew and any observers. Fire suppression systems are essential, as fuel-related incidents can escalate rapidly. Additionally, the site should be equipped with emergency medical and response teams to handle any immediate safety issues.

The equipment used in a rocket launch must undergo thorough inspections [5]. This includes avionics checks to confirm the proper functioning of communication and telemetry systems,

propulsion system evaluations to prevent fuel leaks or nozzle issues, and structural reviews to identify any weaknesses. Faulty or overlooked equipment can lead to serious incidents during the launch, so these checks are a crucial part of the pre-launch process.

3.1 Checklist Systems

Checklists are indispensable tools in maintaining high safety standards. They ensure that each step in the preparation and launch process is accounted for, helping to avoid human error. Checklists typically include items such as:

- Verifying ignition systems and ensuring backup igniters are functional.
- Securing payloads and confirming that all attachments meet safety standards.
- Confirming communication channels between ground control, safety officers, and launch operators.
- Conducting final weather checks to ensure conditions are within safe parameters.

The use of checklists not only enforces a systematic approach but also provides a documented trail that can be reviewed if any issues arise. Detailed emergency protocols guide responses to potential malfunctions or unexpected developments during the countdown and launch sequence. Common emergency procedures include:

- *Ignition failure handling*: If the primary ignition system fails, a secondary ignition attempt may be initiated. If this fails, the protocol shifts to safely securing the rocket to prevent unintended ignition.
- *Fuel leaks and hazards*: Rapid response plans are in place for dealing with fuel leaks, involving immediate venting and isolation of the affected area to mitigate fire or explosion risks.
- *Weather-related delays*: Sudden changes in weather, such as high winds or lightning, may require pausing the launch sequence and securing the rocket until conditions stabilize.

These emergency plans are rehearsed to ensure that every member of the launch team is familiar with their role in maintaining safety [6]. This familiarity is crucial when quick, coordinated action is necessary. Technological advancements have introduced automated monitoring systems that provide real-time data on the rocket's status. Sensors track parameters such as internal pressure, fuel levels, and structural vibrations. Any anomalies trigger automatic alerts, allowing the team to address issues before they escalate [7]. Integrating these monitoring systems with the launch protocol enhances the team's ability to make informed, data-driven decisions, reinforcing safety measures throughout the launch process.

4. Real-Life Lessons and Safety Enhancements

The history of rocketry is marked by incidents that illustrate the critical importance of adhering to safety procedures. One notable example is the early era of space exploration, where launches were frequently hampered by insufficient safety protocols. Incidents such as premature ignition or fuel tank ruptures were more common due to the limited technology and understanding of complex safety systems [8]. On the positive side, there have been many instances where stringent safety protocols prevented disaster. In some high-profile launch attempts, adherence to emergency abort sequences saved both equipment and personnel. These real-life scenarios demonstrate the effectiveness of having robust safety measures in place and serve as case studies for continual improvement. Technological innovations have significantly improved launch safety over the years. Automated shutdown systems are now a standard part of launch procedures, capable of halting operations if critical thresholds are breached. Real-time telemetry provides ground control teams with immediate insights into rocket conditions, enabling proactive responses to potential issues.

Protective equipment has also evolved, enhancing the safety of personnel on-site. Fire-resistant suits, advanced communication headsets, and robust monitoring tools contribute to a safer working environment. Additionally, high-fidelity simulation software allows teams to practice responses to various emergency scenarios, improving their preparedness for real launches.

Figure 1. Our research rocket leaving its launch rail

4.1 Recommendations of Best Practices

Drawing on historical lessons and technological progress, there are several best practices that teams should adopt to enhance safety [9]: regular training and drills, layered safety systems, communication protocols, continuous review and adaptation

Regular training and drills are based on ongoing education and practical training exercises, which are vital for maintaining team readiness. This includes routine simulations of launch failures, weather-related delays, and ignition malfunctions [1].

Layered safety systems are redundant systems, such as backup ignition sources and secondary communication lines, that provide additional security. Ensuring these backups are regularly tested is essential.

Communication protocols are very important. Clear, concise communication among team members reduces misunderstandings and improves coordination during critical moments. Standard operating language and hand signals can help convey information when audio communication is impaired.

Continuous review and adaptation are indispensable. After each launch, a detailed post-mission review helps identify potential areas for improvement in safety protocols. This iterative process ensures that lessons learned are incorporated into future operations.

Safety must be embedded as a fundamental aspect of the team's culture. Encouraging a mindset where every member takes ownership of safety, from engineers to ground crew, fosters vigilance and proactive problem-solving [10].

5. Conclusion

The progress in atmospheric rocket launches has been marked by significant advancements in safety protocols and procedures. Achievements include the development and consistent use of detailed pre-launch checklists, which ensure comprehensive verification of systems and reduce the risk of human error. Robust emergency procedures have also been established, enabling swift responses to malfunctions, such as ignition failures or fuel leaks, which have successfully prevented catastrophic incidents. The integration of real-time monitoring systems has proven critical, providing ground teams with immediate data that facilitates informed decision-making during launches.

These safety measures have led to a substantial decrease in the number of launch failures and accidents, demonstrating the effectiveness of a well-coordinated approach to risk management. The ability to halt launches through automated abort systems has saved equipment and lives, reinforcing the value of these protocols. Moreover, advances in training programs and simulations have enhanced the readiness of launch teams, ensuring that they are better equipped to handle unforeseen challenges. The continuous adaptation to new technologies, such as predictive analytics driven by AI and enhanced simulation tools, points to a future where safety becomes even more integrated with the technological framework of rocketry. Through collaborative efforts across teams and industries, safety standards have been raised, showcasing that collective commitment can make launches both successful and secure. This focus on constant refinement has built a solid foundation where future launches can benefit from accumulated knowledge and improved safety practices.

6. References

[1] B. Ujhegyi, K. Molnár. (2023). Atmospheric rocket launch safety requirements and the challenges of meeting them. In OE-BGK tudományos diákköri konferencia.

[2] National Association of Rocketry. (2024). Model Rocket Safety Code. Letöltve: 2023.03.10, https://www.nar.org

[3] Tripoli Rocketry Association. (2024). Safety Requirements for High Power Rocketry. Letöltve. 2023.03.27, https://www.tripoli.org/safety

[4] P. D. Wilde. (2024). Range safety requirements and methods for sounding rocket launches. *Federal Aviation Administration*, Deputy Chief Engineer, 800 Independence Ave Suite 331, Washington DC 20591, United States.

[5] L. Aldaghma, D. Muresan, S. Renaud, (2024). Establishing the requirements for safe rocket launches with respect to weather. *Space Concordia*, Concordia University, 1455 De Maisonneuve, Montreal, H3G 1M8, Quebec, Canada.

[6] J. R Smith, P. M. Anderson, (2024). Innovations in Rocketry Safety Protocols for Modern Launch Systems. Aerospace Safety Review, National Institute of Rocketry, 123 Aviation Blvd, Houston, TX 77058, USA.

[7] L. Chen, R. Gupta, H. Martinez (2023). Safety Mechanisms in High-Power Rocket Launches: Challenges and Solutions. International Journal of Aerospace Safety, Space Research Institute, 456 Spaceway, Pasadena, CA 91103, USA.

[8] K. L Williams,. M. J. O'Connor (2024). Comparative Analysis of Safety Standards in Amateur and Professional Rocketry. Global Aerospace Safety Conference Proceedings, 789 Skytech Rd, Orlando, FL 32819, USA.

[9] R. T Baker,. S. M Lee: (2023). Addressing Risk Factors in Atmospheric Rocket Launches: A Comprehensive Study. Journal of Aeronautical Engineering and Safety, Aerospace Research Facility, 101 Rocket Way, Cape Canaveral, FL 32920, USA.

[10] P Nguyen,. H. K. Roberts, (2024). Implementing Real-Time Safety Monitoring Systems in Rocket Launches. Advanced Rocketry and Safety Journal, International Aerospace Institute, 567 Launch Drive, Huntsville, AL 35806, USA.

Engineering Symposium at Bánki
(ESB 2024)

Transport Safety – The Analysis of Chinese and European Safety Regulation Systems in Railway Safety Context

[1] Zhang Peng, [2] Péter János Varga, [3]László Ady, [4] Daniel Tokody

[1] Obuda University, Doctoral School on Safety and Security, Budapest, Hungary, zhangpeng20232027@gmail.com
[2] Obuda University, Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering, Budapest, Hungary, varga.peter@kvk.uni-obuda.hu
[3] Obuda University, Doctoral School on Safety and Security, Budapest, Hungary, adylaszlo@nexttechnologies.hu
[4] Obuda University, Doctoral School on Safety and Security, Budapest, Hungary, tokody.daniel@nexttechnologies.hu

Abstract

The concept of safety, which can be considered from a tripartite perspective, can be achieved through a cooperative, synergistic interaction between the organisation, the people, and the infrastructure/technology system. It is asserted that safety represents a pivotal challenge in transport planning. The focal point of our research group's endeavours lies in the domain of railway safety within the broader transport system. The central research question guiding our efforts pertains to the identification of fundamental principles that can inform design methodologies aimed at enhancing safety.

Keywords: safety, standards, railway safety, safety lifecycle, safety through design

1. Introduction

The initial step in this process is to identify the three pillars of safety. The organization is identified as a project organization responsible for the construction of a comprehensive railway infrastructure that is integrated with other modes of transport. In the context of human factors, numerous considerations are taken into account, including the perspective of the passengers and the viewpoint of the professional workforce. As an infrastructure/technological system, we refer to a safety-critical unit within that infrastructure.

The question, therefore, arises as to what factor connects the three pillars into one. The answer to this question depends on where we are in the lifecycle of a particular infrastructure project.

The system lifecycle is generally defined as the process of moving through the following stages: requirements definition, infrastructure design phase, infrastructure construction, system testing, commissioning, operation, maintenance, and decommissioning [1].

Our research focuses on the first two phases of the lifecycle because Szymberski [2] has already shown that we can influence the safety of a project in the design and detailed engineering phases. This concept was subsequently refined by Karakhan et al., as illustrated in the accompanying figure.

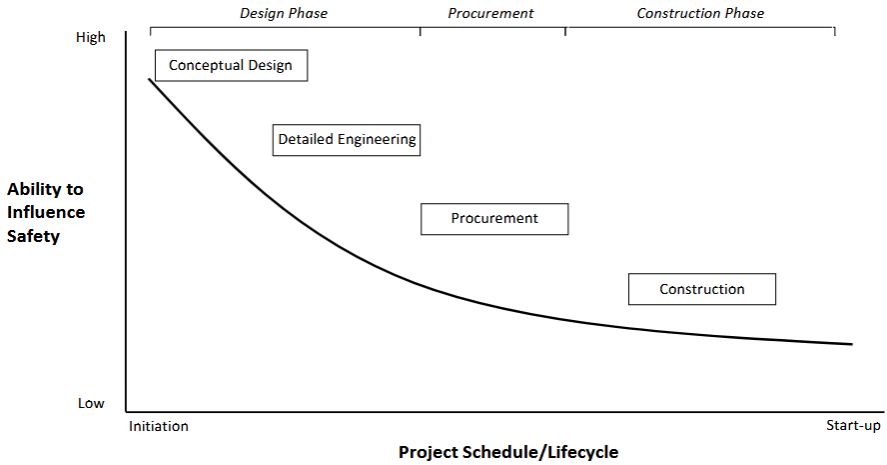


Figure 1. Szymberski's Time-safety influence curve refined by Karakhan et al. [2,3]

2. Safety Design and Safety Certification

Even in a railway construction project, especially if it is large enough, there is no comprehensive safety planning. The different disciplines collect the data for the design and carry out the design task themselves. This is then agreed upon with the other disciplines in design meetings. The lack of safety-oriented planning is obvious. It is not that the individual disciplines do not consider safety to be an important issue. According to Bartha and Majzik, *"Delays in development projects for safety-critical systems were partly due to a lack of clarity or technical inadequacy in the safety assessment process. Reliability assurance planning is an important project activity"* [4].

In our case, the thinking of the designers is mainly influenced by European regulations, directives, legislation, standards, national regulations, company regulations, and the accepted rules of the trade. The statements in the various designs always include references to these.

What can safety through design mean?

The concept of safety through design can be delineated as the incorporation of hazard analysis and risk assessment methodologies into the design and engineering phases of a project. This approach ensures that risk mitigation measures are in place to guarantee that the potential for injury or damage remains within an acceptable range [5].

How can safety be achieved through design thinking, and how can it be justified?

Crossrail defines the Engineering Safety Justification as follows: *"A formal presentation of evidence, arguments and assumptions aimed at providing assurance that a system or product has met its safety requirements (including appropriate legislation and standards) and that the safety requirements are adequate."* [6]

The above suggests that by following the rules and guidelines, designers can create a safe system. The aforementioned study by Karakhan et al. [3] found that a significant proportion of construction accidents were due to design problems.

What could be the reason for this? There are many types of design errors, such as those resulting from non-compliance with regulations. In the points that follow, we briefly review the complex system of mandatory requirements.

3. Overview of the Chinese Railway Legislation System

In China, safety regulations are issued in the form of laws. The clauses listed in these standards impose behavioural constraints on practitioners, especially those involved in railway operations and management. The structure of the primary legislation can be seen in the following Figure 1. The laws and regulations promulgated by the Standing Committee of the National People's Congress, Ministry of Railways.

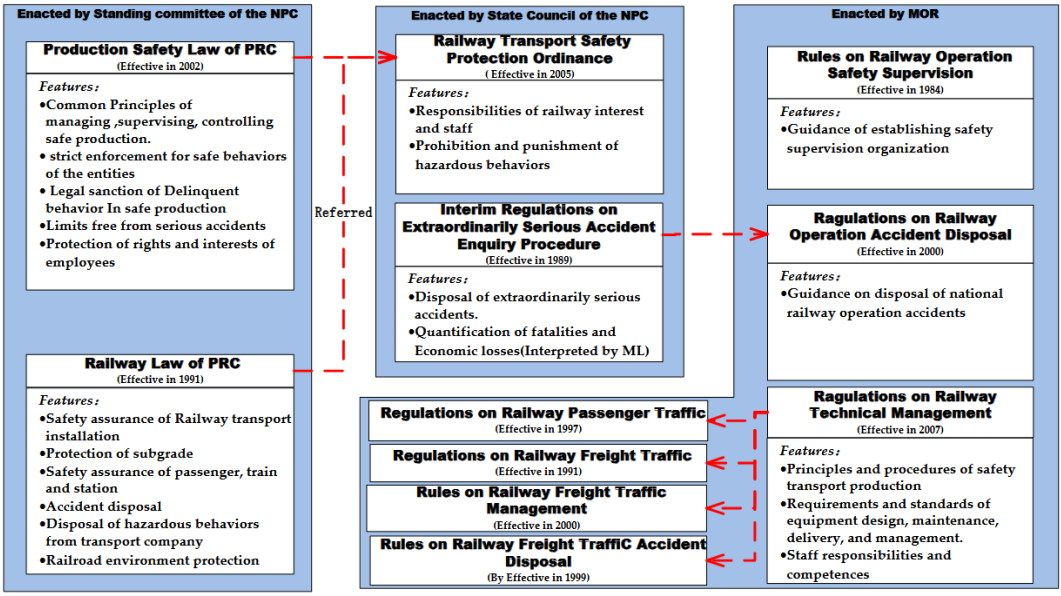


Figure 2. Railway safety legislation in China [7]

4. Overview of the Chinese Railway Standard System

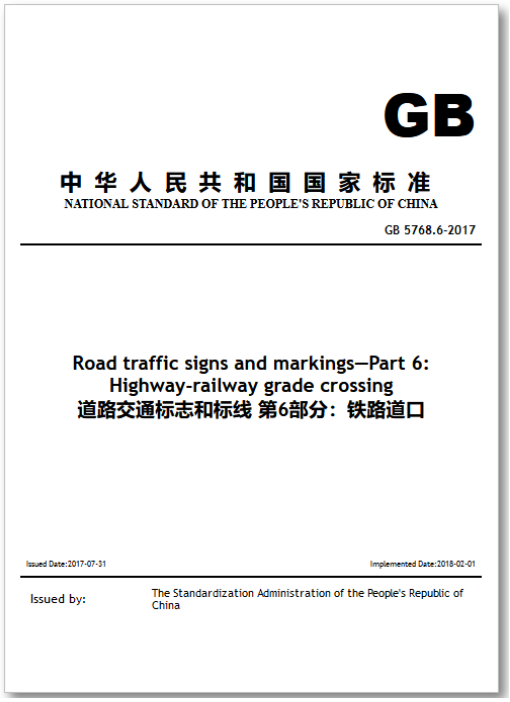
The Chinese railway standard system has strong structural characteristics, which can directly guide and standardize the design, production, and inspection of systems, subsystems, and equipment. China's railway standards are classified according to the level of the published standards into national standards (GB category of the National Standards Administration), industry standards (TB category of the State Railway Administration), enterprise standards (Q/CR category of China Railway Group), and others (relevant standards of the railway enterprises).

The Chinese railway standard system can be divided into two parts: professional technology and engineering construction. The professional and technical category is divided into three standard systems: high-speed railway, general-speed railway, and heavy-haul railway. It is divided into many sub-systems in detail, including general and comprehensive technology, rolling stock, public works engineering, communication signals, traction power supply, operation services, etc.

Among these, the communication signal technology standard subsystem is divided into basic general standards, system standards, product standards, interface standards, protection standards, etc.; the engineering construction standards are mainly used to guide and regulate railway engineering constructions by taking a large comprehensive approach, and are divided into common standards and special standards, among which common standards include basic categories, survey and design categories, construction categories and acceptance categories.

Special standards include high-speed railways, normal-speed railways, heavy-haul railways, and

plateau and alpine railways. There are also several other specific standards, including terminology, graphics symbols, survey and design specifications, construction regulations, acceptance and management specifications, etc.


GB

中华人民共和国国家标准
NATIONAL STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

GB 5768.6-2017

Road traffic signs and markings—Part 6:
Highway-railway grade crossing
道路交通标志和标线 第6部分：铁路道口

Issued Date:2017-07-31 Implemented Date:2018-02-01

Issued by: The Standardization Administration of the People's Republic of China

Figure 3. GB 5768.6-2017 Chinese national standard English version [8]

5. Overview of the European Railway Legislation System

Figure 4. Regulatory pyramid of the European Railway [9]

Insufficient railway interconnectivity has become a major obstacle to European economic development. The EU is paying increasing attention to this issue and has adopted various directives and regulations to promote railway interconnection within the European regions. At present, the EU railway package has three main 'technical pillars' (the 4th Railway Package is a set of 6 legislative texts), which respectively regulate the responsibilities of the European Union Agency for Railways, European railway interoperability, and **European railway safety.** The purpose is to change the management of railway operations among European countries, and a history of incoherence with equipment, to create a single European railway system that is interconnected, safe, and acceptable, and enhances the competitive advantage of rail transport over other modes of transport [10,11].

Safety requirements: The EU Railway Safety Directive 2004/49/EC [12] proposes Common Safety Targets (CSTs) and Common Safety Methods (CSMs). Among them, CST represents the minimum safety level (Safety Level) reached by the railway system, and CSM is used to evaluate whether CST and other safety requirements are met. The public safety method CSM for safety risk assessment was developed through 352/2009/EC [13] and later updated through 402/2013/EU [14]. The core hazard of ETCS is exceeding speed and/or distance limits advised to ETCS. 2016/919/EU stipulates that the tolerable risk rate (THR) of random failures of ETCS core hazards is defined as: 10^(-9) h^(-1) for both the ETCS station part and the ETCS trackside part, thereby unifying this in the EU. It was subsequently updated to (EU) 2023/1695.

6. Overview of the EU Railway Standard System

In the present work, the focus is exclusively on the most significant safety-related standards for railway systems (Fig. 3.), which are the CENELEC standards. The development of these standards commenced in the 1990s, drawing upon best practice and other standards to establish a foundation for safety in railway development and software-based systems. The EN 61508 standard underwent a transformation from a generic standard to an industry standard, thereby acquiring a domain-specific character. These standards serve as the benchmark for railway functional safety.

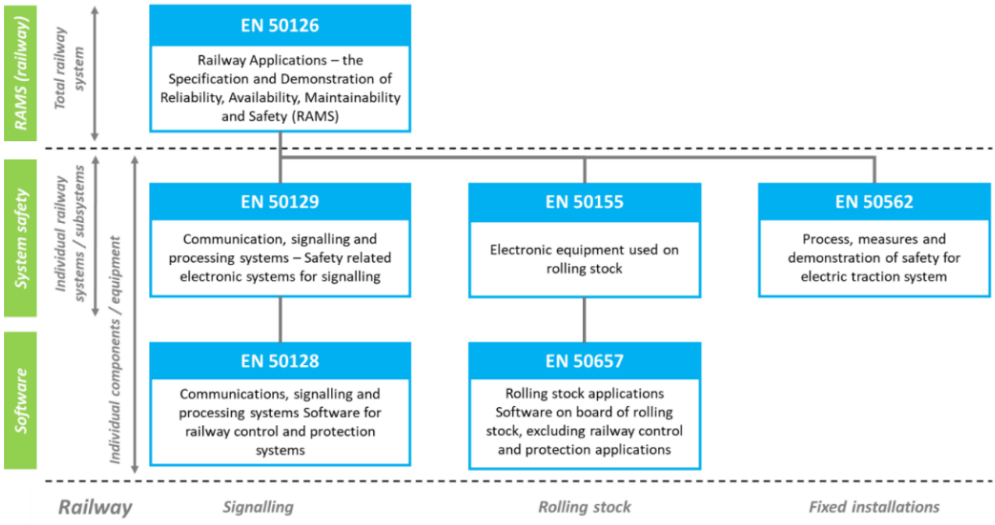


Figure 5. CENELEC standards for railway safety [15]

7. Difference analysis

The China Railway Signalling Standard System has a more complete division of various areas and more detailed specifications within the areas. It fully considers product research and development, engineering design, project implementation, operation management, and maintenance, etc., and supports the national development of the Chinese railway public network. Overall, consideration and unified standards have played a significant role in reducing costs and increasing efficiency. The design, equipment supply, integration, and construction of copper materials related to railway engineering construction are tendered separately and then organized and implemented by the employer. The control over progress and cost is usually strong. Based on the unified and specific Chinese railway standards, each such enterprise has a clear division of labour, so that they can be well applied to the large-scale railway system of Chine [16]. For the implementation of signalling systems, China has formed a mature system integration construction model, which specifically includes integrated design, integrated management, integrated testing, etc., ensuring the effective implementation of railway signalling system constructions.

In comparison, in Europe, standards are not mandatory, except in cases where they are required by law. The European rail standards mentioned above are mandatory for European rail developments. However, there is an absence of a comprehensive and coherent system of technological regulations for the efficient construction of safe railway infrastructure.

8. Conclusion and Future Work– Designing Safety Lifecycle in a Construction Project

In our view, the European railway community is trailing behind due to its prolonged struggle with two main issues: the European standardisation of future safety equipment and automation interfaces, and the recognition of the importance of cybersecurity. These issues have slowly become decades old. In fact, the problems of rail transport have not yet been solved. Knowledge of these requirements and many others is necessary to carry out the design work and to create a safety-critical system. How can we improve on procedures that have existed since 1990?

It is proposed that construction projects should adopt a safety lifecycle approach encompassing the design and construction phases of the infrastructure. This approach involves the utilisation of artificial intelligence to check for inconsistencies in regulations from a safety perspective.

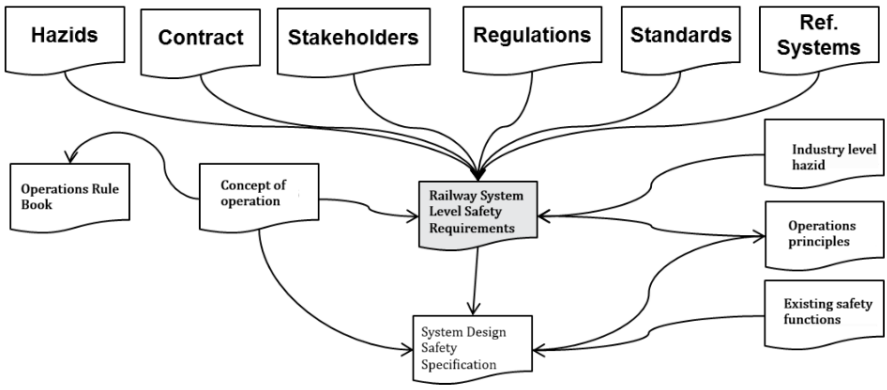


Figure 6. Model to implement Railway System Level Safety Requirements [17]

A system engineering tool is proposed to create System Level Requirements for a railway context. We propose the use of artificial intelligence to create the SLR. If we take into account the baseline of safety lifecycle design, we can also create the (Railway) System Level Safety Requirements. (Figure 6)

Safety Level Requirements (SLR) are a set of system-level specifications that define the safety criteria and constraints for a railway system. These requirements ensure that the system operates within acceptable risk levels, adhering to safety standards and regulations. SLRs are derived from a comprehensive analysis of hazards, risks, and safety goals, and they form the foundation for the design, implementation, and validation of safety-critical systems. In the context of railway systems, SLRs address functional safety, operational safety, and maintenance safety, ensuring the protection of passengers, staff, and infrastructure. We envision that they should be defined and validated from the outset and at all levels of the project structure throughout the life of the project.

The utilisation of artificial intelligence in the domain of SLR development has emerged as a pivotal subject in contemporary research. When applying artificial intelligence to the development of SLR and SLSR, the roles of AI can be categorized as follows:

- The utilisation of artificial intelligence as a support mechanism for engineers entails the automation of repetitive tasks, the analysis of extensive datasets, and the generation of preliminary requirements based on historical data and safety standards. Moreover, AI has the capacity to analyse past railway incidents and safety reports in order to identify common hazards and propose mitigation strategies.
- The utilisation of artificial intelligence as a supervisory mechanism means that it is responsible for the monitoring of the requirement development process, with the objective of ensuring compliance with safety standards. In addition, it is able to identify inconsistencies or gaps in the requirements. Furthermore, AI is capable of cross-checking SLRs against international safety standards, such as those established by CENELEC and ISO, and highlighting any discrepancies.
- The utilisation of artificial intelligence in decision-making processes harnesses its capability of making informed decisions based on predefined rules, risk assessments and optimisation algorithms. It is important to note that this role is limited to non-critical decisions, with the aim of avoiding over-reliance on AI. The ability of AI to prioritize safety requirements based on risk levels and resource constraints is also a key consideration.

The utilisation of artificial intelligence has the potential to influence the security of both the system and the project. Consequently, the research team is developing an AI risk balance rate metric.

In the context of developing metrics, the utilisation of artificial intelligence has proven to be particularly advantageous in the management of complex systems characterised by voluminous datasets. The manual analysis of such systems is often time-consuming and susceptible to errors, rendering AI a valuable tool for enhancing efficiency and accuracy in decision-making processes. However, it is important to note that AI is not suitable for highly critical decisions where human judgment and accountability are essential.

The application of AI in the development of SLR and SLSR for railway systems has the potential to enhance efficiency and accuracy to a significant degree. However, it is crucial to maintain a balance between the risk reduction capabilities of AI and the additional risks it introduces. By delineating explicit roles for AI (e.g., assistant, supervisor, or decision maker) and adhering to the balance rate principle, engineers can leverage AI effectively while ensuring the safety and reliability of railway systems.

9. Acknowledgment

Project no. 2023-2.1.2-KDP-2023-00009 has been implemented with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation fund, financed under the KDP-2023 funding scheme.

10. References

[1] Moore, T. (2018). Safety in design - a practical approach for signalling. In CORE 2018: Conference on Railway Excellence. Railway Technical Society of Australasia (RTSA); Technical Society of Engineers Australia. 414-423.

[2] Szymberski, R. (1997). Construction safety planning. TAPPI Journal 80(11), 69-74.

[3] Karakhan, A., Rajendran, S., Gambatese, J. (2018). Validation of time-safety influence curve using empirical safety and injury data - Poisson regression. Construction Research Congress 2018.389 – 399.

[4] Bartha, t., Majzik, T. (2019). Formal Methods for Safety Design and Safety Certification. Akadémiai Kiadó , Budapest

[5] National Safety Council (2009). Safety through design. https://www.nsc.org/getmedia/f5d0a85c-16af-4fbe-809f-ad06d9a73542/apm_et_answers_q_cs_ch1.pdf , accessed 09.09.2024.

[6] Crossrail (2020). Engineering Safety Management System Safety Plan . https://learninglegacy.crossrail.co.uk/wp-content/uploads/2023/05/Engineering-Safety-Management-System-Safety-Plan-V8.0.pdf , accessed 09.09.2024.

[7] Tang, T, Liu, C., Niu, R.: Research on Safety Management System for China Railway. https://international-railway-safety-council.com/wp-content/uploads/2017/09/tang-liu-niu-research-on-safety-mangement-system-for-china-railway.pdf , accessed 09.09.2024.

[8] China industry standard (2017) https://www.gbstandards.org/China_standard_english.asp?code=GB%205768.6-2017 , accessed 09.09.2024.

[9] Pfaff, R. (2025). Introduction, Historical Development and Regulations. In: Railway Brake Systems. Lecture Notes in Mobility. Springer, Cham. 3-9. accessed 14.11.2024.

[10] European Commission (2016). Fourth Railway Package of 2016. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/railway-packages/fourth-railway-package-2016_en , accessed 09.09.2024.

[11] Fanner, D. (2020). Back to Basics: Train Protection. IRSE News, 2020(268): 10-20. https://www.webinfo.uk/webdocssl/irse-kbase/ref-viewer.aspx?id=92&Viewable=True&RefNo=1901583981&type=dbtc&Test=&NextPrevious=yes&SearchSummary=Search%20results%20for:%20Back%20to%20Basics%20Train%20Protection , accessed 10.09.2024.

[12] European Parliament, European Council. Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on Safety on the Community's Railways and Amending Council Directive 95/18/EC on the Licensing of Railway Undertakings and Directive 2001/14/EC on the Allocation of Railway Infrastructure Capacity and the Levying of Charges for the Use of Railway Infrastructure and Safety Certification[J].

Official Journal of the European Union,2004,47(L 164):44–113.

[13] European Commission. Commission Regulation (EC) No 352/2009 of 24 April 2009 on the Adoption of a Common Safety Method on Risk Evaluation and Assessment As Referred to in Article6(3)(a) of Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the Council[J]. Official Journal of the European Union, 2009, 52(L 108): 177-192.

[14] European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013 of 30 April 2013 on the Common Safety Method for Risk Evaluation and Assessment and Repealing Regulation (EC) No 352/2009[J]. Official Journal of the European Union, 2013, 56(L121): 8–25.

[15] Gonzalez-Palacio, M., Hughes, S. (2018). Proven SIL levels on new rail projects. AusRAIL 2018, Rail for a Better Future, 27-28 November 2018, Canberra, ACT https://railknowledgebank.com/Presto/content/Detail.aspx?ctID=MTk4MTRjNDUtNWQ0My00OTBmLTllYWUtZWFjM2U2OTE0ZDY3&rID=NzAzNA==&sID=MTI=&ph=VHJ1ZQ==&qcf=&rrtc=VHJ1ZQ==&bckToL=VHJ1ZQ== , accessed 09.09.2024.

[16] Xiao Feng, Discussion on Development of High Speed Railway System Integration Mode, Railway Signalling & Communication Engineering. (2020)17 (11), 91-95, DOI:

[17] Hessami, A. G. (2015). A Systems View of Railway Safety and Security. Railway Research - Selected Topics on Development, Safety and Technology. InTech, 2015.

Magyar szekció / Hungarian section

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Mesterséges intelligencia alapú döntéstámogató rendszer fejlesztése gépjármű biztosítási csalások feltárásához – 1. rész

AI-based desicion support system for vehicle insurance fraud detection – Part I.

[1]Berzicai Kevin, [2]Váradi Péter, [3]Lukács Judit

[1] Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, kevinberzicai@stud.uni-obuda.hu
[2] Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország, varadi.peter@phd.uni-obuda.hu
[3] Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, lukacs.judit@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A biztosítási csalások világszerte ismert gazdasági bűncselekménynek számítanak. Súlyos károkat okoznak, valamint a biztosító társaságok és ügyfeleik közötti bizalmat is rombolják. Jelen publikáció keretén belül egy olyan döntéstámogató rendszert mutatunk be, mely alkalmas lehet a gyanús esetek kiválogatására a kötelező gépjármű felelősségbiztosítási piacon már a kivizsgálás igen korai szakaszában. Ennek megvalósítására valós kártérítési esetek adatait alkalmaztuk. Létrehoztunk egy hierarchikus fuzzy struktúrát, melyben az okozó és a károsult oldalán egyaránt meghatároztuk a csalás kockázati szintjét, majd ezeket összevonva számítottuk ki az eset teljes kockázatát. Megállapítottuk, hogy a küszöbérték felett részletesebb vizsgálat szükséges képzett kárszakértő részéről. Összességében elmondható, hogy az általunk létrehozott rendszer alkalmas lehet az esetek kiválogatására, a szakértelem fókuszálásával pedig a csalásgyanús esetek alaposabb áttekintése által hatékonyabbá tehető a kártérítési folyamat. A közlemény első része a biztosítási csalásokhoz kapcsolódó kutatások sajátosságait, valamint az esetek jellemzőit ismerteti.

Kulcsszavak: biztosítási csalás, mesterséges intelligencia, fuzzy logika

Abstract

Insurance fraud, characterized by false or exaggerated claims, is a significant economic crime worldwide, undermining the trust between insurance companies and their customers. Detecting such fraud is crucial. This study introduces a decision support system for the early identification of suspicious claims in the compulsory motor liability insurance market. We used real claim data involving two privately owned passenger cars in cases where no personal injury occurred. Based on this, we developed a hierarchical fuzzy structure to assess the fraud risk for both parties involved (the policyholder and the claimant), resulting in an overall case risk. The results indicate that only cases exceeding a certain threshold need to be further examined by qualified adjusters. This system enhances efficiency by enabling targeted reviews of potential fraud cases. The first part introduces the insurance fraud-related studies and the characteristics of the revealed fraudulent cases.

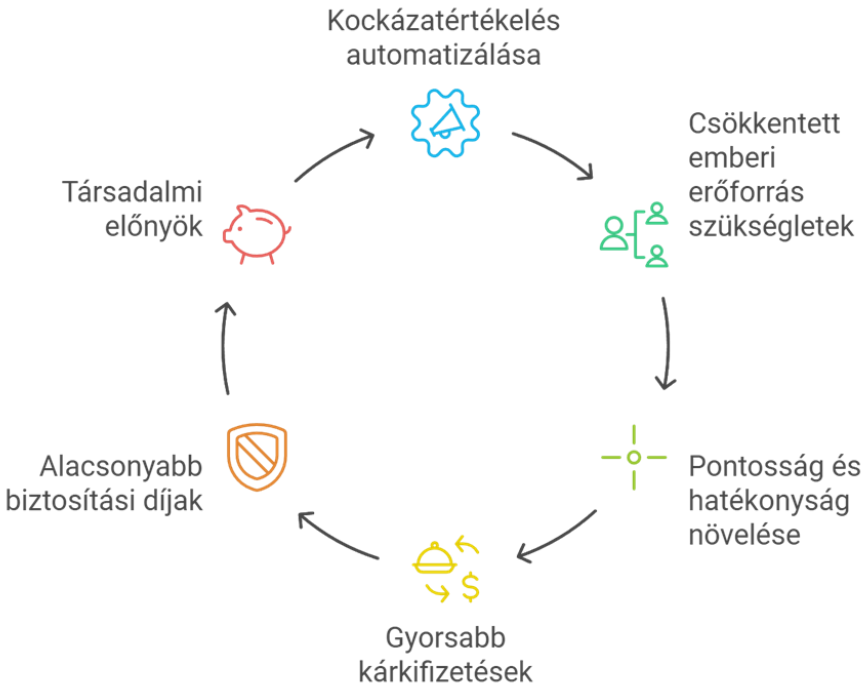
Keywords: insurance fraud, artificial intelligence, fuzzy logic

1. Bevezetés

A biztosítási csalások magas előfordulása és az általuk okozott financiális károk komoly problémát jelentenek a biztosítótársaságok és ügyfeleik számára. Ez a probléma nemcsak a biztosítók nyereségességét veszélyeztetheti, hanem a társadalom egészét is, hiszen a csalások más tényezők mellett közvetlen hatással vannak a biztosítási díjak alakulására, és bizalmatlanságot kelthetnek az ügyfelek körében. A mesterséges intelligencia gyors fejlődése lehetőséget kínál a biztosítóknak arra, hogy hatékonyabb módszerekkel lépjenek fel a csalások ellen.

A KSH adatai szerint Magyarországon évente 15-18 ezer közúti baleset történik, amelyek közül feltehetően 14%-a azaz nagyjából 2100-2500 olyan biztosítási csalás történik évente, amiket a biztosító társaságok nem küszöböltek ki. Az e-kárbejelentő rendszerek megjelenésével a kárbejelentési folyamatok egyszerűsödtek és felgyorsultak, azonban a digitális csatornák új lehetőségeket is nyitnak a csalók számára [1][2].

A mesterséges intelligencia alapú detektálás automatizálhatja és javíthatja a kockázatértékelési folyamatokat (lásd 1. ábra), csökkentve az emberi erőforrás szükségességét az egyértelmű káresemények esetében, ezáltal növelve a pontosságot és a hatékonyságot a kevésbé egyértelmű csalárd eseteknél.



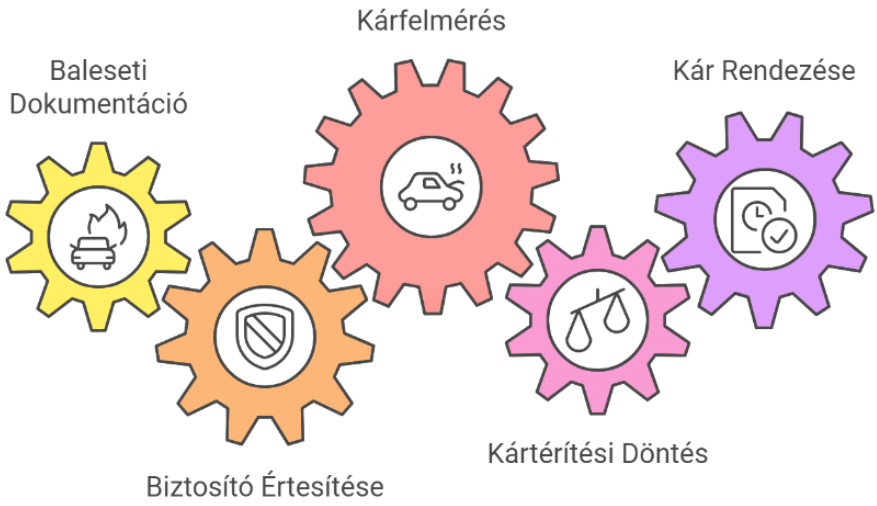
1. ábra Hatékony biztosítási kárrendezés ideális ciklusa

A folyamat felgyorsulása azt is jelenti, hogy a kifizetésre jogosultak hamarabb jutnak az őket illető összeghez úgy, hogy a biztosítási díjak kisebb mértékben emelkednek a biztosítók csökkent kiadásainak hatására.

Összegezve a téma napjainkban egyre fontosabb, mivel a biztosítási csalások elleni küzdelem nemcsak a biztosítók, hanem az ügyfelek és a társadalom közös érdeke is. A kutatás motivációja az,

hogy bemutassuk, hogyan alkalmazhatóak a mesterséges intelligencia nyújtotta technológiák ezen a területen, ezzel segítve a biztosítási rendszer gördülékeny működését.

Hazánkban a KGFB-hez (Kötelező Gépjármű Felelősség Biztosításhoz) kapcsolódó kárrendezési folyamat a 2. ábrán látható lépésekből áll.



2. ábra Kárrendezés folyamata Magyarországon

Gyorsabb ügyintézés, az online bejelentés a legtöbb biztosító esetében jelentősen felgyorsítja a folyamatot, mert az adatokat automatikusan továbbítják a rendszerbe, minimalizálva az emberi hiba lehetőségét.

A digitális csatornák használatával azonban új biztonsági kérdések is felmerülnek, például az adatvédelem és a digitális csalások elleni védelem szükségessége. Az e-kárbejelentő rendszerek adatainak helytelen kezelése vagy hamis bejelentések könnyen vezethetnek csalási esetekhez, ezért a biztosítók egyre több erőforrást fordítanak a mesterséges intelligencia alapú csalásfelderítési módszerek fejlesztésére.

A környező országok kárbejelentési rendszerei hasonlóan működnek a magyarországiakhoz, azonban országonként eltérhetnek a digitalizáció mértékében, a kárbejelentési folyamat automatizáltságában, a biztosítási rendszer berendezkedésében és a csalások kiszűrésének módszereiben.

A biztosítási csalás detektálása bináris osztályozási vagy többszörös osztályozási problémaként is kezelhető. Számos kutató alkalmazott gépi tanulási modelleket az autós biztosítási csalások detektálására, és hasznos eredményeket értek el. Viaene és társai [4], Kašćelan és társai [5], valamint Li és társai [6] a Bayes-i modellezés, klaszterelemzés, adatbányászat és véletlen erdő teljesítményét vizsgálták a gépjármű biztosítási csalás detektálásában. David és társai [7] a biztosítotti életkor változásának elemzésével a családra viselkedés magas kockázatú populációjának jellemzőit és tulajdonságait tárta fel. He és társai [8], Guo és társai [9] és Wang és társai [10] tovább kutatták a mélytanulási modellek potenciálját a csalás detektálásában. Subudhi és társai [11] és Majhi és társai [12] hibrid modelleket építettek, amelyek hatékonyan képesek detektálni a gépjármű biztosítási csalásokat. Tuo és társai [13] és Liu és társai [14] a biztosítási csalásokat játékelméleti megközelítésből vizsgálták Kínában. Zhao és társai [15], Tang és társai [16] és Wang és társai [17]

szintén gépi tanulási módszereket alkalmaztak a biztosítási csalás gyanús viselkedés modellezésére a kínai gépjármű biztosítási piac adatai alapján. Csak nemrégiben kezdtek el Yan és társai [18][19], Yu és társai [20] és Yang és társai [21] mélytanulási modellek és kevert modellek alkalmazásával biztosítási csalási problémákat elemezni, és előrehaladást értek el az autós biztosítási csalás detektálása terén.

Kiemelendő továbbá, hogy a csalásfelderítő rendszerek esetén nem elég a teljesítmény vizsgálta, hanem szükséges a költséghatékonyság elemzése is a hosszútávú fenntarthatóság érdekében. Ez a megközelítés számos egyéb tudományterületen is kiemelt kutatási terület, különösen az egészségügyben [22][23]. Ezen felül Benedek és Nagy [24] egy költségalapú összehasonlítást mutat be, arra a következtetésre jutva, hogy a vizsgált hagyományos és Mesterséges intelligencia alapú rendszerek között nem mutatható ki egyértelműen az MI jobb teljesítménye.

Sajnos azonban Magyarországon nincs hatékony, mesterséges intelligencián alapuló „jó módszer" a biztosítási csalások kiszűrésére [24]. Kijelenthető, hogy a fuzzy alapú döntéstámogató rendszerek a csalásdetektálás területén biztató eredményeket nyújthatnak. Ennek a módszertannak a vizsgálatát mutatja be Váradi és társai [25][26], ahol már egy elméleti döntéstámogató rendszer megalkotása is megjelenik [27]. Mindezek alapján megállapítható, hogy a gépjármű biztosítási csalások feltárása és kiszűrése fontos feladat mind hazai, mind nemzetközi szinten.

Jelen tanulmány keretein belül egy hierarchikus felépítésű, többlépcsős fuzzy fa kerül bemutatásra, mely alkalmas a kárigények csalás gyanús jellegének kockázatáak előrejelzésére. A rendszer valós esetek alapján került megalkotásra. Egyszerűen meghatározható változók segítségével vizsgálja a balesetben érintett személyek és járművek kapcsán tapasztalható kockázat meghatározására, melyet okozói és károsulti oldalunk egyaránt vizsgálunk. Végezetül a kárigénylési folyamat teljes kockázati szintje kerül meghatározásra, mely utal az eset rizikójára is. A létrehozott fuzzy fa kifejezetten alkalmas a biztosító oldaláról szükséges emberi erőforrások és szakértelem optimális elosztására, így elősegítheti a kárrendezési eljárás felgyorsulását.

Köszönetnyyilánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium 2024-2.1.1 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

2. Hivatkozások

[1] https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_evkozi/e_feb002.html (Megtekintve: 2024. október 12.)

[2] https://www.autoklub.hu/klub/hirek/baleseti-statisztikak/ (Megtekintve: 2024. október 12.)

[3] https://www.insurancefraud.org (Megtekintve: 2024. október 14.)

[4] Viaene, S., Dedene, G., Derrig, R.A. (2005). Auto claim fraud detection using Bayesian learning neural networks. Expert Systems with Applications 29(3), 653-666 https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.04.030

[5] Kašćelan, L., Kašćelan, V., & Novović-Burić, M. (2016). A data mining approach for risk assessment in car insurance: evidence from Montenegro. In Big Data: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications (pp. 2028-2046). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9840-6.ch094

[6] Li, Y., Yan, C., Liu, W., & Li, M. (2018). A principle component analysis-based random forest with the potential nearest neighbor method for automobile insurance fraud identification. Applied Soft Computing, 70, 1000-1009. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.07.027

[7] David, M., & Jemna, D. V. (2015). Modeling the frequency of auto insurance claims by means of poisson and negative binomial models. Analele stiintifice ale Universitatii "Al. I. Cuza" din Iasi. Stiinte economice/Scientific Annals of the "Alexandru Ioan Cuza" University of Iași Economic Sciences 62 (2), 2015, 151-168 https://doi.org/10.1515/aicue -2015-0011

[8] He, X., & Chua, T. S. (2017, August). Neural factorization machines for sparse predictive analytics. In Proceedings of the 40th International ACM SIGIR conference on Research and Development in Information Retrieval (pp. 355-364). https://doi.org/10.1145/3077136.3080777

[9] Guo, J., Liu, G., Zuo, Y., Wu, J. (2018, November) Learning sequential behavior representations for fraud detection. In 2018 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM), pp. 127-136 https://doi.org/10.1109/ICDM.2018.00028

[10] Wang, Y., & Xu, W. (2018). Leveraging deep learning with LDA-based text analytics to detect automobile insurance fraud. Decision Support Systems, 105, 87-95. https://doi.org/10.1016/j.dss.2017.11.001

[11] Subudhi, S., & Panigrahi, S. (2020). Use of optimized Fuzzy C-Means clustering and supervised classifiers for automobile insurance fraud detection. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 32(5), 568-575. https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2017.09.010

[12] Majhi, S. K. (2021). Fuzzy clustering algorithm based on modified whale optimization algorithm for automobile insurance fraud detection. Evolutionary Intelligence, 14(1), 35-46.
https://doi.org/10.1007/s12065-019-00260-3

[13] Tuo, G., Duan, J. (1999). Game Theory Analysis of Insurance Fraud. Journal of Capital University of Economics and Business (3), 51-54.

[14] Liu, X., & Jin, J. (2004). The Insurance Fraud Game and Insurance Contract Based on Optimal Game Strategies. Systems Engineering—Theory & Practice, 24(2), 19-24.

[15] Zhao, G., & Wu, H. (2010). Is There Moral Hazard in Chinese Automobile Insurance Market?—Evidence from Dynamic Renewal Policies. Journal of Financial Research, 6, 175-188.

[16] Tang, J., & Mo, Y. (2013). Construction of auto insurance anti-fraud system based on data mining technology. Shanghai insurance, 11, 39-42.

[17] Wang, H. (2016). A Research on Chinese Insurers' Moral Hazard Screening in Operation: From the Big Data Hadoop Clustering Analysis Technology Perspective. Insurance Studies, 2, 59-67.

[18] Yan, C., Li, Y., & Sun, H. (2017). A Research on Automobile Insurance Fraud Identification Based on Random Forest Model and Ant Colony Optimization Algorithm. Insurance Studies, 6, 114-127.

[19] Yan, C., Li, M., & Zhou, X. (2019). Improved genetic algorithm for vehicle insurance fraud identification model based on BP neural network. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 38(5), 72-80.

[20] Yu, W., Feng, G. F., & Zhang, W. J. (2017). Research on fraud detection system and gang identification of motor vehicle insurance. Insurance Research, 2017(2), 63-73.

[21] Yang, J., Chen, K., Ding, K., Na, C., & Wang, M. (2023). Auto insurance fraud detection with multimodal learning. Data Intelligence, 5(2), 388-412. https://doi.org/10.1162/dint_a_00191

[22] Lee, A., Taylor, P., Kalpathy-Cramer, J., & Tufail, A. (2017). Machine learning has arrived!. Ophthalmology, 124(12), 1726-1728. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.08.046

[23] Hill, N. R., Sandler, B., Mokgokong, R., Lister, S., Ward, T., Boyce, R., ... & Gordon, J. (2020). Cost-effectiveness of targeted screening for the identification of patients with atrial fibrillation: evaluation of a machine learning risk prediction algorithm. Journal of medical economics, 23(4), 386-393. https://doi.org/10.1080/13696998.2019.1706543

[24] Benedek, B., Nagy, B. Hagyományos versus MI-alapú csalásfelderítés: Költséghatékonyság a gépjármű-biztosítások területén. HITELINTÉZETI SZEMLE, 77. https://doi.org/10.25201/HSZ.22.2.77

[25] Váradi, P., Lukács, J., & Horváth, R. (2023, May). Examination of vehicle fraud detection possibilities with the help of Fuzzy inference system. In 2023 IEEE 17th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI) (pp. 000353-000358). IEEE. https://doi.org/10.1109/SACI58269.2023.10158631

[26] Váradi, P., Lukács, J., & Horváth, R. (2024, April). Response Surface Methodology to Characterize the Indicators for the Early Detection of Fraudulent Cases in the Motor Insurance Market. In 2024 IEEE 11th International Conference on Computational Cybernetics and Cyber-Medical Systems (ICCC) (pp. 000201-000204). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICCC62278.2024.10582971

[27] Váradi, P., Lukács, J., & Horváth, R. (2024). Elméleti fuzzy következtetési rendszer a csalásgyanús esetek korai felismerésére a gépjármű-biztosítási ágazatban. Közlekedéstudományi Szemle, 74(5), 31-43. https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.5.3

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Mesterséges intelligencia alapú döntéstámogató rendszer fejlesztése gépjármű biztosítási csalások feltárásához – 2. rész

AI-based desicion support system for vehicle insurance fraud detection – Part II.

[1]Varga Viktória Annamária, [2]Váradi Péter, [3]Lukács Judit

[1] Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, varga.viktoria16@stud.uni-obuda.hu
[2] Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország, varadi.peter@phd.uni-obuda.hu
[3] Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, lukacs.judit@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A biztosítási csalások világszerte ismert gazdasági bűncselekménynek számítanak. Súlyos károkat okoznak, valamint a biztosító társaságok és ügyfeleik közötti bizalmat is rombolják. Jelen publikáció keretén belül egy olyan döntéstámogató rendszert mutatunk be, mely alkalmas lehet a gyanús esetek kiválogatására a kötelező gépjármű felelősségbiztosítási piacon már a kivizsgálás igen korai szakaszában. Ennek megvalósítására valós kártérítési esetek adatait alkalmaztuk. Létrehoztunk egy hierarchikus fuzzy struktúrát, melyben az okozó és a károsult oldalán egyaránt meghatároztuk a csalás kockázati szintjét, majd ezeket összevonva számítottuk ki az eset teljes kockázatát. Megállapítottuk, hogy a küszöbérték felett részletesebb vizsgálat szükséges képzett kárszakértő részéről. Összességében elmondható, hogy az általunk létrehozott rendszer alkalmas lehet az esetek kiválogatására, a szakértelem fókuszálásával pedig a csalásgyanús esetek alaposabb áttekintése által hatékonyabbá tehető a kártérítési folyamat. A közlemény második részében az alkalmazott módszertan és annak adaptálása kerül bemutatásra.

Kulcsszavak: biztosítási csalás, mesterséges intelligencia, fuzzy logika

Abstract

Insurance fraud, characterized by false or exaggerated claims, is a significant economic crime worldwide, undermining the trust between insurance companies and their customers. Detecting such fraud is crucial. This study introduces a decision support system for the early identification of suspicious claims in the compulsory motor liability insurance market. We used real claim data involving two privately-owned passenger cars in cases where no personal injury occurred. Based on this, we developed a hierarchical fuzzy structure to assess the fraud risk for both parties involved (the policy holder and the claimant), resulting in an overall case risk. The results indicate that only cases exceeding a certain threshold need to be further examined by qualified adjusters. This system enhances efficiency by enabling targeted reviews of potential fraud cases. In the second part of the study, the applied methodology is introduced in details.

Keywords: insurance fraud, artificial intelligence, fuzzy logic

1. Bevezetés

A közlemény előző részében bemutatásra került a kötelező gépjármű felelősségbiztosítás kárbejelentési és kárrendezési folyamata Magyarországon. Továbbá ismertettük a a gépjármű biztosítási ágazatban tapasztalható csalárd esetek feltárására, észlelésére irányuló hazai és nemzetközi kutatások eredményeit.

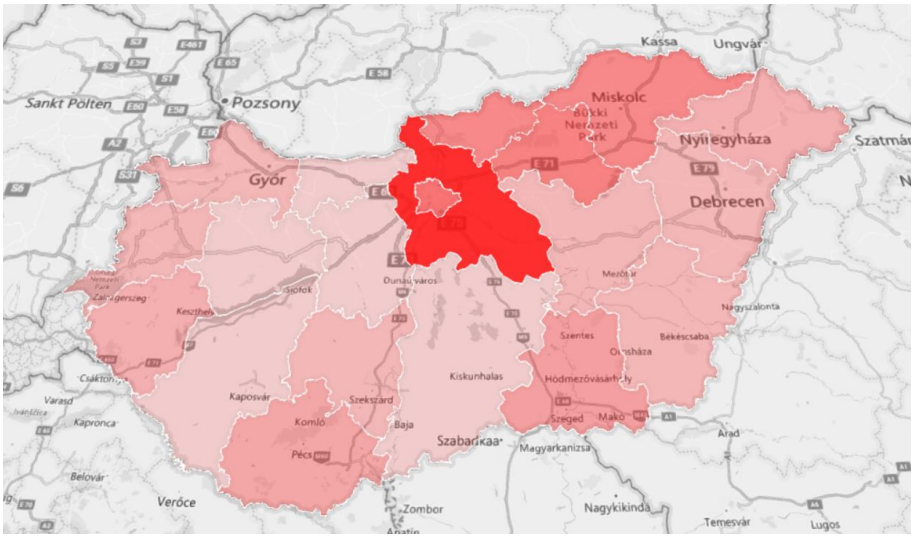
Végezetül megállapításra került, hogy Magyarországon nem érhető el hatékony csalás-feltárásra alkalmas módszertan [1], azonban zajlik az erre irányuló lehetőségek vizsgálata [2][3][4].

2. Anyagok és módszerek

A kutatás keretein belül elsődleges célunk a valós trendeket követő rendszer megalkotása volt, amely könnyen meghatározható tényezők alapján hatékony segítséget nyújthat a csalárd esetek kiszűrésére.

2.1 Felhasznált adatbázis

A fenti cél eléréséhez egy biztosító társaság által rendelkezésünkre bocsátott adatbázist használtunk. Ebben az elmúlt 10 évben bekövetkezett balesetek és az azokhoz kapcsolódó KGFB kárigénylések szerepeltek. Az adatbázis a GDPR előírásainak megfeleően tartalmazta az esetben érintett személyek és járművek adatai, illetve a biztosító gyanúját és döntését a biztosítási csalások tekintetében. A csalárd esetek mennyiségi előfordulását szemlélteti vármegyénként.



3. ábra A gépjármű biztosítási csalások területi eloszlása

A rendelkezésre álló adatbázis szerteágazó tulajdonságokkal rendelkező eseteket tartalmazott. Így szükség volt a vizsgálati kritériumok pontosítására. A kutatás során a peremfeltételek meghatározása az alábbiak szerint történt; azokat az eseteket vizsgáltuk, amelyekben:

- két személygépjármű volt érintett,
- ezek tulajdonosai természetes személyek,

- illetve nem történt személyi sérülés.

A szűrést követően közel 4000 esetet kaptunk, amelyeknél meghatározásra került az érintett járművek (okozó és károsult) a baleset pillanatában aktuális Eurotax értéke.

A modellezési folyamatot az így kapott közel 4000 eset figyelembevételével hajtottuk végre Matlab környezetben.

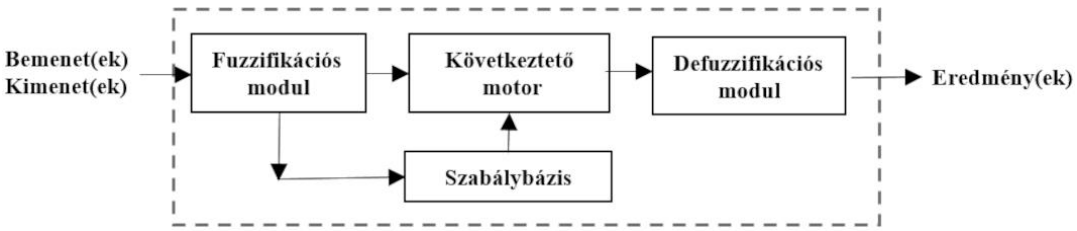
2.2 Alkalmazott módszer

A számítási paradigma tekintetében az alkalmazott módszerek két, döntően eltérő módon működő osztályba sorolhatók: a kemény- (hard computing) és a lágyszámítási (soft computing) eljárások közé. A hagyományos számítástechnika alapvetően a hard módszereken alapul; ezek alapja a precizitás, bizonyosság, merevség. A rugalmatlanságot, bizonytalanságot ezen eljárások teljes mértékben mellőzik. A problémák leírására precíz matematikai modelleket alkalmaznak, melyet tovább osztályoznak szimbolikus logikára és érvelésre, valamint hagyományos numerikus modellezési és keresési algoritmusokra. A valós életben előforduló, egzakt módon nehezen jellemezhető, (legalább részben) pontatlan problémák leírása azonban nehezen kivitelezhető, aránytalanul sok időt igényel e módszerek esetén [5].

Ezzel szemben, a lágyszámítás a közelítő modellek világát jelenti. Ebben az esetben is vannak természetesen további kategóriák: közelítő következtetés, funkcionális optimalizálás és véletlen keresés. A soft módszerek nagy előnye, hogy jól illeszkednek a valós problémákra; a pontatlanságot, bizonytalanságot kezelni képesek. Ez minden iparágban, az üzleti életben, a tudomány számos területén jól alkalmazhatóvá teszi, legyen szó akár műszaki [6] vagy gazdasági ágazatról [7], időjárás [8] vagy döntés/viselkedés előrejelzéséről [9].

A mesterséges intelligencia szerteágazó módszerek gyűjteménye. Ennek fontos részét képezik a tudás alapú rendszerek. A fuzzy logika bevezetése Zadeh nevéhez fűződik. Maga, a fuzzy következtetés kifejezetten alkalmas az emberi gondolkodásmód jellemzésére, ugyanis a kétértékű logika (igen-nem/fekete-fehér) helyett a megfelelőség mértékét figyeli. Így nem az a kérdés, jó-e egy adott megoldás, hanem az, hogy mennyire. Ennek megvalósítására jelenik meg benne a tagsági függvény, amely a jóság jellemzésére alkalmas egy 0 (teljesen rossz) és 1 (tökéletesen jó) közötti skálán. Így válik lehetővé a részleges igazság figyelembevétele, illetve a nyelvi jellegű változók használata (pl.: „kicsi”, „közepes”, „nagy” stb.).

A fuzzy következtető rendszer négy alapvető elemből épül fel, ezt szemlélteti a 2. ábra.

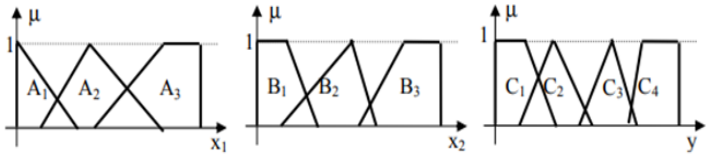


4. ábra Fuzzy következtető rendszer felépítése [11][12] alapján

Az illeszkedés mértékét befolyásoló egységben határozzuk meg a tagsági függvényeket (a fuzzy halmazokat. A szabálybázis tartalmazza az eddigi felhalmozott szakértői tudást, HA… AKKOR… (IF…THEN…) formában. A következtető motor hajtja végre az éppen aktív, tüzelő szabályok összevonását. Végül a defuzzifikáció segítségével kapunk az eredményhalmazból egy konkrét értéket [13]. A rendszer a központi része következtető motor.

A Mamdani-típusú következtetés [14] az alábbi módon működik:

Az alapgondolata, hogy minél nagyobb egy feltételnek megfelelősége a bemeneti oldalon (minél „igazabb”), annál jelentősebben figyelembe kell venni az eredmény oldalon a kimenetben. Ha például veszünk egy egyszerű, két bemenettel és egy kimenettel rendelkező rendszert, ahol a bemenetek 3, míg a kimenet 4 lehetséges szinttel rendelkezik, akkor a rendszer alaphalmazainak egy lehetséges felosztása lehet az alábbi



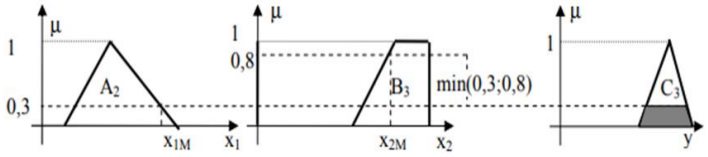
3. ábra Példa a rendszer felosztására

Egy tetszőleges, méréssel meghatározott értékpár esetén, melyek x_{1M} és x_{2M}, két szabály aktiválódik, ugyanis ezek az értékek több részhalmazba is tartozhatnak, különböző mértékben:

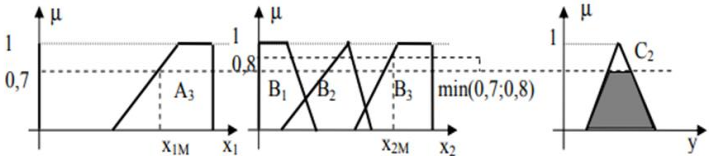
R_1: IF $x_1 = A_2$ AND $x_2 = B_3$ THEN $y = C_3$

R_2: IF $x_1 = A_3$ AND $x_2 = B_3$ THEN $y = C_2$

Itt külön-külön megnézzük a szabályok erősségét:

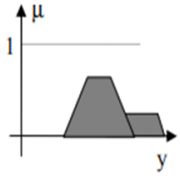


4. ábra R1 szabály működése



5. ábra R2 szabály működése

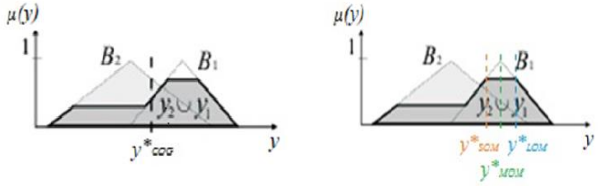
A két szabály együttesen aktiválódik, így a részeredményeket össze kell vonni. Így kapjuk meg az összesített eredményhalmazt (lásd 6. ábra).



6. ábra Összevont fuzzy kimenet

Ez azonban egy látszólag nehezen kezelhető eredmény, így szükség van a defuzzifikációra, hogy egy egyértelmű, konkrét helyettesítő értéket kaphassunk. A defuzzifikáció többféle módszerrek történhet:

- centroid módszer: a súlypontba határozza meg a kimenetet (lásd 7. ábra a. rész)
- biszektor: a görbe alatti terület felezővonalát adja eredményként,
- maxima módszerek: a legmagasabb tagsági értékű szakaszt vizsgálják (lásd 7. ábra b. rész)
  - Smallest of Maxima (SOM) a legkisebb,
  - Middle of Maxima (MOM) a középső,
  - Largest of Maxima (LOM) a legnagyobb értéket adja a maximális tagsági érték szakaszán.



a. *b.*

7. ábra Defuzzifikációs módszerek

Általánosan jól működő módszer nincs, a megfelelő eljárás kiválasztása mindig az adott probléma figyelembevételével lehetséges.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium 2024-2.1.1 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

3. Hivatkozások

[1] Benedek, B., Nagy, B. Hagyományos versus MI-alapú csalásfelderítés: Költséghatékonyság a gépjármű-biztosítások területén. HITELINTÉZETI SZEMLE, 77. https://doi.org/10.25201/HSZ.22.2.77

[2] Váradi, P., Lukács, J., & Horváth, R. (2023, May). Examination of vehicle fraud detection possibilities with the help of Fuzzy inference system. In 2023 IEEE 17th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI) (pp. 000353-000358). IEEE. https://doi.org/10.1109/SACI58269.2023.10158631

[3] Váradi, P., Lukács, J., & Horváth, R. (2024, April). Response Surface Methodology to Characterize the Indicators for the Early Detection of Fraudulent Cases in the Motor Insurance Market. In 2024 IEEE 11th International Conference on Computational Cybernetics and Cyber-Medical Systems (ICCC) (pp. 000201-000204). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICCC62278.2024.10582971

[4] Váradi, P., Lukács, J., & Horváth, R. (2024). Elméleti fuzzy következtetési rendszer a csalásgyanús esetek korai felismerésére a gépjármű-biztosítási ágazatban. Közlekedéstudományi Szemle, 74(5), 31-43. https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.5.3

[5] Chaturvedi, D. K. (2008). Soft computing. Studies in Computational intelligence, 103, 509-612.

[6] Tóth-Laufer, E., Horváth, R. (2017). Fuzzy model based surface roughness prediction of fine turning. FME Transactions, 45(1), 181-188. https://doi.org/10.5937/fmet1701181T

[7] Singh, A. K., & Parida, P. (2013). Soft computing in financial decision making. Global Journal of Management and Business Studies, 3(2), 103-110.

[8] Cadenas, J. M., Garrido, M. C., Martínez-España, R., & Guillén-Navarro, M. A. (2020). Making decisions for frost prediction in agricultural crops in a soft computing framework. Computers and Electronics in Agriculture, 175, 105587. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105587

[9] Forgács, A., Lukács, J., & Horváth, R. (2021). The Investigation of the Applicability of Fuzzy Rule-based Systems to Predict Economic Decision-Making. Acta Polytechnica Hungarica, 18(11). https://doi.org/10.12700/APH.18.11.2021.11.6

[10] Zadeh, L. A. (1965). Information and control. Fuzzy sets, 8(3), 338-353.

[11] Kóczy, L. T., Tikk, D. (2000). Fuzzy rendszerek. TypoTEX, Budapest.

[12] Yager, R. R., Filev, D. P. (1994). Essentials of fuzzy modeling and control. New York, 388.

[13] Johanyák, Cs. Zs. (2004) Fuzzy következtetési módszerek. Főiskolák Matematika, Fizika és Számítástechnika Oktatóinak XXVIII. Országos Konferenciája

[14] Mamdani, E. H. (1974, december). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. In Proceedings of the institution of electrical engineers (Vol. 121, No. 12, pp. 1585-1588). IET https://doi.org/10.1049/piee.1974.0328

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Mesterséges intelligencia alapú döntéstámogató rendszer fejlesztése gépjármű biztosítási csalások feltárásához – 3. rész

AI-based desicion support system for vehicle insurance fraud detection – Part III.

[1]Matyasovszki Márton Gábor, [2]Váradi Péter, [3]Lukács Judit

[1] Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, wmpc0r@stud.uni-obuda.hu
[2] Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország, varadi.peter@phd.uni-obuda.hu
[3] Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, lukacs.judit@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A biztosítási csalások világszerte ismert gazdasági bűncselekménynek számítanak. Súlyos károkat okoznak, valamint a biztosító társaságok és ügyfeleik közötti bizalmat is rombolják. Jelen publikáció keretén belül egy olyan döntéstámogató rendszert mutatunk be, mely alkalmas lehet a gyanús esetek kiválogatására a kötelező gépjármű felelősségbiztosítási piacon már a kivizsgálás igen korai szakaszában. Ennek megvalósítására valós kártérítési esetek adatait alkalmaztuk. Létrehoztunk egy hierarchikus fuzzy struktúrát, melyben az okozó és a károsult oldalán egyaránt meghatároztuk a csalás kockázati szintjét, majd ezeket összevonva számítottuk ki az eset teljes kockázatát. Megállapítottuk, hogy a küszöbérték felett részletesebb vizsgálat szükséges képzett kárszakértő részéről. Összességében elmondható, hogy az általunk létrehozott rendszer alkalmas lehet az esetek kiválogatására, a szakértelem fókuszálásával pedig a csalásgyanús esetek alaposabb áttekintése által hatékonyabbá tehető a kártérítési folyamat. A közlemény harmadik része a megalkotott rendszert ismerteti.

Kulcsszavak: biztosítási csalás, mesterséges intelligencia, fuzzy logika

Abstract

Insurance fraud, characterized by false or exaggerated claims, is a significant economic crime worldwide, undermining the trust between insurance companies and their customers. Detecting such fraud is crucial. This study introduces a decision support system for the early identification of suspicious claims in the compulsory motor liability insurance market. We used real claim data involving two privately owned passenger cars in cases where no personal injury occurred. Based on this, we developed a hierarchical fuzzy structure to assess the fraud risk for both parties involved (the policyholder and the claimant), resulting in an overall case risk. The results indicate that only cases exceeding a certain threshold need to be further examined by qualified adjusters. This system enhances efficiency by enabling targeted reviews of potential fraud cases. The third part represents the created decision-support system.

Keywords: insurance fraud, artificial intelligence, fuzzy logic

1. Bevezetés

A közlemény előző részeiben ismertettük a magyarországi és nemzetközi helyzetet a gépjármű biztosítási ágazatban tapasztalt csalásgyanús esetek kapcsán.

Ezt követően bemutatásra került a rendelkezésre álló adatbázis és a fuzzy logika. Megállapítottuk, hogy ez a módszertan kifejezetten alkalmas az emberi gondolkodásmód reprezentálására [1]. Ezen felül, a Mamdani-típusú következtetés [2] jól használható szakértői tudás alapú rendszerek megalkotásához.

2. Adaptálás

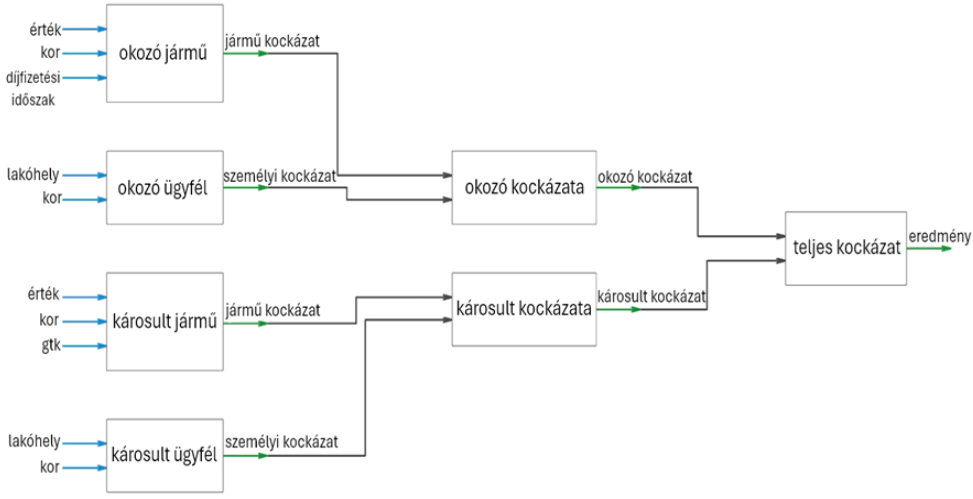
Az adaptálás során egy olyan szabály-alapú döntési modellt építettünk, amely képes a biztosítási csalások azonosítására és a különböző kockázati tényezők elemzésére. A modell kockázati besorolások alapján előrejelzést nyújt a csalásgyanús kárigényekkel kapcsolatban.

A feladat megoldása során elsődlegesen az volt a cél, hogy a rendszer rugalmasságát és gyorsaságát megőrizzük. Ehhez szem előtt kellett tartani a szabálybázis strukturális kialakítását. Ugyanis számos bemeneti paramétert kellene figyelembe venni, melyek esetén a potenciális paraméterkombinációk száma jelentősen növekszik. Ez a szabálybázis méretének növekedését eredményezi, ami gyakorlatilag igen jelentős mértékű számítási kapacitás növekedést eredményezne.

Emiatt egyszerűbb következtető rendszerek hierarchikus összekapcsolása által létrehozható fuzzy fa kialakítása mellett döntöttünk, mely lehetővé teszi sok bemeneti független változó esetén is a szabálybázis méretének kordában tartását.

2.1 Fa struktúra bemutatása

A hierarchikus struktúra (lásd 1. ábra) első szintjén a független bemeneti paraméterek találhatók, a további szinteken pedig ezek részletesebb csoportosítása és a kapcsolódó kockázati szintek megállapítása és összegzése történik.



1. ábra A modell struktúrája

2.2 Bemeneti paraméterek

Az első szinten a káresetben érintett ügyfelek és járművek tulajdonságai szerepelnek. Ezeket két fő csoportra osztottuk: tárgyi (gépjárműhöz kapcsolódó) és személyi tényezők. Az 1. táblázat tartalmazza a modellben felhasznált mennyiségi változók szintjeinek jellemző értékeit és megnevezéseit. Melyeket okozói és károlsult oldalon egyaránt vizsgáltunk.

1. táblázat Független változók és nyelvi leírásuk

Tárgyi paraméterek		**Személyi paraméterek**	
***Jármű életkora*, év**	**Nyelvi változó**	***Születési év***	**Nyelvi változó**
0-2	új	-1964	Baby Boomer
3-7	fiatal	1965-1980	X generáció
8-14	közepesen idős	1981-1995	Y generáció
15+	régi	1996-	Z generáció
***Jármű értéke*, Ft**	**Nyelvi változó**	***Lakosság*, fő**	**Nyelvi változó**
1-500 000	nagyon alacsony	1-20 000	község-kisváros
500 001-1 600 000	alacsony	20 001-100 000	középváros
1 600 000-3 000 000	közepes	100 001-1 000 000	nagyváros
3 000 000+	drága	1 000 000+	metropolisz

Ezeken felül további két, minőségi változót is beépítettünk a modellbe: az okozó oldali tárgyi kockázatnál megjelenik a biztosítási szerződés *díjfizetési időszaka*, mely lehet negyedéves, féléves vagy éves bontású, illetve károsulti oldalon a *gazdasági totálkár* (GTK) bekövetkezésének ténye (igen, nem).

2.3 Szabálybázis létrehozása

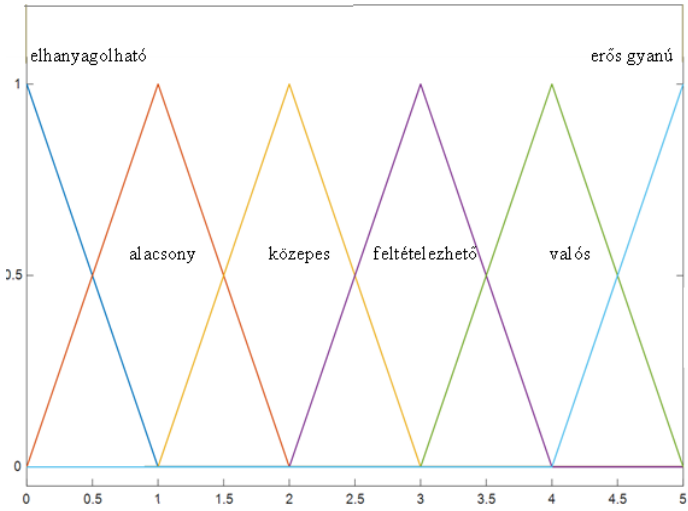
A fuzzy következtető rendszer döntési alapját a szabálybázis adja, amely a kockázatok különböző szintekre történő besorolásáért felel. A fuzzy fa első szintjének kimeneti oldalán meghatároztuk okozói és károsulti oldalon a tárgyi, valamint a személyi kockázatot. Ezek partíciója

6 különböző szintet tartalmazott: elhanyagolható, alacsony, közepes, feltételezhető, valós és erős gyanú. A besorolás alapján az adott paraméterkombináció esetén az adatbázis alapján tapasztalt biztosítási csalás előfordulási aránya alapján határoztuk meg.

A fuzzy fa következő szintjén oldalanként összevonásra került a tárgyi és személyi kockázatok értéke. A szabálybázisban almalmazott összefüggéseket a 2. táblázat alapján adtuk meg, ahol az egyes színek az 2. ábrán látható tagsági függvényekre utalnak. Itt a részkimenet egy 0…5 közé eső kockázati szint érték.

2. táblázat Okozói kockázat szabálybázisa

Okozói kockázat		Tárgyi kockázat					
		elhanyagolható	alacsony	közepes	feltételezhető	valós	erős gyanú
Személyi kockázat	elhanyagolható						
	alacsony						
	közepes						
	feltételezhető						
	valós						
	erős gyanú						



2. ábra Tagsági függvények

Végezetül, a rendszer harmadik szintjén történt az okozó és károsult oldai kockázatok összevonása, mely az adott kárigényhez tartozó teljes kockázati szintet adta, szintén 0…5 közé eső skálán. A magasabb kockázati szint erőteljesebb csalásgyanút jelent. Az alkalmazott összefüggéseket a 3. táblázat tartalmazza. A partíció elemei és szintjei szintén az 2. ábra szerint kerültek megadásra.

3. táblázat Teljes kockázat szabálybázisa

Teljes kockázat		Károsult kockázata					
		elhanyagolható	alacsony	közepes	feltételezhető	valós	erős gyanú
Okozó kockázata	elhanyagolható						
	alacsony						
	közepes						
	feltételezhető						
	valós						
	erős gyanú						

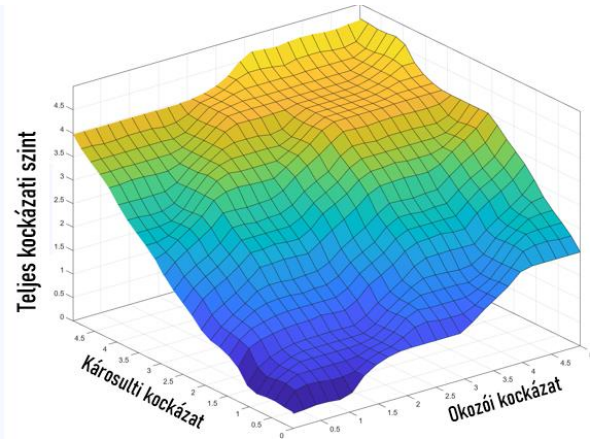
2.4 Defuzzifikációs módszer

A fuzzy logikai rendszerek esetében a defuzzifikáció egy lényeges lépés, amely során a fuzzy halmazokat éles, crisp értékekké alakítjuk [3]. Ennek célja, hogy a rendszer által számított kockázati szint egyszerűen értelmezhető legyen. Mi két defuzzifikációs módszert, a LOM (Last of Maxima) és a centroid (Center of Gravity) módszereket teszteltük.

3. Eredmények

Matematikai modell pontosságának, meggfelelőségének vizsgálatát a létrehozásához használt adatbázison felhasználásával hajtottuk végre. Mind a 4000 eset vonatkozásában meghatároztuk a létrehozott fuzzy fa átla számított teljes kockázati szint értékét. Emellett külön elvégeztük a kalkulációkat a centroid és a LOM defuzzifikációs technikák alkalmazásával. Ezeket az értékeket összehasonlítottuk a biztosító csalásra utaló döntésével.

Arra a következtetésre jutottunk, hogy a centroid eljárás nagyobb pontosságot eredményez, így a további elemzéseket ennél a módszernél hajtottuk végre. A teljes kockázati szintet ábrázolja a 3. ábra az okozói és a károsulti kockázat függvényében, ahol az alacsonyabb értékek kékkel, a magasabbak sárágával vannak jelölve.



3. ábra Teljes kockázati szint alakulása

Az összehasonlítások során a küszöbértéket 2 értékű teljes kockázatban határoztuk meg az alábbiak szerint: ezen érték alatt a csalás gyanúja kellően alacsonynak tekinthető, nincs szükség az eset részletesebb vizsgálatára. Azonban a 2…5 közé eső értékek fokozatosan ugyan, de egyre

magasabb rizikót jelentenek, itt részletes, átfogó vizsgálatokra van szükség a csalás gyanújának megerősítésére vagy annak eloszlatására.

Az elemzések alapján, és a 2, mint küszöbérték alkalmazása mellett, a modell 72%-os egyezést mutatott a biztosító által hozott döntésekkel. Ez azt jelenti, hogy közel 2900 esetben hatékonyan sikerült az alacsony kockázatú esetek kiválasztása. Mindez lehetőséget nyújt az erőforrások hatékony átcsoportosítására, így kiemelt fókusz mellett kezelhető a fennmaradó, magasabb kockázatú kárigények csoportja. Mindez elősegítheti a hatékoynabb csalásdetektálást, továbbá az erőforrások átcsoportosításával az ügyintézés gyorsulhat, így csökkenthető a kárigények átfutási ideje.

4. Konklúzió

Jelen tanulmány keretein belül bemutatásra került egy három szintű fuzzy fa, melynek célja a gépjármű biztosítási csalások kiszűrése volt. A modellalkotás során az elmúlt 10 évből származó valós kárigényeket használtunk. Elkülönítve vizsgáltuk az okozói és a károsulti oldalon egyaránt az érintett szerződésekhez tartozó járművek és személyek hatását. Ezek összevont elemzésére Mamdani-típusú következtető rendszereket kapcsoltunk hierarchikus struktúrába. Végezetül meghatároztuk az egyes esetekhez tartozó teljes kockázati szintet, melyet a 0…5 skálán értelmeztünk.

Az eredmények alapján az alábbi következtetésekre jutottunk:

- Megállapítottuk, hogy a bemutatott 10 elemű fuzzy fa alkalmas a kárigények kockázati szintjének meghatározására.
- Kimutattuk, hogy a legjobb teljesítmény a centroid defuzzifikációs eljárás alkalmazása esetén érhető el.
- Kijelenthető, hogy a rendszer segítséget nyújthat a kárrendezési folyamat során az emberi erőforrások hatékony csoprotosítására.

Összességében tehát megállapítható, hogy a bemutatott modell egy hatékony eszköz lehet a gépjármű biztosítási csalások kiszűrésére, mely pénzt és időt takarít meg a biztosítótársaságoknak és gyorsabb, pontosabb ügyintézést biztosíthat a lakossági ügyfelek számára.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium 2024-2.1.1 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

5. Hivatkozások

[1] Zadeh, L. A. (1965). Information and control. Fuzzy sets, 8(3), 338-353.

[2] Mamdani, E. H. (1974, december). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. In Proceedings of the institution of electrical engineers (Vol. 121, No. 12, pp. 1585-1588). IET https://doi.org/10.1049/piee.1974.0328

[3] Yager, R. R., Filev, D. P. (1994). Essentials of fuzzy modeling and control. New York, 388.

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Mechanikus adapter fejlesztése nyomtatott áramköri lapok teszteléséhez

Development of a mechanical adapter for testing printed circuit boards

[1]Bakosné Diószegi Mónika, [2]Pelle György Tamás

[1]Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, dioszegi.monika@bgk.uni-obuda.hu
[2]Equip-test Kft., Vecsés, Magyarország, gyorgy.pelle@equip-test.com

Összefoglalás

A nyomtatott áramköri lapok iránti piaci igény növekedése, a gyártási kapacitás bővítése mellett elengedhetetlen a gyártás és a minőség biztosításának fejlesztése is, különös tekintettel a tesztelési folyamatokra. A tesztberendezések széleskörű használati lehetőségei, működésük, működtetésük, karbantartásuk költséghatékonysága, mind szempont a tervezésük során.

Az elektronikai fejlesztő- és gyártó cégek a gyártási folyamatukban szükségszerűen az előállított elektronikai eszközök tesztelését is el kell hogy végezzék. Így célként fogalmazódik meg a tesztelési műveletek optimalizálása. A projekt célja a nyomtatott áramkör (NYÁK) lapok teszteléséhez alkalmas befogó berendezés, a fixture továbbfejlesztése.

Kulcsszavak: PCB tesztberendezés, fixture, működtetés költséghatékonysága

Abstract

In addition to the increase in market demand for printed circuit boards and the expansion of production capacity, it is also essential to develop production and quality assurance, with particular attention to testing processes. The wide range of uses of test equipment, their operation, operation and maintenance cost-effectiveness are all aspects of the design.

Electronics development and manufacturing companies must necessarily test the produced electronic devices in their production process. Thus, the goal is to optimize testing operations. The goal of the project is to further develop a fixture, a clamping device suitable for testing printed circuit (PCB) boards.

Keywords: PCB test equipment, fixture, cost-effectiveness of operation

1. Bevezetés

A nyomtatott áramköri kártyák (Nyomtatott Áramköri Kártya, angolul Printed Circuit Board, PCB) nagy hozzáadott értéket képviselnek, magas az áruk. Többek közt az autóiparban, az orvostechnikában és a telekommunikációban használatosak. A PCB egy szigetelőlemez felületére vagy felületeire felvitt fémfóliából kialakított forrasztási pontok, és az ezeket összekötő vezető sávok hálózata. [1] Egy termék élete során a gyártás minden szintjén – így a PCB esetében is - a gazdasági szempontoktól a kész termék raklapra kerüléséig hangsúlyos szerepet kap a tesztelés.

1.1 PCB tesztelés

A PCB gyártási folyamata nem létezhet megfelelő minőségbiztosítás, illetve ellenőrzés nélkül. A tesztelési folyamat alapvető, egymást követő lépései a komponens teszt (ICT), a funkcionális teszt (FCT) és végül az End of line tesztek, amik a PCB teljes működésére kiterjedő vizsgálatát biztosítják.

Az ICT sok bemenetű és sok belső tároló elemet tartalmazó áramkörök teljes vizsgálatára képes, minden tesztelési pont egyidejű elérésével növeli a termelékenységet. A hiba egyszerűen, gyorsan kimutatható. A tesztelési eljárás hátránya, hogy a tűágy pontosan megfelel az alkatrészek elhelyezésének és a PCB rajznak, tehát minden gyártott paneltípushoz külön tűágyat (kit-et) kell készíteni. [2]

Ezt követi a funkcionális teszt (FCT). Itt történik meg annak vizsgálata, hogy tudja-e teljesíteni a munkadarab, amit a vevői követelményekben elvárnak tőle. Ide tartozik a terhelhetőség, a működés és annak tartományai, valamint a termék megbízhatósága. [3]

Forgalomban van olyan berendezés is, melyek képesek az ICT és FCT tesztelést is egy munkalépésben biztosítani. Teljesen automata üzemmódban működik, operátor nem dolgozik a gépen. Termékátálláskor automatikusan cseréli és tárolja a gépben található fixture kit-eket. A kitek cseréje egy betanított munkás által, segédeszközzel történik. [4 , 5]

End of line vizsgálatokkal zárul a tesztelési sorozat harmadik lépése. Teljes vizsgálatot végez, ami a működés és funkcióellátás együttes szempontjából is megtörténik.

A fent említett, egymásra épülő mindhárom féle tesztelési eljárást ugyanaz a befogó berendezés, más néven fixture biztosítja. A betéteket, teszteléshez szükséges elemeket cserélik benne az ellenőrzés specifikációja céljából.

2. Fixture tesztberendezés fejlesztése

A fixturrel szembeni elvárások sokfélék, mely a tesztelésben betöltött feladatukból adódik. Számtalan változatuk létezik a piacon. Csoportosításuk legcélszerűbben a működési elvük alapján lehetséges. Működési jellemzőit, körülményeit ez határozza meg a leginkább.

Ugyanakkor fontos megismernünk talán a legfőbb funkciójának részleteit is, a tesztpontok vizsgálatát elvégző tűfejeket, tűágyakat és azok működését.

Működésük és feladatuk feltárását követően lehet a befogó szerkezetet az elvárásoknak megfelelően fejleszteni.

2.1 A tesztelési folyamat bemutatása, tűágyas tesztelés igényei

A tűágyas tesztelés (ICT) tesztállomásainak alapját a tesztrendszerben található mérőkártyák és a tesztelendő áramkörhöz elkészített specifikus tűágy képezi. A rendszer működtetését egy vezérlő PC-n futó szoftver irányítja.

A funkcionális teszt az FCT. Végrehajtásához szükséges a tűágyas fixture, ami magába foglalja a tűfejeket is. [3] Egy meghatározott jelsorozattal mérik le az összes bemenetet. A jelsorozat szimulálja a leendő valós jeleket a használat során. [6]

Az End of line vizsgálat esetében a teszteléssel szemben támasztott követelmények széles skálája jelenhet meg, mely magába foglalja a termék teljes működési vizsgálatát.

Több százezer féle mérőtűből választhatják ki a tesztelésekhez megfelelőt a tűbefogó lapba. A mérőtűkben elhelyezett rugók eltérőek, melyek különböző löketen fejtik ki működésüket. Ami adott, hogy a teljes benyomódási úthosszuk 2/3-át elérve, az úgynevezett „working storke”-nál tudnak optimális körülmények között mérni. Az eltérő beültetési magassággal rendelkező mérőtűket más-

más mélységű süllyesztéssel kell a tűágyban elhelyezni, hogy a tesztelő berendezést összecsukva minden tű a megfelelő löketen tudjon működni. A gondosan elhelyezett mérőtűk különböző erőt fejtenek ki, ami lehet 0,6 1N, 1.5N, 2N, 3N vagy akár 4N értékű.

Általánosságban elmondható, hogy az 1000 tesztpont feletti PCB termékek körében 1000-1500 tesztponttal rendelkezik a termékek 35-40%-a, és 1500 tesztpontnál többel a termékek 60-65%-a. Ezek a darabszámok – a tesztelésben résztvevő tűk a benyomódási erő értékét figyelembe véve – jelentős ellenerő biztosítását teszik szükségessé.

A növekvő ipari igények alapján az 1500 mérési ponttal rendelkező PCB termékek tesztberendezéseinek befogóját kívántuk fejleszteni.

2.2 A fixturek vizsgálata működtetésük alapján

A három egymást követő tesztelési lépést (ICT, FCT, End of line) biztosító berendezés egyik legfontosabb része a fémkerettel megerősített fixture (befogó), ami a tesztelendő PCB rögzítését és funkcionális terheléseit biztosítja.

A fixture két nagy fizikailag elkülöníthető részből áll, alsó és felső részből. Az alsó rész rögzített, ahova a PCB kerül befogásra. A felső rész mozog, aminek szerepe a megfelelő nyomóerő kifejtése, a tesztelés támogatása. A befogó szerkezet működtetése szempontjából három nagy kategóriát különböztetünk meg. A felső és alsó rész között létrejövő összeszorító erőt biztosíthatja vákuum, pneumatika, vagy kézi (mechanikai) erő is.

A vákuummal működtetett fixture esetében nagy erő fejthető ki, mert nagy felületen történő nyomás biztosítására képes, ami fedezi a kívánt összenyomó erőt. Ugyanakkor az eljárás hátránya, hogy a működtetésükhöz külön energia szükséges. Gondot okoznak a tömítő egységek, valamint a szerkezet működtetéséből adódó karbantartási költségek. Fenntartása igen költséges. 1500 teszt ponton képes mérni.

A pneumatikus energiával működtetet fixture által biztosított nyomóerő határait az alkalmazott munkahenger határa szabja meg. Ez a berendezés is költséges, működtetés és karbantartás igényes a sűrített levegő használata miatt. Bár a pneumatikus kivitelből létezik költséghatékony verzió is, viszont annak mechanikai terhelhetősége alacsony.

A harmadik típus a mechanikus működtetésű fixture, amikor az operátor önmaga által fejt ki kézi erőt a befogókészülék alsó és felső részének egymáshoz nyomodásához. Ez olcsó működtetésű, kis karbantartású, egyszerű szerkezet. Ugyanakkor, az összeszorító erőt az operátor által kifejtett erő határolja, aminek értéke a többi eljáráshoz képest alacsony.

Miután lecsukódott a fixture teteje, a tesztelési folyamat a pneumatikus és vákuummal működő berendezések esetén történhet automatikusan vagy külön kézi gombnyomással. Mechanikus működtetés esetében csak kézi gombnyomással indulhat a ciklus.

A fixture töltését, amennyiben pneumatikus a fedél lecsukása, végezheti robot, viszont a betétek cseréjét mindenképpen operátor végzi függetlenül attól, hogy milyen működtetett energiával történik maga a nyomóerő kifejtése.

A vákuumos és a pneumatikus műszaki megoldások drágák, körülményes, költség és erőforrás igényes a működtetésük, vagy a mechanikus működtetés esetében behatárolt erőhatás kifejtésére képesek.

A fennti ismeretek alapján célunk olyan berendezés fejlesztése, amely az operátor által kifejtett erőn kívűl semmilyen egyéb külső energiaforrást nem igényel, ugyanakkor a kifejtett erő megtöbbszöröződhet a geometriai kialakítás által. Nagy erőkifejtésre alkalmas, nagy stabilitású, költséghatékony, egyszerű és könnyen telepíthető legyen.

2.3 A fejlesztett fixture bemutatása

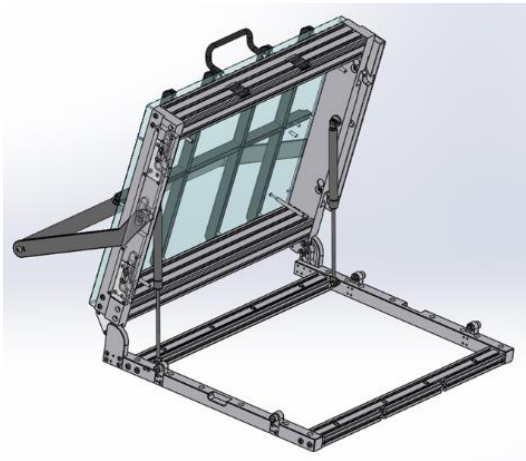
A meglévő műszaki megoldások drágák. Körülményes, költség és erőforrás igényes a működtetésük, valamint behatárolt erőhatás kifejtésére képesek. Így az alábbiakban határoztuk meg a főbb igényeket a konstrukcióval szemben:

1. Megfeleljen a növekvő technikai követelményeknek, pl.: a tesztelendő PCB-n elhelyezett tesztpontok mennyiségét illetően.

2. A készülék a lehető leggazdaságosabb legyen, mind bekerülési, mind pedig a fenntartási költségeket illetően.

3. Moduláris kiépítéssel rendelkezzen, a cserélhető betétes megoldással az új termék tesztelésénél kisebb az átállási költség, mert nem szükséges komplett tesztadaptert vásárolni.

Az elvárásoknak megfelelően a tűágy vastagsága 16mm-re növekedett, ami csavarkötéssel rögzül az alaplaphoz. Alul merevítőkkel ellátott zárt keretre támaszkodik. A betét aljára opcionálisan 32 db 64 pólusú szallagkábel csatlakozót lehet szerelni, ami akár 2048 jel átvitelére alkalmas.



1. ábra MFS-NED4 fedél mechanizmusa [saját kép]

16mm-es tű használata lehetséges, a standard elemek (PCB support-ok, MFS-ekbe használandó Pushrod-ok) szintén használhatók. A betét nem gyorscserélhető. Ugyanakkor a betét és a hátsó interface közötti huzalozás szallagkábelekkel megoldott, a betét így áthuzalozás nélkül cserélhető.

A fedél szorítómechanizmusa egy zárt keret ami csavarokkal van rögzítve az alaplaphoz. Legfeljebb 90 fokig nyitható, párhuzamos mozgása a nútban 14 mm. A megterhelést 4+4db görgőcsapágy viszi át. A szorítómechanizmus pályái acélból készülnek, így teherbírók és kopásállók. (1. ábra)

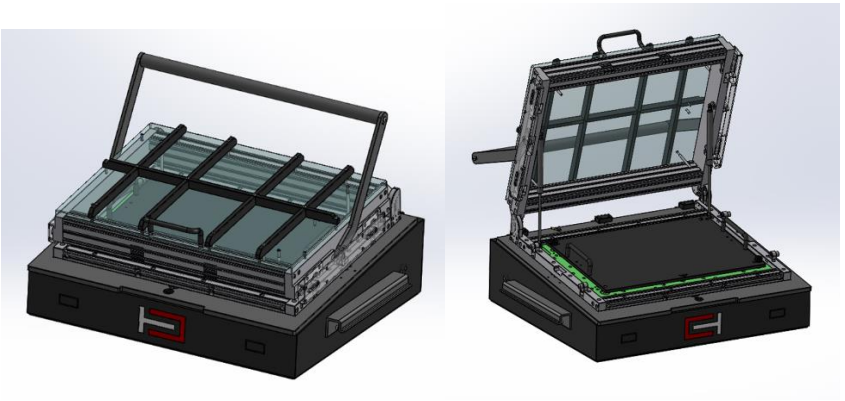
A felső plexi 15mm-es, felülről csavarokkal van rögzítve a fedél keretre, merevítőkkel van ellátva. Az alaplap vastagsága 12mm, ami alul acél L-profilok merevítenek.

Az egymásra záródó elemek illesztését fizikailag az alsó és felső rész közötti kényszerpálya kapcsolat biztosítja. Kétféle horony kényszerez a fixture oldalán: az egyik a berendezés nyíló felén, a másik a fő forgásponthoz közel. (1. ábra)

A felső forgásponti helyen a kapcsolódás a lecsukódást biztosítja. A nyíló felén elhelyezett kisebb karral működtetett horonyban történő megvezetés segítségével már csak lineáris mozgásra

képes a felső elem. Ez a fedelek függőleges zárásáért és az őket összeszorítóerő kifejtéséért felelős. Ennek kialakítása biztosítja az operátor által kifejtett kézi erő megtöbbszöröződését, ami függőleges nyomóerő irányú és eléri a 3000 N nagyságot.

Ez összesen négy ponton biztosítja, hogy az alsó és fixture rész egymáshoz képest precízen illeszkedjen. (2. ábra)



2. ábra Fixture csukott és nyitott fedéllel [saját kép]

3. Konklúzió

A fentiekben ismertetett mechanikus működtetésű fixture összeszorító erejének növelése 50%-kal több mérőtű befogadását teszi lehetővé. Ezáltal nagyobb tesztpont számmal rendelkező PCB lapok tesztelése is kivitelezhető. Így, nemcsak az egyszerű mechanikus szerkezet kialakítását, költséghatékony karbantartást és működtetést tudtuk az új konstrukcióval biztosítani, hanem az elektronikában régóta célként kitűzött méretcsökkentést is elértük.

Köszönetnyilvánítás

A berendezés fejlesztése a 2018-1.1.2-KFI-2018-00003 azonosító sorszámú „Mechanikus adapter fejlesztése NYÁK lapok teszteléséhez” című pályázat segítségével valósult meg.

4. Hivatkozások

[1] IV. Nyomtatott áramköri kártya (NYÁK) tervezése és kivitelezése, Debreceni Egyetem, jegyzet pp 10. https://shrek.unideb.hu/~misak/Files/nyak_labor.pdf

[2] Ondrésik Tamás, Hardware minőségellenőrzése az elektronikai gyártási folyamat során https://docplayer.hu/18168525-Hardware-minosegellenorzese-az-elektronikai-gyartasi-folyamat-soran-ondresik-tamas-o0qul3.html

[3] Kovács János Tesztelés gyártásban fejlesztésben, Budapest, 2018., A kiadvány megjelenését a thyssenkrupp Components Technology Hungary Kft. támogatta http://mti.kvk.uni-obuda.hu/adat/tananyag/teszteles/KovacsJanos_TesztelesGyartasbanFejlesztesben.pdfFytili

[4] Mónika, Bakosné Diószegi ; Zoltán, Kádár ; Szilvia, Kádár ; György, Tamás Pelle ; Zsolt, Sándor Szabó, Automatizált PCB gyártósori tesztberendezés fejlesztése a gyártási minőségbiztosítás szemszögéből BIZTONSÁGTUDOMÁNYI SZEMLE 5 : 4 pp. 23-35. , 13 p. (2023.) Közlemény:34432261

[5] Equip-Test Group, Fixture training, Budapest, 2020., Oktatási anyag, pp.30.

[6] Equip test, In-line test handler használati útmutató – Gyöngy András, 2019.

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Mesterséges Intelligencia az oktatásban

Artificial Intelligence in the education

[1]Burai István György

[1]*Óbudai Egyetem BGK GTI. Budapest, Magyarország, burai.istvan@uni-obuda.hu*

Összefoglalás

Cikkem célja a gondolatébresztés a mesterséges intelligencia és az oktatás kapcsolatáról. Írásomban összefoglalom, mi is az a mesterséges intelligencia és rávilágítok néhány fontosabb jellemzőjére. A teljesség igénye nélkül mutatom be, milyen területen alkalmazzák a mesterséges intelligenciát. Az oktatás és tanulás rendszerében betöltött szerepének felvázolásával utalok a mesterséges intelligencia és az oktatás kapcsolatának fontosságára.

Kulcsszavak: Mesterséges Intelligencia, Oktatás, Tanulás

Abstract

The purpose of my article is to raise awareness about the relationship between artificial intelligence and education. In my article, I summarize what artificial intelligence is and highlight some of its most important characteristics. Without claiming to be exhaustive, I present the areas which artificial intelligence is used in. By outlining its role in the education and learning system, I refer to the importance of the relationship between AI and education.

Keywords: Artificial Intelligence, Education, Learning

1. Mesterséges Intelligencia

A mesterséges intelligencia észrevétlenül a mindennapi életünk részévé vált. Hallunk róla, látjuk és felhasználjuk anélkül, hogy tudnánk róla. Lassan beépül a mindennapi tevékenységeinkbe, támogatva azok minél hatékonyabb megvalósítását. Ennek a folyamatnak passzív résztvevői vagyunk, tudatos alkalmazásához meg kell ismernünk a mesterséges intelligenciát. Felmerül a kérdés: mi is valójában a mesterséges intelligencia?

A mesterséges intelligencia (röviden MI) olyan technológia, amely lehetővé teszi a számítógépek és más gépek számára, hogy emberi intelligenciát utánzó feladatokat végezzenek. Ide tartozik a tanulás, a problémamegoldás, a tervezés, a természetes nyelv feldolgozása vagy a képfelismerés. A mesterséges intelligencia képes érvelni, a rendelkezésére álló adatok alapján problémákat megoldani és döntéseket hozni emberi beavatkozás nélkül.

Az MI alapja a gépi tanulás, amely során algoritmusok segítségével tanul. A leggyakoribb algoritmusok közé tartozik a lineáris regresszió, a döntési fák és a neurális hálózatok. A neurális hálózatok úgy működnek, mint az emberi agy. Minden algoritmusnak megvan a maga sajátossága és felhasználási területe. Ezek az algoritmusok képesek felismerni az emberi nyelvet és szöveget generálni a kontextus és a nyelvtani szabályok figyelembevételével. Megértik az ember kérdéseit és a tanultak alapján képesek releváns választ adni rájuk. [1]

2. Mesterséges Intelligencia csoportosítása

A mesterséges intelligencia számos szempont alapján rendszerezhető. A megértéséhez, illetve hatékony alkalmazásához a típusa, technológiája és a felhasználási tereülete szerinti csoportosítás nyújthat segítséget.

2.1 Típusok

A Mesterséges Intelligenciának két fő típusa létezik: a speciális és az általános MI. A harmadik típus egy lehetséges fejlődési szakasz.

A ***speciális mesterséges intelligencia*** (Artificial Narrow Intelligence - ANI), amit szűk vagy keskeny MI-nek is szoktunk nevezni, kizárólag egy adott feladat végrehajtására képes, amit hatékonyabban végre tud hajtani, mint az ember. Ez a jelenleg legmagasabb szintű MI, amellyel találkozhatunk. Ide tartoznak például az önvezető járművek, arcfelismerő rendszerek, digitális személyi asszisztens, nyelvi feldolgozó MI-k (Copilot, ChatGTP, stb) vagy például egy sakkjáték.[2]

Az ***általános mesterséges intelligencia*** (Artificial General Intelligence – AGI) képes az emberi intelligenciához hasonlóan többféle feladatot elvégezni, bonyolult problémákat megoldani, bizonytalan helyzetekben önálló döntést hozni. Az emberi kreativitás és képzelet képességével is rendelkezne, valamint a tanulás útján szerzett tudás felhasználásával lehetővé tenné az MI számára a különböző helyzetekhez való leghatékonyabb alkalmazkodást, ahogy az ember a tapasztalatai segítségével. Jelenleg az AGI még nem létezik, de aktív kutatás és fejlesztés folyik ezen a területen. [3]

A ***mesterséges szuperintelligencia*** (Artificial Super Intelligence – ASI) egy elméleti MI, amely minden emberi képességet meghaladna, beleértve a kreativitást, a problémamegoldást és az érzelmi intelligenciát. Ez a típus az MI fejlődésének víziója, megalkotása számos etikai és biztonsági kérdést vetne fel.[2]

2.2 Technológia szerinti csoportosítás

Az MI technológia szerinti csoportosítása segít jobban megérteni az MI különböző formáit és azok működését, azonosítani az alkalmazási területeket, meghatározni a fejlesztési irányokat, elősegíteni a szabványosítást és kompatibilitást, támogatni az oktatást és képzést, valamint kezelni a biztonsági és etikai kérdéseket. Ezáltal hatékonyabbá és célzottabbá válik az MI fejlesztése és alkalmazása. Így képesek leszünk az adott problémához illeszkedő technológia kiválasztására vagy egy adott iparágban való alkalmazásra. Az alábbiakban felsorolom a képességekre vonatkozó eddig ismert technológiákat:

Gépi tanulás (Machine Learning): melynek során az algoritmusok adatokból tanulnak és javítják a teljesítményüket anélkül, hogy egyértelműsítő programozásra lenne szükség.

Mély tanulás (Deep Learning): a gépi tanulás egy speciális ága, amely mély neurális hálózatokat használ. Ezek a hálózatok nagy mennyiségű adatból tanulnak, és képesek komplex feladatokat, például képfelismerést és természetes nyelvfeldolgozást végrehajtani.

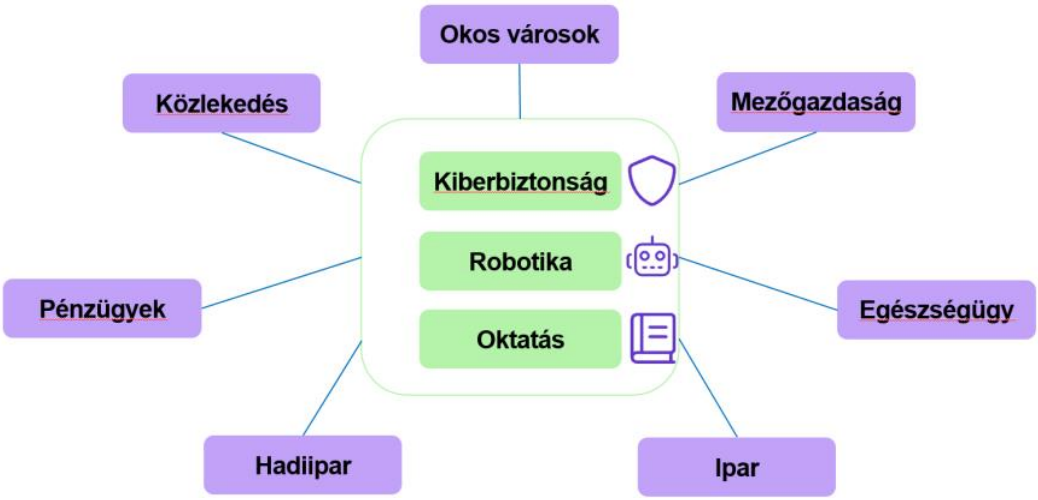
Természetes nyelvfeldolgozás (Natural Language Processing): az MI azon ága, amely az emberi nyelv megértésére és generálására összpontosít.

Számítógépes látás (Computer Vision): lehetővé teszi a számítógépek számára, hogy képeket és videókat értelmezzenek. A számítógépes látás alkalmazásai közé tartozik az arcfelismerés, az objektumfelismerés és az önvezető autók.

Robotika: ahol az intelligens rendszerek képesek érzékelni a környezetüket, döntéseket hozni és cselekedni. A robotok különböző iparágakban és az egészségügyben is használatosak.

2.3 Az MI alkalmazási területei

A mesterséges intelligencia (MI) felhasználásának célja sokrétű, és számos területen alkalmazzák. Célja az életminőség javítása, a hatékonyság növelése és az innováció támogatása. A teljesség igénye nélkül, íme néhány terület, ahol felhasználásra került az MI (1. ábra).



1. ábra MI felhasználási területei

Az ***okos városok*** céljai között megtalálható az energiahatékonyság növelése, a közbiztonság javítása, az egyre nagyobb mennyiségű hulladék kezelése, valamint az egyre terheltebb közlekedés irányítása.

A ***közlekedés***ben forgalomirányítási szerepet tölt be, illetve megjelent az önvezető járművek bevezetésének kísérlete. A mesterséges intelligencia segítségével a logisztikai műveletek optimalizálását célozzák.

Az MI ***mezőgazdaság***ban történő felhasználása növeli a termelékenységet és fenntarthatóságot a precíziós gazdálkodással, automatizált gépekkel, növénybetegségek és kártevők korai felismerésével, terméshozam előrejelzéssel, öntözés optimalizálásával és az ellátási lánc menedzsmentjével.

A mesterséges intelligencia a ***pénzügy***i szektorban az adatelemzés, automatizálás és döntéshozatal javítására szolgál. Például az algoritmikus kereskedés, csalásmegelőzés és ügyfélszolgálat terén nyújt jelentős előnyöket. Ilyen a banki appokban a digitális asszisztens (K&H Kate) is. [4]

Az ***egészségügy***ben a diagnosztika, kezelési tervek személyre szabása és új gyógyszerek fejlesztése terén játszik fontos szerepet. Az MI-alapú rendszerek képesek gyorsabban és pontosabban diagnosztizálni betegségeket, mint az emberi orvosok.[5]

A ***hadiipar***ban az MI-t autonóm fegyverrendszerek, prediktív karbantartás és intelligens logisztika terén alkalmazzák. Ezek az újítások lehetővé teszik a katonai erők számára, hogy

gyorsabban és hatékonyabban reagáljanak a dinamikus harci helyzetekre.[6]

Az ***ipar***ban a gyártási folyamatok automatizálására, minőségellenőrzésre és a karbantartási folyamatok szervezésére használják (Ipar 4.0). Az MI-alapú rendszerek növelik a termelékenységet és csökkentik a hibák számát.[7]

A ***robotiká***ban az önvezető járművek, ügyfélszolgálati robotok és ipari automatizálás terén alkalmazzák. Az MI segíti a robotokat abban, hogy önállóan tanuljanak és alkalmazkodjanak a változó környezethez.[9]

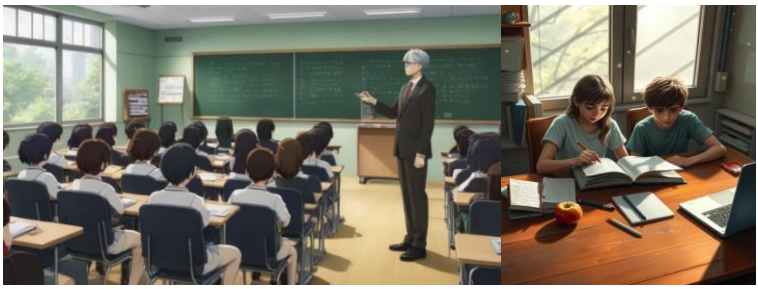
A ***kiberbiztonság***ban a fenyegetések észlelésére, megelőzésére és válaszadásra szolgál. Az MI-alapú rendszerek képesek valós időben azonosítani és elhárítani a kibertámadásokat.[10]

Az ***oktatás***ban a tanulási folyamat személyre szabására, adminisztratív feladatok automatizálására és speciális igényű diákok támogatására használják. Az MI segíti a tanárokat az oktatási anyagok hatékonyabb előállításában és a diákok teljesítményének nyomon követésében.

3. Az oktatás és a Mesterséges Intelligencia

Az oktatás és a tanulás fogalmai egymással összefüggésben vannak, egy komplex rendszert alkotnak (Oktatás Tanulás Rendszere - OTR). Az oktatás és a tanulás közötti kapcsolat abban rejlik, hogy az oktatás keretet és irányt ad a tanulás folyamatának. Az oktatók különböző módszerekkel és eszközökkel, például infokommunikációs taneszközzel (IKT) segítik a tanulókat az ismeretek elsajátításában és alkalmazásában. Az oktatás-tanulás folyamata megvalósulhat közvetlen módon, amikor jelen van a tanár és a diákok, és közvetett módon, amikor a tanulás oktatói instrukciók alapján történik, például egy otthon elkészítendő feladat esetén. (2. ábra)

Az oktatás és tanulás történhet egyazon helyen és időben, mint az iskolai tanóra vagy előadás, de eltérő időben és helyen is, mint például a távoktatás. Az online előadások esetén nem szükséges egyazon helyen tartózkodni, tehát térben független az oktatás és tanulás folyamata, viszont ebben az esetben szükség van a tanár és a diák(ok) egyidejű jelenlétére.



2. ábra Közvetlen és közvetett oktatás-tanulás [16]

Az oktatás és a tanulás ugyan egy egységet alkot, de a mesterséges intelligencia oktatásban való felhasználásánál területenként kell vizsgálni a betöltött szerepét.

3.1 Felkészülés a mesterséges intelligenciára

Az MI olyan rendszer, amelyet feladatok és problémák hatékony megoldására hoztak létre, egyre nagyobb szerepet játszik az oktatásban, és számos előnnyel jár a diákok, tanárok számára. Az MI biztonságos, hatékony alkalmazásához a következő új képességekre van szükség:

- az alkalmazási területnek megfelelő MI technológiát válasszuk ki,

- olyan MI alkalmazást használjunk, ami illeszkedik a problémához/feladathoz,
- biztonságosan és hatékonyan tudjunk együtt dolgozni az MI-vel,
- el tudjuk dönteni, hogy az MI által adott válasz, megoldás megfelelő és releváns-e,
- megfelelő színtű tanítással, programozással támogassuk az MI fejlődését.

4. A Mesterséges Intelligencia szerepe az oktatás és tanulás folyamatában

A mesterséges intelligencia (MI) forradalmasítja az oktatást és a tanulást azáltal, hogy személyre szabott tanulási élményeket kínál a diákoknak. Az MI-alapú rendszerek képesek elemezni a tanulók teljesítményét, preferenciáit és tanulási stílusait, hogy egyéni tanulási utakat hozzanak létre. Ez lehetővé teszi a diákok számára, hogy saját tempójukban haladjanak, és azonnali visszajelzést kapjanak, ami fokozza az elkötelezettséget és javítja a tanulási eredményeket. Az MI emellett segíti az adminisztratív feladatok automatizálását, csökkentve a tanárok terheit, lehetővé téve számukra, hogy több időt fordítsanak a tanításra. Az intelligens korrepetáló rendszerek és az adaptív értékelési módszerek tovább növelik az oktatás hatékonyságát. Az MI tehát nem csupán technológiai előrelépés, hanem átalakító erő az oktatásban, amely új lehetőségeket nyit meg a tanulás és a tanítás terén.[11]

4.1 Az MI szerepe az oktatásban

A mesterséges intelligencia (MI) tanári asszisztensként számos módon támogatja az oktatási folyamatot. Az MI-alapú rendszerek képesek automatizálni az értékeléseket, például esszék és feleletválasztós tesztek javítását, ami jelentősen csökkenti a tanárok terheit. Emellett az MI segíthet a tananyagok személyre szabásában, figyelembe véve a diákok egyéni tanulási stílusait és igényeit. Az MI-alapú eszközök, mint például a virtuális oktatók és intelligens korrepetáló rendszerek, azonnali visszajelzést nyújtanak a diákoknak, ami növeli az elkötelezettséget és javítja a tanulási eredményeket, és lényegében minden pillanatban elérhetők. Az MI továbbá segíti az adminisztratív feladatok automatizálását, így a tanárok több időt fordíthatnak a közvetlen tanításra és a diákokkal való foglalkozásra. Az osztálytermi adatok elemzésével az MI azonosíthatja azokat a területeket, ahol a tanárok javíthatják oktatási technikáikat vagy osztálytermi irányításukat.[12]

4.2 Az MI szerepe a tanulásban

A virtuális oktatási játékok interaktív és szórakoztató módon segítik a tanulást és növelik a diákok motivációját, valamint elköteleződését a tanulás mellett (3. ábra). A tanulási analitika segít feltérképezni és követni a tanulók előrehaladását és azonosítani azokat a területeket, ahol a diáknak további segítségre van szüksége. Adaptív tanulásnál az MI alkalmazkodik a tanuló szükségleteihez és képességeihez, hogy optimalizálja a tanulási folyamatot és élményt.[13]

3. ábra VR az oktatás tanulás folyamatában [16]

4.3 A tanárok támogatása

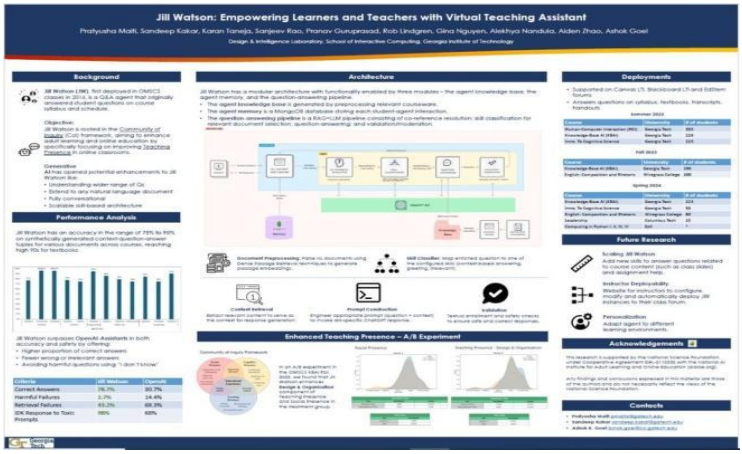
Az MI elemzi a tanulók teljesítményét és személyre szabott tananyagot javasol a tanóra megtervezéséhez. Az adatok alapján segít a tanároknak a jobb dötéshozatalban, hogy jobban megfeleljen a tanulói igényeknek (differenciált oktatás). Az értékelés automatizálása lehetővé teszi az egyén előrehaladásának figyelembevételével történő objektív értékelési rendszer kialakítását. Az MI kiértékeli a dolgozatokat, teszteket és visszajelzést ad a tanulók részére.

5. Mesterséges Intelligencia a világ egyetemein

A mesterséges intelligencia (MI) egyre nagyobb szerepet kap a világ egyetemein is, mind az oktatásban, mind a kutatásban. Számos egyetem, mint például a Budapesti Corvinus Egyetem és a Chinese University of Hong Kong, közös kutatási és startup-inkubációs projekteket indít, hogy elősegítsék az innovációt és a technológiai fejlődést. Az MI etikai kérdései is előtérbe kerültek, amit a globális mesterségesintelligencia-etikai megállapodás is tükröz, amelyhez több egyetem, köztük a Floridai Egyetem is csatlakozott.[14]

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) különböző kutatási projektjében alkalmazza az MI-t a fizikai jelenségek szimulálására. A Szegedi Tudományegyetem is kísérletezik MI-alapú rendszerekkel, amelyek segítenek a diákok fizikai kísérleteinek modellezésében és a tananyag jobb megértésében. Az MI-t a diákok mozgásának elemzésére és a sportteljesítményük javítására a Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem (TF) használja. Az Óbudai Egyetem Neumann János Informatikai Kar (ÓE NIK), elindította az első Mesterséges Intelligencia specializációt.

A Georgia Institute of Technology egyetem egyik professzora, Ashok K. Goel, létrehozta ***Jill Watsont***, az egyik első MI-alapú tanársegédet, amely segíti a diákokat a tanulásban (4. ábra). A Harvard Egyetem különböző programokat kínál, amelyek az MI alkalmazására összpontosítanak az oktatásban, különösen az adaptív tanulási rendszerek és az oktatási analitika területeire. Massachusetts Institute of Technology (MIT) számos kutatási projektet folytat az MI oktatásban való alkalmazásával kapcsolatban, beleértve az intelligens oktatórendszereket és a tanulási analitikát.



4. ábra Jill Watson: A tanulók és tanárok támogatása virtuális tanársegéddel [15]

6. Konklúzió

A mesterséges intelligencia alapjaiban változtatja meg a világunkat, így az oktatás-tanulás folyamatának rendszere is átalakításra vár. Az MI-t szükségszerűen be kell emelni az oktatás teljes spektrumába, különös figyelmet fordítva a mesterséges intelligencia felhasználásával járó biztonsági kockázatokra. Az Európai Unió mesterséges intelligenciáról szóló jogszabály célja, a megbízható, etikus és biztonságos MI rendszerek létrehozása, fejlesztése. Ehhez az MI-vel kapcsolatos képzés alapvető fontosságúvá vált az európai egyetemeken.

A fejlődés több irányban indult el különböző megvalósítási jövőképet mutatva, de mindegyiknek célja az oktatás-tanulás minőségének és hatékonyságának javítása az etikai és biztonsági szabályok figyelembevételével. Az egyik megvalósítás lehetséges eredménye egy olyan humanoid robot, amely mesterséges intelligenciával rendelkezik és képes megtartani egy tanórát (5. ábra).

5. ábra Ez lehet az oktatás jövője? [16]

7. Hivatkozások

[1] https://azure.microsoft.com/hu-hu/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-artificial-intelligence/

[2] https://www.guru99.com/hu/artificial-intelligence-tutorial.html

[3] https://www.weforum.org/stories/2024/04/stanford-university-ai-index-report/

[4] https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence-finance

[5] https://health.clevelandclinic.org/ai-in-healthcare

[6] https://militarysphere.com/military-and-artificial-intelligence/

[7] https://builtin.com/artificial-intelligence/examples-ai-in-industry

[8] https://www2.deloitte.com/hu/hu/misc/search.html?qr=MI%20felhaszn%C3%A1l%C3%A1sa

[9] https://onlinedegrees.sandiego.edu/application-of-ai-in-robotics/

[10] https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/artificial-intelligence-in-cybersecurity

[11] https://ictglobal.hu/cimlapsztori/mi-forradalom-az-oktatasban/

[12] https://szamoldki.hu/hu/hirek/hogyan-segithet-az-oktatas-vilagaban-a-mesterseges-intelligencia

[13] https://neum.hu/2024/04/23/mesterseges-intelligencia-az-oktatasban-az-adaptiv-tanulas-jovoje/

[14] https://niu.hu/hu/news/a-vilag-44-legjobb-egyetemevel-egyuttmukodesben-mutat-utat-a-mesterseges-intelligencia-teruleten-a-budapesti-corvinus-egyetem-62

[15] https://dilab.gatech.edu/jill-watson/

[16] https://copilot.microsoft.com/ss

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

A 3D nyomtatott kézprotézisek legújabb fejlesztései

Recent advances in 3D-printed hand prosthetics

[1]Cocchioni Vince

[1]*Óbudai Egyetem – Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, cocchioni.vince@bgk.uni-obuda.hu*

Összefoglalás

Az amputációval élők számának növekedése és a hagyományos protézisek magas költségei miatt egyre nagyobb igény mutatkozik megfizethető, személyre szabható és funkcionális alternatívák iránt. Az additív gyártás forradalmi változást hozott a felsővégtag protézisek területén, lehetővé téve a gyors, költséghatékony és testreszabott megoldások előállítását. Ez az áttekintés a 3D nyomtatott kézprotézisek tervezésében, anyaghasználatában és vezérlési mechanizmusaiban elért legfrissebb innovációkat vizsgálja, bemutatva az elmúlt évek fontos fejlesztéseit, feltárva a hiányosságokat és kijelölve a lehetséges fejlesztési irányokat.

Kulcsszavak: 3D nyomtatás, kézprotézis, additív gyártás, sEMG

Abstract

The increasing number of individuals living with amputations and the high costs of traditional prosthetics have led to a growing demand for affordable, customizable, and functional alternatives. Additive manufacturing has brought revolutionary changes to the field of upper-limb prosthetics, enabling the production of rapid, cost-effective, and tailored solutions. This review examines the latest innovations in the design, material use, and control mechanisms of 3D-printed prosthetic hands, highlighting significant advancements in recent years, identifying current shortcomings, and outlining potential future directions for development.

Keywords: 3D printing, hand prosthesis, additive manufacturing, sEMG

1. Bevezetés

Becslések szerint 2005-ben körülbelül 1,9 millió ember élt valamilyen végtagamputációval csak az Egyesült Államokban, az előrejelzések szerint ez a szám 2050-re akár meg is duplázódat, az alacsonyabb jövedelmű országokban élők pedig alig 5%-15% számára érhetők el végtagprotézisek [1, 2]. A felsővégtag protézisek fejlesztésének célja az emberi kéz funkciójának visszaállítása, amely az elmúlt években jelentős előrelépéseken ment keresztül az additív gyártásnak köszönhetően. Az anyagtudomány, a vezérlőrendszerek és a személyre szabott tervezési eljárások kombinálása a 3D nyomtatás technológiájával új lehetőségeket nyitott a protézisek fejlesztésében. A hagyományos ortopédiai kézprotézisek gyakran nagyfokú funkcionalitást kínálnak, ugyanakkor magas áruk miatt – ami fejlettebb mioelektromos modellek esetén akár a több tízezer eurót is elérheti – sok rászoruló számára továbbra is elérhetetlenek maradnak [3, 4]. Erre a problémára kívánnak megoldást adni a 3D nyomtatással készült ortopédiai eszközök, amelyek költséghatékony, testre szabható és gyorsan előállítható alternatívát kínálnak, ugyanakkor még számos fejlesztést igényelnek, hogy széleskörűen elterjedhessenek az orvosi ortopédiai eszközök terén [5].

Ez az áttekintés a 3D nyomtatott kézprotézisek tervezésében, anyaghasználatában és vezérlési mechanizmusaiban elért legfrissebb innovációkat vizsgálja, bemutatva az elmúlt évek fontos fejlesztéseit, feltárva a hiányosságokat és kijelölve a lehetséges fejlesztési irányokat.

2. Fejlesztések a tervezés területén

Az additív gyártás egyik legnagyobb előnye a személyre szabhatóság. A parametrikus modellezés és 3D nyomtatás ötvözésével mérethű, egyedi művégtagok készíthetők a páciens kézméreteire szabva [6]. Az additív gyártás gyors és költséghatékony megoldást kínál feladatspecifikus, például sportág-specifikus protézisek gyártására is, csökkentve a végtagrendellenesség miatti sportfeladást, vagy lehetővé téve olyan specifikus feladatok ellátását is, ami nem, vagy csak nehezen lenne lehetséges egy klasszikus felépítésű protézissel [7].

A 3D szkennelés és nyomtatás kombinálásával automatizált, akár távolról is elvégezhető protézis tervezés és illesztés válik lehetővé. A digitalizált végtagcsonkra illesztett, parametrikusan modellezett protézis helyben vagy akár a páciens közelében is nyomtatható, így a hagyományos módszereknél gyorsabban és költséghatékonyabban biztosítható a tökéletes illeszkedés, nagyobb komfortérzet biztosítva a viselő számára [8-10].

Az additív gyártás áttörést hozott az antropomorf művégtagok terén is. Az emberi kéz összetett mozgásainak leképezése továbbra is komoly kihívás, de a 3D nyomtatás előrehaladást tesz lehetővé az ujjízületekhez és csuklóhoz hasonló, bonyolult csomópontok kialakításában [11]. A biomimetikus kézprotézisek célja az emberi kéz szerkezetének és működésének minél pontosabb leképezése. Az additív gyártás révén könnyen előállíthatók az emberi csontok bonyolult, organikus alakzatai. Ezek a protézisek nemcsak funkcionalitásban, hanem esztétikailag is közelebb állnak a természetes kézhez, javítva a viselő komfortérzetét. Ezentúl sok szabadsági fokkal rendelkeznek és adaptív megfogásuknak köszönhetően, stabilabb fogást biztosítanak [12-14].

Bár a 3D nyomtatott kézprotézisek tervezése területén elért eredmények ígéretesek, további fejlesztésekre van szükség, hogy ezek az eszközök elterjedjenek az ortopédiában. Nagy igény van művégtagok hatékony és egységesített illesztésére, amire kiváló megoldást nyújt a 3D szkennelés és 3D nyomtatás ötvözése. A kézprotézisek egyik legígéretesebb kutatási területe, az emberi kézzel megegyező, vagy akár azt felülmúló képességű művégtag megalkotása. A 3D nyomtatás hatalmas előrelépéseket eredményezett az antropomorf és biomimetikus kezek területén, ugyanakkor további fejlesztések szükségesek a megfelelő vezérlés, tartós felépítés és kompakt meghajtás kialakításához.

3. Fejlesztések az anyagtechnológia területén

A rugalmas anyagok nyomtatása lehetővé teszi a monolitikus felépítésű kézprotézisek legyártását, ahol a csuklópontok és a kéz többi része is egy anyagból készül. Ezek kialakításukból adódóan egyszerűbb felépítésűek, kevesebb alkatrészből állnak, gyártási és összeszerelési idejük kisebb, továbbá kis tömegű és kompakt kialakításokat eredményeznek [15].

A több anyagot egyszerre nyomatni képes gépek lehetővé teszik a rugalmas és nem rugalmas anyagok hatékony ötvözését egy protézisen belül. Az így kialakított, emberi erővel működtetett protézis fogási ereje meghaladja az egyanyagú 3D nyomtatással előállított, emberi erővel működtetett protézisekét, ugyanakkor alulmarad a hagyományos technológiával gyártott modellekhez képest. A protézis adaptív megfogásra képes a kialakításának köszönhetően, ezzel megnövelve fogástípusok és a megfogható tárgyak számát. [16]

Bár a rugalmas anyagokból nyomtatott kézprotézisek egy biztató fejlesztési irány, amely egyszerűbb, könnyebb és az emberi kéz mozgását jól leképező művégtagok előállítását teheti lehetővé, az ezzel kapcsolatos kutatások még kezdetlegesek, felhasználásuk jelenleg kutatásokra

korlátozott, így további fejlesztést igényelnek a kereskedelmi kézprotézisekbe való integráláshoz.

4. Fejlesztések a vezérlés és az sEMG területén

A mioelektromos kézprotézisek az izomzat által generált, a bőrfelszínen érzékelhető elektromos jelekkel működnek. A hagyományos merev sEMG szenzorok nehezen illeszkednek a kar görbült felületéhez, ami rontja a jelminőséget. Új fejlesztések során olyan mioleketromosan érzékeny hidrogélt alakítottak ki az additív gyártás felhasználásával, ami rugalmas, ezáltal pedig fel tudja venni a végtagok alakját, jobb kapcsolódást és pontosabb mioelektromos vezérlést biztosítva [17]. A nagy felbontású szenzorok kialakítása és integrálása a nagy szabadsági fokú műkezek vezérlésébe elengedhetetlen, hogy azok irányítása megoldható legyen a felhasználó számára.

További fejlesztési terület, ami a kézprotézisek használhatóságát hivatott javítani, a kamerás szenzorok integrálása a vezérlési rendszerbe. A neurális hálóval megtámogatott képfelismerő rendszerek képesek döntést hozni az alkalmazandó megfogási módról, ezzel is segítve a felhasználót [18].

A vezérlés és sEMG területén az elmúlt években elért eredmények ígéretesek. A nagy pontosságú mioelektromos szenzorok továbbfejlesztése elengedhetetlen, hogy minél több megfogási típust tudjanak alkalmazni a felhasználók, és hogy megfelelően tudják modulálni a megfogás erősségét. A neurális hálókkal megtámogatott képfelismerő rendszerek még kezdetlegesek, ugyanakkor egy kiváló alternatívát vagy kiegészítő technológiát jelenthetnek a mioelektromos érzékelők mellé.

5. Konklúzió

Az amputációval élők számának növekedése és a drága kereskedelmi protézisek miatt egyre nagyobb az igény megfizethető, könnyen gyártható, személyre szabható alternatívákra. A 3D nyomtatás ígéretes megoldást kínál, és az elmúlt években jelentős előrelépések történtek ezeken a területeken. A további fejlesztések kulcsfontosságúak ahhoz, hogy a 3D nyomtatott kézprotézisek szélesebb körben elterjedjenek az ortopédiai ellátásban, és hogy a fejlett vezérlőrendszerekkel bíró, sok szabadsági fokkal rendelkező kezek beépíthetők legyenek a kereskedelmi forgalomban kapható egységekbe is.

6. Hivatkozások

[1] Ziegler-Graham K, MacKenzie EJ, Ephraim PL, Travison TG, Brookmeyer R. Estimating the prevalence of limb loss in the United States: 2005 to 2050. Arch Phys Med Rehabil. 2008 Mar;89(3):422-9. doi: 10.1016/j.apmr.2007.11.005.

[2] Abbady, H. E. M. A., Klinkenberg, E. T. M., de Moel, L., Nicolai, N., van der Stelt, M., Verhulst, A. C., Maal, T. J. J., & Brouwers, L. (2022). 3D-printed prostheses in developing countries: A systematic review. Prosthetics and orthotics international, 46(1), 19–30. doi: 10.1097/PXR.0000000000000057

[3] Kerver, N., Karssies, E., Krabbe, P. F. M., Van Der Sluis, C. K., & Groen, H. (2022). Economic evaluation of upper limb prostheses in the Netherlands including the cost-effectiveness of multi-grip versus standard myoelectric hand prostheses. Disability and Rehabilitation, 45(25), 4311–4321. doi: 10.1080/09638288.2022.2151653

[4] Zuniga, J. M., Peck, J., Srivastava, R., Katsavelis, D., & Carson, A. (2016). An open source 3D-Printed transitional hand prosthesis for children. JPO J. of Prosthetics and Orthotics, 28(3), 103–108. doi: 10.1097/jpo.0000000000000097

[5] Wang, Y., Tan, Q., Pu, F., Boone, D., & Zhang, M. (2020). A Review of the Application of Additive Manufacturing in Prosthetic and Orthotic Clinics from a Biomechanical Perspective. Eng., 6(11), 1258–1266. doi: 10.1016/j.eng.2020.07.019

[6] Nini, L., Ceccarelli, A., Tagliamonte, N. L., Zollo, L. & Taffoni, F. (2024). Parametric 3D Modeling of a Customized Prosthetic Hand Finger for Additive Manufacturing. 2024 10th IEEE RAS/EMBS Int. Conf. for Biomed. Robotics and Biomechatronics (BioRob), 1328-1333. doi: 10.1109/BioRob60516.2024.10719909

[7] Bogliolo, M., Turolla, L., Salvatore, F., Segre, J., Parodi, E.,Casadio, M. (2025). Design and 3D Printing of Low-Cost Functional Sports Devices for the Upper Limb. Prosthesis, 7(17). doi:10.3390/prosthesis7010017

[8] Górski, F., Denysenko, Y., Kuczko, W., Żukowska, M. (2024). Automated Design and Virtual Fitting of 3D Printed Bicycle Prostheses for Children. In: Machado, J., et al. Innovations in Mech. Eng. III. 2024. Lecture Notes in Mech. Eng. Springer, doi:10.1007/978-3-031-62684-5_22

[9] Ráž, K., Chval, Z., & Kemka, V. (2024). Parametric Production of Prostheses Using the Additive Polymer Manufacturing Technology Multi Jet Fusion. *Materials*, *17*(10), 2347. doi:10.3390/ma17102347

[10] Saldarriaga, A., Romero, E., Abarca, V., & Elias, D. (2024). A Parametric Design Approach for Affordable Customized 3D Socket for Transradial Upper Limb Prostheses. 745-750. doi:10.1109/CoDIT62066.2024.10708382.

[11] Park, J. H., Chang, M., Jung, I., Lee, H. & Cho, K. (2024). 3D Printing in the Design and Fabrication of Anthropomorphic Hands: A Review. Advanced Intelligent Systems. 6. doi: 10.1002/aisy.202300607.

[12] Barrera, J., Aguilar, J., Figueroa, F., Gutierrez, M. & Gómez, B. (2024). Development of an Electromechanical Biomimetic Prosthesis using 3D Printing: Initial Findings for Interphalangeal and Metacarpophalangeal Joints.

[13] Varaganti, P., & Seo, S. (2024). Recent Advances in Biomimetics for the Development of Bio-Inspired Prosthetic Limbs. Biomimetics, 9(5), 273. doi:10.3390/biomimetics9050273

[14] Narumi, S., Huang, X., Lee, J., Kambara, H., Kang, Y., & Shin, D. (2022). A Design of Biomimetic Prosthetic Hand. Actuators, 11(6), 167. doi:10.3390/act11060167

[15] Mohammadi, A., Lavranos, J., Zhou, H., Mutlu, R., Alici, G., Tan, Y., Choong, P., & Oetomo, D. (2020). A practical 3D-printed soft robotic prosthetic hand with multi-articulating capabilities. *PloS one*, *15*(5), e0232766. doi: 10.1371/journal.pone.0232766

[16] Cuellar, J. S., Plettenburg, D., Zadpoor, A. A., Breedveld, P., & Smit, G. (2021). Design of a 3D-printed hand prosthesis featuring articulated bio-inspired fingers. Proceedings of the Institution of Mech. Eng. Part H, Journal of engineering in medicine, 235(3), 336–345. doi: 10.1177/0954411920980889

[17] Lai, J., Xiao, L., Zhu, B., Xie, L., & Jiang, H. (2025). 3D printable and myoelectrically sensitive hydrogel for smart prosthetic hand control. Microsystems & Nanoengineering. 11. doi: 10.1038/s41378-024-00825-y.

[18] Castro, M. C. F., Pinheiro, W. C., & Rigolin, G. (2022). A Hybrid 3D Printed Hand Prosthesis Prototype Based on sEMG and a Fully Embedded Computer Vision System. Frontiers in neurorobotics, 15, 751282. doi:10.3389/fnbot.2021.751282

Betekintés a DLC bevonatok extrém-kis súrlódási viselkedésének hátterében álló folyamatok sajátosságaiba

[1]Fülöp Fruzsina, [1]Széll Attila, [2]Horváth Richárd, [2]Marosné Berkes Mária

[1]*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, fulop.fruzsina@phd.uni-obuda.hu, szell.attila@phd.uni-obuda.hu*

[2]*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Kari Kutatásszervező Központ, horvath.richard@uni-obuda.hu, maros.maria@uni-obuda.hu*

Összefoglalás

A szerszámok élettartamának növelése és a költségek csökkentése az ipari termelés fejlődésének fontos mozgatórugói. E cél elérése érdekében egyre szélesebb körben terjed az úgynevezett gyémántszerű szén bevonatok alkalmazása, amelyek extrém-kis súrlódással járó kopási viselkedésüknek köszönhetően jelentősen növelik a bevont alkatrészek teljesítményét. A különböző DLC filmek szuperkenési képessége széles körben kutatott terület. A szakirodalomban található mérvadó elméletek, mint például a grafitizáció és a passziválási mechanizmusok, csak hiányos és ellentmondásos magyarázatot adnak a jelenségre. Ez a cikk rövid áttekintést ad ezekről az elméletekről, kiemelve az extrém-kis súrlódási viselkedést befolyásoló legfontosabb tényezőket és működési feltételeket, rámutatva néhány aktuális nyitott kérdésre és a DLC bevonatok extrém-kis súrlódási viselkedésének atomi léptékű elemzését magában foglaló új elméletekre, amelyek a nyitott kérdésekre perspektivikus választ adhatnak.

Kulcsszavak: DLC bevonat, grafitizáció, passziválás, tribofilmképződés, extrém-kis súrlódás

1. Bevezetés

A szén mindennapi életünk alapvető eleme, amely nélkül nem létezne élet a Földön. Természetesen nem kerülte el a kutatók figyelmét sem, különösen különböző allotróp módosulatai, mint például a gyémánt, a grafit, a grafén, a különböző fullerének, vagy szén-nanocsövek, amelyek fizikai és kémiai tulajdonságait a 20. század eleje óta tanulmányozzák a szakemberek. A gyémántszerű szénbevonatok (Diamond-Like Carbon, DLC coatings) története az 1970-es évekre nyúlik vissza, amikor a kutatók felfedezték, hogy bizonyos amorf szénrétegek a gyémántéra emlékeztető keménységet és kémiai semlegességet mutatnak. Ezt követően a DLC-kutatás területe jelentősen fejlődött, és ennek eredményeképpen testreszabott mechanikai, optikai és tribológiai jellemzőkkel rendelkező DLC-változatok születtek. Különösen a hidrogénezett amorf szénrétegek kaptak nagy figyelmet, mivel a súrlódó felületeken kialakuló stabil transzferfilmeknek köszönhetően képesek drámaian csökkenteni a súrlódást és a kopást. Ezeknek a bevonatoknak igen jelentős a mechanikai teherbírása, jó a korrózióállóságuk és kiváló a biokompatibilitásuk, ami vonzóvá teszi őket az autóipari alkatrészektől az orvosbiológiai implantátumokig terjedő felhasználásokban. A DLC-k a gyémántra jellemző nagy keménységet, kis súrlódási együtthatót és a kémiai semlegességet egyedülálló módon ötvözik, sokoldalú megoldást kínálva az igényes tribológiai környezetben való felhasználásra.

2. A DLC bevonatok fő jellemzői, alkalmazásai és típusai

A gyémántszerű szénbevonatok alkalmazása jelentős növekedést mutat a különböző iparágakban, köszönhetően különleges mechanikai, tribológiai és kémiai tulajdonságaiknak [1]. Az autóiparban és a repülőgépiparban a gyártók DLC bevonatokat alkalmaznak a motoralkatrészekben, csapágyakban és üzemanyag-befecskendező rendszerekben, hogy a csökkentett súrlódás és a kiváló teherbírás révén fokozzák a teljesítményt és meghosszabbítsák az élettartamot [2,3]. Az orvostudományban a DLC bevonatokat sebészeti eszközökön és ortopédiai implantátumokon alkalmazzák, csökkentve a kopást és a korróziót, javítva eközben a biokompatibilitást. Az elektronikai ipar is kihasználja a DLC által biztosított védelmet, amikor ezeket a bevonatokat olyan eszközökön alkalmazza, mint a merevlemez-meghajtók, optikai lencsék és félvezető alkatrészek, hogy elkerülje a kopást és a felületük környezet okozta károsodását [4]. A leválasztási technikák innovatív megoldásai, köztük a plazmával segített kémiai gőzfázisú leválasztás (PECVD) és a porlasztás, egyszerűsítették a DLC bevonatok előállítását, így azok alkalmassá váltak a széleskörű ipari felhasználásra. Ezenkívül számos tanulmány hangsúlyozza, hogy a fokozódó és egyre sokrétűbb alkalmazási követelmények kielégítése érdekében további olyan funkcionális tulajdonságok integrálására van szükség, mint például a még fokozottabb korrózióállóság, antibakteriális tulajdonságok, vagy a felületi energia értékének szabályozhatósága. Mivel a nagy teljesítőképességű anyagok iránti kereslet folyamatosan növekszik, a DLC bevonatok sokoldalúságuk következtében a fejlett technológiák élvonalába kerülnek. Folyamatos átterjedésük egyre újabb és újabb területekre további innovációkat generál az anyagtudományok és más mérnöki tudományok területén.

Összetételük alapján a DLC bevonatokat legcélszerűbben a nem-adalékolt (nem-dópolt) és az adalékolt (dópolt) DLC bevonatok csoportjába sorolhatjuk. Az előbbiek csak szén- és hidrogénatomokat, míg az utóbbi kategóriába tartozók hozzáadott fémes vagy nemfémes elemeket tartalmaznak.

A gyémántszerű szén egy olyan amorf szénszerkezet, amely nagy arányban tartalmaz sp^3 kötéseket. A nem adalékolt DLC-kben az amorf szénszerkezetben az sp^3, sp^2, sőt kis mennyiségben az sp^1 konfiguráció bármilyen kombinációja előfordulhat. Az atomos szerkezetet főként sp^3 és sp^2 klaszterek alkotják, amelyek bogáncs-szerűen kapcsolódnak egymáshoz. A 80 at.%-ot meghaladó sp^3-tartalmú DLC-ket tetraéderes amorf szén (ta-C), míg a legkisebb sp^3-tartalmúakat amorf szén (a-C) típusú DLC-knek nevezzük. A hidrogénezett változatokat ta-C:H és a-C:H jelöléssel különböztetjük meg. Ez utóbbiak sp^3-tartalma jellemzően 20-60 at.% közé esik [5], és az sp^3/sp^2 arány a hidrogéntartalommal együtt nő, mivel a hidrogén stabilizálja az sp^3-kötéseket. Egy döntő fontosságú sajátosság az sp^3-kötésű szénatomok mátrixában elszórtan elhelyezkedő sp^2 fázisban jelenlévő aromás klaszterek hányada [6,7]. Minél magasabb az sp^3-kötések száma, annál inkább gyémántszerű viselkedés jellemző ezekre a szerkezetekre, míg az sp^2-kötések számának növekedésével a viselkedés egyre jobban hasonlít a grafitéra.

Az osztályozás egy másik fontos szempontja a hidrogéntartalom. Ha az meghaladja a 40 at.%-ot, akkor erősen hidrogénezettnek nevezzük, míg ha 1 at.% alatt marad, akkor hidrogénmentes DLC bevonatoknak tekintjük őket [8]. Az előállítási módszer jelentősen befolyásolja a hidrogéntartalmat. A hidrogénmentes DLC-ket tiszta szénkatóddal állítják elő, míg a hidrogéntartalmú DLC-ket PECVD eljárással szénhidrogén prekurzorok felhasználásával hozzák létre [9]. A H-tartalom növelésével a keménység és a kopásállóság csökken [10]. Az adalékolt DLC-k általában nagy hidrogéntartalmúak.

A DLC bevonat felépítését tekintve lehet egy- vagy többrétegű. A többrétegű szerkezet előnye, hogy az alkalmazott terhelés egyenletesebben oszlik el az érintkezési felületen, így javul a terhelhetőség.

3. A DLC bevonatok tribológiai sajátosságai

A DLC bevonatok tribológiai teljesítőképességét erősen befolyásolják a triborendszerben működő belső és külső tényezők [11]. Az elsődleges belső tényezők közé tartozik a hidrogéntartalom, a szénatomok konfigurációja – különösen az sp^3/sp^2 kötések aránya –, a filmvastagság, a bevonat keménysége, a bevonat rétegszerkezete vagy az adalékolt elemek típusa [12]. Ezeket a jellemzőket a gyártási eljárás határozza meg. A külső tényezők közé tartoznak az üzemi körülmények, mint például a hőmérséklet, az alkalmazott terhelés nagysága, a csúszási sebesség, a súrlódópár anyaga, az érintkezési geometria, a kenés és a súrlódómozgás típusa (egyenes vonalú vagy körkörös, egyirányú vagy váltakozó irányú). A hidrogénezett, illetve hidrogénmentes DLC filmek súrlódási és kopási viselkedése jelentősen eltér egymástól, és nagymértékben függ a légkör nedvességtartalmától, mint külső tényezőtől. Ennek a tanulmánynak a fókuszában az erősen hidrogénezett DLC bevonatok tribológiai viselkedése áll.

A DLC bevonatokról közismert, hogy súrlódó igénybevétel során jellegzetesen kis súrlódás ($\mu < 0{,}1$), vagy extrém-kis súrlódás ($\mu<0{,}001$) lép csak fel az egymáson elmozduló súrlódópárok között [13,14,15]. Azonban, az ennek hátterében álló kenési mechanizmust, amely ezt az egyedülálló viselkedésformát eredményezi, a kutatók munkáikban eltérő módon írják le, ami a jelenség ellentmondásos értelmezéséhez vezet. A DLC rétegek kiváló kenőképességére vonatkozó két leggyakoribb hipotézis a "*súrlódás okozta grafitizáció*" [11,16] valamint a "*passziválási mechanizmus*" [17,18]. Az első elmélet szerint a mechanokémiailag indukált tribofilm-képződés a DLC grafitos átalakulásán keresztül valósul meg, amely függ a terhelési erőtől és a súrlódási sebességtől. A második elmélet szerint a környezetben lévő elemi részecskék a csúszó határfelületen lévő szénatomok "lógó" (szabad) kötéseihez kapcsolódnak, ami a felület passziválását eredményezi. Tekintettel arra, hogy a szakirodalomban sokféle, esetenként egymásnak ellentmondó következtetések találhatók a különböző DLC-rétegekben megvalósuló kenési mechanizmusokra vonatkozóan, ezért ezeket az elméleteket kritikával kell szemlélni.

3.1 A súrlódás okozta grafitizáció

A súrlódás okozta grafitizálódási folyamatról széles körben számolnak be a kutatók a szakirodalomban [11,19,20]. A különböző fejlett finomszerkezet vizsgálati módszerek azonban nem szolgáltattak egyértelmű bizonyítékot a kristályos grafitszerkezet meglétére [21,22]. A feltételezések szerint a grafitizáció az aromás klaszterek (< 2 nm) szintjén történik, és teljesmértékű grafitizáció nem érhető el a tiszta DLC-k súrlódásakor [23]. A kutatók által megfigyelt "grafitizációs" folyamat eredménye valójában egy amorf szénszerkezet, vagyis a grafit 2D kristályos szerkezete – amely a megszokott, rendkívül kicsiny súrlódás előfeltétele – nem jön létre.

A grafitról köztudott, hogy párás környezetben enyhe súrlódás jellemzi, ami vákuumban vagy bármilyen száraz vagy semleges atmoszférában nem valósítható meg [24]. Ezért a súrlódás okozta grafitizáció elmélete nem magyarázza meg kellően a hidrogénezett DLC bevonatok esetén nagy vákuumban vagy száraz nitrogén atmoszférában megfigyelt kivételesen enyhe súrlódási viselkedést [17,18]. Ronkainen és mtsai. [25], Cui és mtsai.[26], valamint Liu és Meletis [27] – kis H-tartalmú DLC filmeken változó csúszási sebességgel és vákuumnyomással végzett kísérletekkel kimutatták, hogy a súrlódási együttható értéke inert környezetben a környezeti nyomás és a fordulatszám (csúszási sebesség) arányától függ, amit a kenési sajátosságért felelős passziválási mechanizmus bizonyítékának tekintettek. Ők és más szerzők [9] azt is megállapították, hogy a súrlódási együttható a grafitizálódás mértékével párhuzamosan nő, amikor a DLC szerkezetében a szénatomok konfigurációja sp^3-ról részlegesen sp^2-re változik, amit mindenekelőtt a csúszási felületbe bevitt, nyírás által indukált alakváltozási energia vált ki. Ebből is következik, hogy egy nagyobb terhelőerő nagyobb mértékű grafitizálódást idéz elő, következésképpen nem lehet felelős a kis súrlódás

jelenségéért. A kísérleti vizsgálatok mellett elméleti elemzések is folynak a grafitizációs mechanizmusnak a DLC-k kis- és extrém-kis súrlódási viselkedésében betöltött szerepének tisztázására. Pastewka és mtsai. [28] molekuladinamikai (MD) szimulációval ugyancsak megerősítették, hogy az a-C:H filmekben "grafitizációként" ismert folyamat az amorf szénhálózat szerkezetének kismértékű, helyi átrendeződését jelenti, az atomi konfiguráció sp^3-ból sp^2-be történő átalakulásával, kristályos grafitlemezek kialakulása nélkül. Az atomisztikus folyamatok szimulációi alapján arra következtettek, hogy a felszín legkülső rétegének passziváló képessége meghatározó szerepet tölt be az extrém-kis súrlódás létrejöttében.

A molekuladinamikai (MD) szimulációkon alapuló legfrissebb kutatások megerősítették a fent említett eredményeket. Zhu és mtsai. egy [29] kimutatták, hogy a grafitizációs mechanizmus képes csökkenteni az érintkezési felületeken a nyírófeszültséget, de csak abban az esetben, ha közben a grafén kritályszerkezete nem sérül meg. A grafénszerkezet torzulása és károsodása azonban az érintkezési felületen a nyíróerő növekedéséhez vezet.

3.2 Passziválási mechanizmus

A csúszófelület passziválódása a különböző típusú DLC bevonatok esetén eltérő módon történik. A hidrogénmentes, illetve a nagyon kis hidrogéntartalmú DLC-k esetében a lógó felületi szénkötések (dangling bonds) passziválását a környezetben lévő vízmolekulák hidrogénje segíti elő. Aktív anyagok, például víz nélkül a nyírás által indukált lógó szénkötések nem semlegesíthetők, és olyan körülmények között, amikor az F normálirányú terhelés, és az n a fordulatszám hányadosa, azaz az F/n értéke kicsi, a súrlódási együttható nagy (> 0,3) lesz [26,30].

Az erősen hidrogénezett DLC bevonatok esetében a felület már önpasszivált állapotban van [31], így a gyenge van der Waals-erők irányítják a súrlódási viselkedést [32], és a súrlódási együttható értéke jellemzően kicsi, μ = 0,01…0,1. Erdemir [33] szerint az elsődleges ok a hidrogén-termináció, amelynek során a H erős kötéseket hoz létre a felületi C atomokkal, és különböző mechanizmusokon keresztül passziválja a felületet, megakadályozva, hogy az kémiai reakcióba lépjen a csúszó ellenpár felületével. Arra is rámutatott, hogy a rétegleválasztási technológia igen fontos szerepet játszik abban, hogy mennyire csökkenthető majd a súrlódási együttható. Az erősen hidrogénezett DLC esetében, amint azt Fontaine és társai [34] kimutatták, a plazmával segített kémiai gőzfázisú leválasztással (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition, PECVD) készült DLC bevonat esetében érhető el a legkisebb érték.

A felületi C-H kötések oxidációja a levegőből vagy vízből származó oxigén segítségével, tovább növelheti a hidrogénkötések mennyiségét a csúszófelületen, ami erősebben passzivált felületi réteget eredményez, és tovább csökkenti a súrlódási együtthatót [35,36]. Ez az oxidáció a DLC felület nedvesíthetőségét is módosíthatja, kissé hidrofób jellegét hidrofillé (OH végződésűvé) változtatja [37], tovább javítva a felület adszorpciós képességét, azaz a környezetből származó anyagok megtapadását a felületen. Hatékony súrlódáscsökkentést OH-terminációval többek között Morita és mtsai., [38], illetve Qi és mtsai. [39] figyeltek meg.

Wang és mtsai. [40] ún. reaktív erőtér (ReaxFF) – azaz a legkorszerűbb kötésrend-alapú – szimulációkkal vizsgálták, hogy hogyan hat az oxigéndús környezet a DLC filmek sajátos, enyhe súrlódással járó viselkedésére. Megállapították, hogy a DLC filmek súrlódási mechanizmusa oxigénben gazdag környezetben erősen időfüggő. A súrlódáscsökkenést kezdetben a felületen fizikailag adszorbeálódott oxigénmolekulák okozzák, majd a súrlódás stabilizálódása után pedig a szénhálózatba kémiailag abszorbeálódott oxigén, amely egy oxigénnel átitatott anyagszerkezetet hoz létre. Ebben a folyamatban olyan gázmolekulák keletkeznek, amelyek idővel befolyásolják a DLC filmek súrlódási viselkedését. Például a C–O csoportok, illetve a CO vagy CO_2 molekulák elősegítik a lamellás szerkezetek kialakulását a határfelületeken.

Qui és mtsai. [26] kimutatták, hogy száraz súrlódáskor (vákuumban, vagy RH < 2% relatív páratartalom esetén) a csúszási sebesség inkább a passziválási mechanizmusokon keresztül – mégpedig a kémiai reakciókhoz rendelkezésre álló időn keresztül – befolyásolja a súrlódási együtthatót, mintsem a DLC réteg korábban feltételezett "grafitizálódása" révén. A csúszási sebesség növelésével a passziválási mechanizmus intenzitása csökken, és a súrlódási együttható nő.

3.3 A tribofilm-képződési koncepció

A bevonat módosított felületi rétege, amely egy mechanokémiai úton kiváltott tribokémiai reakció során jön létre, kenőfilmnek, azaz tribofilmnek tekinthető, amely lehetővé teszi a hidrodinamikai kenési állapotra jellemző $\mu = 0{,}001 \ldots 0{,}01$ extrém-kis súrlódási együttható tartomány elérését. Mivel az ilyen típusú tribo-oxidációs reakció aktiválási energiát igényel, amelyet a súrlódási folyamat alakváltozási energiájának kell fedeznie, feltételezhető, hogy ez a szuperkenési állapot csak a terhelési és környezeti feltételek (kritikus terhelési erő, felületi hőmérséklet, relatív páratartalom, F/n arány stb.) különleges kombinációja esetén jelenhet meg. A vízadszorpció révén megvalósuló tribofilmképződés bizonyos kerámiaanyagok – Si_3N_4, SiC – esetén is jól ismert [41,42]. Ezek a tribokémiai reakciók mechanikai energia bevitelével, akár környezeti hőmérsékleten is kiválthatók, amit az úgynevezett triboplazma-elmélet [43] magyaráz. Eszerint a tribokémiai reakció aktiválásához nincs szükség az atomi kötés előzetes felszakítására, mivel a súrlódás során mechanokémiailag indukált kis-energiájú elektronok tribo-emissziója megy végbe, valamint aktív helyek, például pozitív ionok jönnek létre a felületen [44]. Ilyenkor a nyírási alakváltozás energiája fedezheti egy fázisátalakulás vagy kémiai reakció aktiválási energiáját, amely így atermikusan is képes végbemenni [45].

Dickrell és mtsai. modellje szerint [46] a súrlódópárok határfelületén a kis relatív páratartalom és a szubsztrát nagy hőmérséklete csökkenti a súrlódási együtthatót, és a hidrogénezett DLC filmek extrém-kis súrlódási jelensége jellemzően RH < 1-2%-os relatív páratartalom mellett érhető el. Ugyanakkor továbbra is nyitott kérdés volt a szén-alapú filmek, mint például egy grafitizált DLC réteg vízzel való kölcsönhatásának mechanizmusa, amelyet Rietsch és mtsai. [47], valamint Kumar és munkatársai [48] tárgyaltak részletesen munkáikban.

A választ Fontaine és mtsai. [34] adták meg, bebizonyítva, hogy a DLC bevonatok extrém-kis súrlódási állapotának létrejöttéhez tribofilm képződés szükséges, azaz egy olyan transzferréteg kialakulása, amely képes megakadályozni az egymáson csúszó ellendarabok közötti tapadást, valamint lehetővé tenni a lekopott felületek öngyógyulását. A kulcskérdés az sp^2 kötések szénatomjainak π-orbitálisai közötti kölcsönhatások elkerülése. Munkájukban az extrém-kis súrlódási tényezőjű állapot létrejöttének két alapvető feltételét határozzák meg. Ezek egyike, hogy a hidrogéntartalomnak elég nagynak kell lennie az sp^2 konfigurációjú szénatomok közötti kölcsönhatások elkerülésére, a másik, hogy a súrlódó felületek között folyamatosan jelen legyen egy viszkoplasztikus transzferréteg. Felhívják a figyelmet az oxigén szerepére is, amely eltávolíthatja az sp^2 szénatomokat a felületről, megakadályozva ezzel az adhéziót. Ez a folyamat azonban erősen nyomásfüggő, és nagyobb oxigénnyomáson akár a védőfilm teljes eltávolításához is vezethet, amelynek következtében a súrlódási együttható jelentősen, akár 0,2-0,3-ra is megnövekedhet.

Scharf és mtsai. [49] a különböző fémkarbiddal erősített a-C és a-C:H bevonatoknál megfigyelt extrém-kis súrlódási folyamatok kinetikáját és peremfeltételeit úgy írták le, hogy bevezették a sebességi akkomodáció módjának (Velocity Accommodation Mode, VAM) fogalmát. Egyik lényeges megállapításuk, hogy a súrlódási és kopási folyamatokat a transzferfilm kialakulás-tapadás- és leválás egymást követő eseményei, azaz a "harmadik test folyamatok" kontrollálják, és nem a súrlódópárok kiinduló anyagának tulajdonságai. A kialakuló súrlódási együttható értéke nagymértékben függ a terhelési körülményektől a Hertz-féle érintkezési nyomás és a tribofilm kialakulását befolyásoló relatív páratartalom értékén keresztül. Amíg a transzferfilm nem alakul ki,

és nem tapad fel a súrlódópár felületére, – mint például a bejáratási szakaszban – addig a súrlódási együttható értéke nagy (μ = 0,6), és a VAM-ot a súrlódó ellenanyagok eredeti felülete közötti határfelületi csúszás határozza meg. A transzferfilm kialakulásának korai szakaszában pedig, amikor az még könnyen leválik a súrlódó ellenpárról, a VAM a harmadik test, azaz a transzferfilm nyírásával és extrúziójával megvalósuló mechanizmusra módosul, és a súrlódási együttható kissé csökken (μ = 0,2-0,4). Majd állandósult állapotban a bevonat felületén kialakult és a súrlódópárra feltapadt tribofilm az egymáson csúszó felületeket elválasztja egymástól, hasonlóan ahhoz, mint ahogyan az az elaszto-hidrodinamikai kenési állapotban történik, és jelentősen kisebb súrlódási együtthatót ($1–5\times10^{-2}$), valamint két nagyságrenddel kisebb kopási sebességet eredményez. Ebben az esetben a VAM a feltapadt transzferréteg és a kopott DLC bevonat közötti határfelületi csúszás. A fémes adalékanyagok és a nedvesség célszerűen módosíthatják a tribofilm tapadását. Amikor például egy WC/a:C-H bevonat Al_2O_3 ellenpárral súrlódik, a transzferfilm kialakulása kevésbé jellemző, mivel a W nem lép reakcióba az Al_2O_3-dal, és a transzferfilm is nehezen tapad az Al_2O_3 ellendarab felületéhez.

Okubo és mtsai. kimutatták [50], hogy az extrém-kis súrlódással járó folyamat és az ehhez szükséges tribofilm-képződés döntően a légkörből származó hidrogén hatására indul meg, míg önmagában a DLC bevonat hidrogéntartalma kevésbé meghatározó az extrém-kis súrlódás elérése szempontjából.

3.4 Súrlódási- és kenésállapotok

Az egymáson elmozduló felületek közötti súrlódási együtthatót számos tényező szabályozza, és a következő összetevők eredőjeként értelmezhető [51,52]:

$$\mu = \mu_{ad} + \mu_{pl} + \mu_e + \mu_d, \quad (1)$$

ahol

- μ_{ad} - az adhézióból származó összetevő (elsősorban fémekre jellemző);
- μ_{pl} - a képlékeny alakváltozásból eredő összetevő;
- μ_e - a rugalmas alakváltozásból eredő összetevő, amely döntően a tribofilm alatti tartományban következik be;
- μ_d - a harmadik test-szerű kopási törmelék részecskéi okozta összetevő.

Az erősen hidrogénezett ($H_C > 30\%$) DLC bevonatok esetében az első összetevő elhanyagolható, mivel a passzivált felület jelentősen taszítja az ellenpárt. A többi összetevő a normálirányú terhelés növelésekor változik. Például a rugalmas és képlékeny alakváltozás növekedése közvetlenül megnöveli a felületi rétegbe bevitt alakváltozási energiát, ami fizikai, kémiai és szerkezeti átalakulásokat indít el. Feltételezve, hogy a szubsztrát szilárdsága elég nagy ahhoz, hogy ellenálljon annak a kritikus terhelésnek, amely a tribokémiai reakciókhoz szükséges aktiválási energiát szolgáltatja, és a relatív páratartalom is kicsi, a kedvező körülmények a korábban említett oxidációs folyamatok révén beindítják a tribofilm kialakulását. Ha a szubsztrát keménysége kicsi, akkor a tribofilm kialakulásához szükséges kritikus terhelés viszont képlékeny deformációt okoz az alapanyagban, amelyet a rajta lévő kemény kerámiabevonat nem képes követni, ezért eltörik és leválik. Ebben az esetben a bevonatból származó kemény kopási törmelék nagy súrlódási együtthatóval járó, harmadik-testes abrazív kopást okozhat.

A súrlódó felületek között kialakuló kenési feltételek alapján megkülönböztethető négy kenési állapot a határkenés, a vegyes-, a hidrodinamikai- és az elaszto-hidrodinamikai kenés. Ezek szoros kapcsolatban állnak a felületi mikrogeometriával, ezért a minimális filmvastagság (h) és az érintkező

érdességi csúcsok magasságának (R_a) arányával jellemezzük őket.

Határmenti kenés (BL) akkor következik be, amikor $h < R_a$, ezért a kenőanyag szakadozottá válik, lehetővé téve a súrlódópárok közvetlen érintkezését az érdességi csúcsok mentén. A terhelést ezek a csúcsok (aszperitások) a felületükön képződött molekuláris filmrétegen keresztül veszik fel, amelyet olyan atomcsoportok alkotnak, amelyek fizikailag (van der Waals-erők révén) vagy kémiailag (kovalens kötések révén) adszorbeálódnak a felületen, és viszonylag nagyobb súrlódási együtthatót okoznak. Fizikai adszorpcióra hozható példák a gyengén kötődő szénhidrogének és a felületen erősen adszorbeálódott poláros molekulák (OH, NH_2 vagy COOH csoportok). A kemiszorpció egyetlen monorétegre korlátozódik [53], a h filmvastagság jellemzően 70 nm-nél kisebb, a μ súrlódási együttható értéke pedig 0,08-0,15 között változik [54].

Teljes filmkenés, vagy hidrodinamikai kenés (HL) esetén a súrlódó felületek nem érintkeznek egymással, teljesen elválasztja őket egymástól egy olyan kenőanyagfilm, amelynek vastagsága jóval meghaladja az érdességi csúcsok magasságát, $h >> R_a$. Az ilyen kenési állapot kialakulásához négy előfeltételnek kell teljesülnie, amelyek a következők: kenőfilm jelenléte, a súrlódó felületek közötti relatív sebesség, a kenőfilm viszkozitása és megfelelő felületi geometria [55]. Ez utóbbi kapcsán a felületi érdesség (R_a) szerepét kell kiemelni a hidrodinamikai kenési állapot elérésében. A jellemző filmvastagság ilyen esetekben h ~ 1 µm, a súrlódási együttható pedig a legkisebb értékeket veszi fel, $\mu = 10^{-2}...10^{-4}$.

A HL speciális esete az elaszto-hidrodinamikai kenés (EHL), amikor a nagy érintkezési nyomás a súrlódó felületek olyan mértékű rugalmas deformációját okozza, amely eléri a kenőanyagfilm vastagságának nagyságrendjét, h = 10...70 nm [55,57]. A súrlódási együttható értéke és a súrlódási veszteségek ilyenkor is nagyon kicsik, akárcsak a HL üzemmódban.

4. Elemzés, áttekintés

Mind a bemutatott elméleti ismereteink, mind a kísérleti munkák során szerzett tapasztalataink [60–66] azt tükrözik, hogy a hidrogénezett DLC bevonatok tribológiai viselkedését meglehetősen összetett módon befolyásolják a külső és belső tényezők. Az eredő súrlódási együttható nemcsak szorosan függ a működésben lévő tribológiai rendszer aktuális állapotától, hanem időfüggő természetű, aminek következtében a triborendszer elemei is időbeli változást mutatnak. A DLC bevonatok extrém-kis súrlódási állapotának kialakulását követően annak megszűnését, majd regenerálódását több szerző [15,34], is megfigyelte, megállapítva, hogy a szuperkenési állapot fenntartását, átmeneti megszűnését, majd újbóli megjelenését a hatóidő – azaz, ameddig a súrlódó felület az adott környezeti hatásoknak ki van téve – egyértelműen befolyásolja. Ezért a valós üzemi körülmények ismerete elengedhetetlen az ilyen bevonatok üzemi teljesítőképességének előrejelzéséhez [58,59]. Ezek a kutatások bizonyítékul szolgálnak arra is, hogy a súrlódást valójában nem a csúszási sebesség, ahogyan azt korábban feltételezték, hanem az azon keresztül érvényesülő kitettségi idő kontrollálja. Ennek oka a gáznemű elemek kölcsönhatása a kopásnyom felületével, ahogyan azt már korábban említettük a hidrogén-, oxigén- stb. végződésű szénláncok létrejöttével (termináció) megvalósuló passziválási mechanizmusok tárgyalásakor.

A felületi kémia fontosságát több szerző is hangsúlyozza, mind a bevonatok kémiai összetételével, mind a környező atmoszférával kapcsolatban [67,68]. Ezek a jellemzők közvetlenül befolyásolják a DLC filmeknek az adott triborendszerben érvényesülő komplex mechanikai, fizikai és kémiai hatásokra adott változatos tribológiai válaszát a különböző védőmechanizmusok működésén keresztül [12,69,70].

A DLC bevonatok extrém-kis súrlódási viselkedésének rendkívül összetett jellege miatt a kísérleti úton megszerezhető ismeretek csak részleges betekintést nyújthatnak a súrlódási-kopási viselkedés ténylegesen lejátszódó folyamataiba, amelyek csak az adott vizsgálati körülmények

esetén érvényesek.

Az atomisztikus megközelítés új távlatokat nyit az anyagszerkezet legfinomabb szintjén lejátszódó kopási mechanizmusok azonosítására, elemzésére és megértésére. Kuwahara és mtsai. [71] – kvantum molekuladinamikai szimulációk és ultra-nagy vákuumban végzett, különböző H-tartalmú DLC bevonatokon végrehajtott, egyenesvonalú, alternáló koptatási kísérletek eredményei alapján – rávilágítanak, hogy az a-C:H bevonatok extrém-kis súrlódása az érintkező felületek helyi hidrogéntartalmának finomhangolásával szabályozható. A súrlódási mechanizmusokat az állandósult súrlódási folyamat utolsó 0,1 ns-os periódusára vonatkozó szimulációkból levezetett anyagszerkezeti szempontok alapján is osztályozták, négy típust definiálva, amelyek a következők: hideghegedés (cold welding, CW), amikor a súrlódási együttható $\mu > 0{,}2$; aromás grafenoid passziválás (aromatic graphenoid passivation, AP); vegyes passziválás (mixed passivation MP) és hidrogén passziválás (hydrogen passivation, HP), ahol az utolsó három esetben fordulhat elő a szuperkenés. Tisztán CW állapot akkor jön létre, amikor a hidrogéntartalom rendkívül kicsi, $C_H < 3{,}7$ at.%, míg $C_H > 22$ at.% esetén a HP mechanizmus veszi át az irányító szerepet. Amikor a hidrogéntartalom a δ3,7 at.% C_H < 22 at.% tartományba esik, akkor a CW, AP és HP mechanizmusok együttesen fordulhatnak elő, de a szuperkenési állapotot elsősorban az aromatizáció okozza, és a súrlódási együttható a $\mu = 0{,}05...0{,}2$ tartományba esik. Ha a tartomány alsó határát kissé megemeljük, azaz a H-tartalom δ5 at.% CH < 22 at.% között változik, akkor már az MP súrlódási mechanizmus válik dominánssá, és a súrlódási együttható kisebb lesz, de széles határok, $\mu = 0{,}002…0{,}2$ között változhat, amiatt, hogy ebben a háromféle csoportban az irányító kopási mechanizmus jelentősen eltér egymástól.

Az egyik legújabb elképzelés szerint a H-passziválás a C–H_x (x = 1–3) típusú szénhidrogén csoportokat létrehozó tribo-indukált oligomerizáción keresztül valósul meg. Ez kellő összhangban van Fontaine és mtsai. [34] megfigyelésével, miszerint a felületi reológiai tulajdonságok kiemelkedő szerepet játszanak abban, hogy az a-C:H bevonatokban létrejön-e a szuperkenéses állapot.

5. Összefoglalás

Az extrém-kis súrlódási jelenséget mutató DLC bevonatok ipari méretű elterjedését a gyakorlatilag kopásmentes súrlódás által biztosított rendkívüli előnyök magyarázzák.

A szupersúrlódás jelenségét magyarázó elméletek sokfélesége és különbözősége abból adódik, hogy a különböző DLC filmek tribológiai viselkedése és a súrlódási viselkedést irányító domináns folyamatok mechanizmusai a belső és külső befolyásoló tényezők révén rendkívül összetettek. E tényezők közé tartozik a csúszófelületek felületi kémiája, amelyek közül elsődleges jelentősége a H-tartalomnak van. Ide tartoznak az ugyancsak meghatározó szereppel bíró terhelési körülmények, mint például az érintkezési nyomás, az expozíciós idő (amely a csúszási sebességen keresztül érvényesül), a légkör jellemzői (a passziválásra alkalmas gáznemű elemek különböző forrásain keresztül), a felületi topográfia (az érintkezési csúcsok magasságán keresztül), valamint a kialakult transzferrétegek és tribofilmek mechanikai, fizikai, kémiai és reológiai tulajdonságai.

A tanulmányunkban tárgyalt szuperkenőképesség hátterében álló folyamatok, amelyek értelmezése a szakirodalomban rendkívül változatos, mind létező, valós események. Ezek azonban csak meghatározott körülmények között és meghatározott ideig működnek, de összességében magyarázatot adhatnak a DLC filmek sajátos kopási viselkedésére.

A grafitizáció, a passziválás és a tribofilm-képződés itt tárgyalt elméletei az elmúlt 30 évben jelentős fejlődésen mentek keresztül, amelyek ellentmondásai elsősorban abból adódtak, hogy a kutatók általában egyetlen mechanizmussal próbálták megmagyarázni a szuperkenéses súrlódás jelenségét. Ezzel szemben, ezen folyamatok bármelyike előfordulhat önállóan vagy kombináltan is egy adott tribológiai rendszerben. Nagyon fontos tudni azonban, hogy ezek a különböző

mechanizmusok milyen terhelési és üzemi körülmények között érvényesülhetnek. Ehhez elengedhetetlen a vizsgálati körülmények minden eddiginél pontosabb meghatározása és figyelembevétele, hogy az ilyen bevonatokat az alkalmazási célnak legjobban megfelelve lehessen kialakítani.

Az extrém-kis súrlódás mögött meghúzódó folyamatok fizikai hátterének megértése csak a fejlett szimulációs és modellezési módszerek segítségével vált-válik lehetővé, amelyek atomi szinten képesek feltárni az érintett folyamatokat. Ezen az úton még csak elindultak a kutatók, de máris számos részfolyamatot sokkal komplexebben látunk és értelmezhetünk, mint korábban. Fontos, hogy minél pontosabban és mélyebben megértsük ezeket mikro- és nanoszintű eseményeket, mert ez teszi lehetővé számunkra, hogy a bevonatok tulajdonságait kívánság szerint testre szabjuk, kifejlesszük a leghatékonyabb gyártási technológiákat, meghatározzuk a legcélszerűbb alkalmazási területeket, és leghatékonyabban kihasználjuk ezeknek a különleges DLC bevonatoknak az előnyeit.

6. Hivatkozások

[1] Robertson, J. (2002). Diamond-like amorphous carbon. Materials Science and Engineering: R: Reports, 37(4-6), 129–281. doi:10.1016/s0927-796x(02)00005-0

[2] Hauert, R. (2003). A review of modified DLC coatings for biological applications. Diamond and Related Materials, 12(3-7), 583–589. doi:10.1016/s0925-9635(03)00081-5

[3] Roy, R. K., & Lee, K.-R. (2007). Biomedical applications of diamond-like carbon coatings: A review. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials, 83B(1), 72–84. doi:10.1002/jbm.b.30768

[4] Ciprian I. (2021). A comprehensive review on thin film depositions on PECVD reactors. Annals of the Academy of Romanian Scientists Series on Science and Technology and Information, Vol. 14, ISSN 2066-8562. doi: 10.56082/annalsarsciinfo.2021.1-2.12

[5] Angus, J. C., & Hayman, C. C. (1988). Low-Pressure, Metastable Growth of Diamond and "Diamondlike" Phases. Science, 241(4868), 913–921. doi:10.1126/science.241.4868.

[6] Angus, J. C., & Jansen, F. (1988). Dense ''diamondlike''hydrocarbons as random covalent networks. Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, 6(3), 1778-1782.

[7] Franceschini, D. F. (2002). Growth, Structure, and Properties of Plasma-Deposited Amorphous Hydrogenated Carbon-Nitrogen Films, In: Advances in Plasma-Grown Hydrogenated Films, Series: Thin Films and Nanostructures, V. Agranovich, Deborah Taylor (Ser. Eds), Academic Press, ISBN: 9780080542874

[8] Zahid, R., Hassan, M. B. H., Varman, M., Mufti, R. A., Kalam, M. A., Zulkifli, N. W. B. M., & Gulzar, M. (2016). A Review on Effects of Lubricant Formulations on Tribological Performance and Boundary Lubrication Mechanisms of Non-Doped DLC/DLC Contacts. Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, 42(4), 267–294. doi:10.1080/10408436.2016.1186599

[9] Lusk, D., Gore, M., Boardman, W., Casserly, T., Boinapally, K., Oppus, M., … & Lapp, S. (2008). Thick DLC films deposited by PECVD on the internal surface of cylindrical substrates. Diamond and Related Materials, 17(7-10), 1613–1621. doi:10.1016/j.diamond.2008.01.051.

[10] Jansen, F., Machonkin, M., Kaplan, S., & Hark, S. (1985). The effects of hydrogenation on the properties of ion beam sputter deposited amorphous carbon. Journal of Vacuum Science

& Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, 3(3), 605-609.

[11] Liu, Y., Erdemir, A., & Meletis, E. I. (1996). An investigation of the relationship between graphitization and frictional behavior of DLC coatings. Surface and Coatings Technology, 86-87, 564–568. doi:10.1016/s0257-8972(96)03057-5

[12] Zahid, R., Masjuki, H. H., Varman, M., Kalam, M. A., Mufti, R. A., Zulkifli, N. W. B. M., … & Azman, S. S. B. N. (2016). Influence of intrinsic and extrinsic conditions on the tribological characteristics of diamond-like carbon coatings: A review. Journal of Materials Research, 31(13), 1814–1836. doi:10.1557/jmr.2016.31

[13] Fontaine, J., Le Mogne, T., Loubet, J. L., & Belin, M. (2005). Achieving superlow friction with hydrogenated amorphous carbon: some key requirements. Thin Solid Films 482, 99–108.

[14] Erdemir, A., Eryilmaz, O. L., & Fenske, G. (2000). Synthesis of diamondlike carbon films with superlow friction and wear properties. Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, 18(4), 1987-1992.

[15] Heimberg, J. A., Wahl, K. J., Singer, I. L., & Erdemir, A. (2001). Superlow friction behavior of diamond-like carbon coatings: Time and speed effects. Applied Physics Letters, 78(17), 2449–2451. doi:10.1063/1.1366649

[16] Voevodin, A. A., Phelps, A. W., Zabinski, J. S., & Donley, M. S. (1996). Friction induced phase transformation of pulsed laser deposited diamond-like carbon. Diamond and Related Materials, 5(11), 1264-1269.

[17] Erdemir, A. (2001). The role of hydrogen in tribological properties of diamond-like carbon films. Surface and Coatings Technology, 146, 292-297.

[18] Donnet, C., Fontaine, J., Grill, A., & Le Mogne, T. J. T. L. (2001). The role of hydrogen on the friction mechanism of diamond-like carbon films. Tribology Letters, 9, 137-142.

[19] Kim, D. W., & Kim, K. W. (2013). Effects of sliding velocity and normal load on friction and wear characteristics of multi-layered diamond-like carbon (DLC) coating prepared by reactive sputtering. Wear, 297(1-2), 722-730.

[20] Chen, C., Xue, P., & Diao, D. (2022). Graphitization vs tribo-oxidation governing friction behaviors of doped graphene nanocrystalline carbon films. Carbon, 197, 435-443. doi:10.1016/j.carbon.2022.07.001

[21] Yen, B. K., Schwickert, B. E., & Toney, M. F. (2004). Origin of low-friction behavior in graphite investigated by surface x-ray diffraction. Applied physics letters, 84(23), 4702-4704.

[22] Rietsch, J. C., Brender, P., Dentzer, J., Gadiou, R., Vidal, L., & Vix-Guterl, C. (2013). Evidence of water chemisorption during graphite friction under moist conditions. Carbon, 55, 90-97.

[23] Sanchez-Lopez, J. C., Erdemir, A., Donnet, C., & Rojas, T. C. (2003). Friction-induced structural transformations of diamondlike carbon coatings under various atmospheres. Surface and Coatings Technology, 163, 444-450.

[24] Bhushan, B. (1999). Chemical, mechanical and tribological characterization of ultra-thin and hard amorphous carbon coatings as thin as 3.5 nm: recent developments. Diamond and Related Materials, 8(11), 1985–2015. doi:10.1016/s0925-9635(99)00158-2

[25] Ronkainen, H., Varjus, S., Koskinen, J., & Holmberg, K. (2001). Differentiating the tribological performance of hydrogenated and hydrogen-free DLC coatings. Wear, 249(3-4), 260-266.

[26] Cui, L., Lu, Z., & Wang, L. (2014). Probing the low-friction mechanism of diamond-like carbon by varying of sliding velocity and vacuum pressure. Carbon, 66, 259-266. doi:10.1016/j.carbon.2013.08.065

[27] Liu, Y. A. N., & Meletis, E. I. (1997). Evidence of graphitization of diamond-like carbon films during sliding wear. Journal of Materials Science, 32, 3491-3495.

[28] Pastewka, L., Moser, S., & Moseler, M. (2010). Atomistic insights into the running-in, lubrication, and failure of hydrogenated diamond-like carbon coatings. Tribology Letters, 39, 49-61.

[29] Zhu, X., Wang, X., Liu, Y., Luo, Y., Liu, Y., Zhang, H., & Zhao, X. (2023). Effect of the graphitization mechanism on the friction and wear behavior of DLC films based on molecular dynamics simulations. Langmuir, 39(5), 1905-1913. doi: 10.1021/acs.langmuir.2c02925

[30] Kim, H. I., Lince, J. R., Eryilmaz, O. L., & Erdemir, A. (2006). Environmental effects on the friction of hydrogenated DLC films. Tribology Letters, 21, 51-56.

[31] Andersson, J., Erck, R. A., & Erdemir, A. (2003). Frictional behavior of diamondlike carbon films in vacuum and under varying water vapor pressure. Surface and Coatings Technology, 163, 535-540.

[32] Erdemir, A., & Donnet, C. (2006). Tribology of diamond-like carbon films: recent progress and future prospects. Journal of Physics D: Applied Physics, 39(18), R311.

[33] Erdemir, A. (2001). Superlubricity and Wearless Sliding in Diamondlike Carbon Films. MRS Proceedings, 697. doi:10.1557/proc-697-p9.1

[34] Fontaine, J., Le Mogne, T., Loubet, J. L., & Belin, M. (2005). Achieving superlow friction with hydrogenated amorphous carbon: some key requirements. Thin Solid Films, 482(1-2), 99–108. doi:10.1016/j.tsf.2004.11.126

[35] Abou Gharam, A., Lukitsch, M. J., Qi, Y., & Alpas, A. T. (2011). Role of oxygen and humidity on the tribo-chemical behaviour of non-hydrogenated diamond-like carbon coatings. Wear, 271(9-10), 2157-2163.

[36] Li, H., Xu, T., Wang, C., Chen, J., Zhou, H., & Liu, H. (2007). Tribochemical effects on the friction and wear behaviors of aC: H and aC films in different environment. Tribology International, 40(1), 132-138.

[37] Yun, D. Y., Choi, W. S., Park, Y. S., & Hong, B. (2008). Effect of H2 and O2 plasma etching treatment on the surface of diamond-like carbon thin film. Applied Surface Science, 254(23), 7925-7928.

[38] Morita, Y., Shibata, T., Onodera, T., Sahnoun, R., Koyama, M., Tsuboi, H., … & Miyamoto, A. (2008). Effect of Surface Termination on Superlow Friction of Diamond Film: A Theoretical Study. Japanese Journal of Applied Physics, 47(4), 3032–3035. doi:10.1143/jjap.47.3032

[39] Qi, Y., Konca, E., & Alpas, A. T. (2006). Atmospheric effects on the adhesion and friction between non-hydrogenated diamond-like carbon (DLC) coating and aluminum – A first

principles investigation. Surface Science, 600(15), 2955–2965. doi:10.1016/j.susc.2006.05.008

[40] Wang, Y., Yin, Z., Fan, D., & Bai, L. (2022). Friction behaviors of DLC films in an oxygen environment: An atomistic understanding from ReaxFF simulations. Tribology International, 168, 107448.

[41] Maros, M. B., & Németh, A. K. (2017). Wear maps of HIP sintered Si3N4/MLG nanocomposites for unlike paired tribosystems under ball-on-disc dry sliding conditions. Journal of the European Ceramic Society, 37(14), 4357-4369. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2017.05.005

[42] Opitz, A., Ahmed, S. U., Schaefer, J. A., & Scherge, M. (2002). Friction of thin water films: a nanotribological study. Surface science, 504, 199-207.

[43] Nakayama, K., & Nevshupa, R. A. (2002). Plasma generation in a gap around a sliding contact. Journal of Physics D: Applied Physics, 35(12), L53–L56. doi:10.1088/0022-3727/35/12/101

[44] Kajdas, C. K. (2005). Importance of the triboemission process for tribochemical reaction. Tribology International, 38(3), 337–353. doi:10.1016/j.triboint.2004.08.017

[45] Gilman, J. J. (1996). Mechanochemistry. Science, 274(5284), 65–65. doi:10.1126/science.274.5284.65

[46] Dickrell, P. L., Argibay, N., Eryilmaz, O. L., Erdemir, A., & Sawyer, W. G. (2009). Temperature and water vapor pressure effects on the friction coefficient of hydrogenated diamondlike carbon films.

[47] Rietsch, J. C., Brender, P., Dentzer, J., Gadiou, R., Vidal, L., & Vix-Guterl, C. (2013). Evidence of water chemisorption during graphite friction under moist conditions. Carbon, 55, 90-97.

[48] Kumar, N., Dash, S., Tyagi, A. K., & Raj, B. (2011). Super low to high friction of turbostratic graphite under various atmospheric test conditions. Tribology international, 44(12), 1969-1978.

[49] Scharf, T. W., & Singer, I. L. (2009). Role of the Transfer Film on the Friction and Wear of Metal Carbide Reinforced Amorphous Carbon Coatings During Run-in. Tribology Letters, 36(1), 43–53. doi:10.1007/s11249-009-9457-z

[50] Okubo, H., Oshima, K., Tuboi, R., Tadokoro, C., & Sasaki, S. (2015). Effects of Hydrogen on Frictional Properties of DLC Films. Tribology Online, 10(6), 397–403. doi:10.2474/trol.10.397

[51] Larsen-Basse, J. Basic theory of solid friction, in: ASM Handbook, vol. 18. Ed: Blau, p. 57–84.

[52] Maros B., M., Németh, A. K., Károly, Z., Bódis, E., Maros, Z., Tapasztó, O., & Balázsi, K. (2016). Tribological characterisation of silicon nitride/multilayer graphene nanocomposites produced by HIP and SPS technology. Tribology International, 93, 269–281. doi:10.1016/j.triboint.2015.08.041

[53] Sethuramiah, A., & Kumar, R. (2016). Boundary Lubrication Mechanisms and Modeling. Modeling of Chemical Wear, 69–104. doi:10.1016/b978-0-12-804533-6.00004-4

[54] Akchurin, A., Bosman, R., Lugt, P. M., & van Drogen, M. (2015). On a Model for the Prediction of the Friction Coefficient in Mixed Lubrication Based on a Load-Sharing Concept with Measured Surface Roughness. Tribology Letters, 59(1). doi:10.1007/s11249-015-0536-z

[55] Affatato, S. (2014). Tribological interactions of modern biomaterials used in total hip arthroplasty (THA). Perspectives in Total Hip Arthroplasty, 99–116. doi:10.1533/9781782420392.2.99

[56] Jolkin, A., & Larsson, R. (2000). Determination of Lubricant compressibility in EHL conjunctions using the Hybrid technique. In Tribology Series (Vol. 38, pp. 589-596). Elsevier.

[57] Burstein, L. (2011). Lubrication and roughness. Tribology for Engineers, 65–120. doi:10.1533/9780857091444.65

[58] Czifra, Á., & Ancza, E. (2024). Micro-and nano-roughness separation based on fractal analysis. Materials, 17(2), 292.

[59] Horváth, R., Czifra, Á., & Drégelyi-Kiss, Á. (2014). Effect of conventional and non-conventional tool geometries to skewness and kurtosis of surface roughness in case of fine turning of aluminium alloys with diamond tools. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 78(1-4), 297–304. doi:10.1007/s00170-014-6642-5

[60] Fülöp F., & Maros B. M. (2018). Tribology testing of superhard multilayered DLC coatings on tool steels. In: Tamás, Mankovits (eds.) Proceedings of the 6th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2018): Book of extended abstracts. Debrecen, Hungary: DE Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 238. 51-52.

[61] Siddiqui, S. A., Biro, A. Sz., & Maros B. M. (2019). The Effect of Surface Preparation on Friction and Wear Behaviour of DLC Coated X42Cr13 Plastic Mold Tool Steel. Tehnika (Beograd) 74(2), 175-180. doi:10.5937/tehnika1902175S

[62] Siddiqui, S. A., & Maros, B. M. (2019). Wear behaviour of duplex (PN+PVD) treated layers produced on X42CR13 steel. Multidisciplinar Sciences: Proceedings of the University of Miskolc (Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye) 9(1) 3-11. doi:10.35925/j.multi.2019.1.1

[63] Fülöp, F., &Maros, M.B. (2023). A Comparative Study on the Tribological Performance of a Monolayer TiBN and Multilayered TiBN/DLC Coating on X210Cr12 Tool Steel. In: Jármai, K., Cservenák, Á. (eds) Vehicle and Automotive Engineering 4. VAE. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 620-635. doi:10.1007/978-3-031-15211-5_52

[64] Maros, B. M., & Siddiqui, S. A. (2022). Tribological Study of Simply and Duplex-Coated CrN-X42Cr13 Tribosystems under Dry Sliding Wear and Progressive Loading Scratching. Ceramics, 5(4), 1084-1101. doi:10.3390/ceramics5040077

[65] Siddiqui, S. A., & Maros, B. M. (2022). Comparative Study on the Scratch and Wear Resistance of Diamond-like Carbon (DLC) Coatings Deposited on X42Cr13 Steel of Different Surface Conditions. Ceramics, 5(4), 1207-1224.

[66] Fülöp, F, & Maros, B. M. (2023). Tribological behaviour of TiBN and DLC top-layered coating systems. Anyagvizsgálók Lapja. (1) 6-12.

[67] Erdemir, A., Eryilmaz, O. L., & Kim, S. H. (2014). Effect of tribochemistry on lubricity of

DLC films in hydrogen. Surface and Coatings Technology, 257, 241–246. doi:10.1016/j.surfcoat.2014.0

[68] Polaki, S. R., Kumar, N., Madapu, K., Ganesan, K., Krishna, N. G., Srivastava, S. K., …& Tyagi, A. K. (2016). Interpretation of friction and wear in DLC film: role of surface chemistry and test environment. Journal of Physics D: Applied Physics, 49(44), 445302. doi:10.1088/0022-3727/49/44/445302

[69] Kuwahara, T., Moras, G., & Moseler, M. (2017). Friction Regimes of Water-Lubricated Diamond (111): Role of Interfacial Ether Groups and Tribo-Induced Aromatic Surface Reconstructions. Physical Review Letters, 119(9). doi:10.1103/physrevlett.119.096101

[70] Jae-Il Kim, Woo-Young Lee, Takayuki Tokoroyama, and Noritsugu Umehara (2023) Superlubricity with Graphitization in Ti-Doped DLC/Steel Tribopair: Response on Humidity and Temperature, ACS Applied Materials & Interfaces 15 (15), 19715-19729, DOI: 10.1021/acsami.3c01704

[71] Kuwahara, T., Long, Y., Martin, J. M., Moras, G., & Moseler, M. (2021). Superlow Friction of a-C:H Coatings in Vacuum: Passivation Regimes and Structural Characterization of the Sliding Interfaces. Coatings, 11(9), 1069. https://doi.org/10.3390/coatings11091069

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Kopási tulajdonságok vizsgálata nagy-entrópiájú ötvözetek esetében

Investigation of Wear Properties in High-Entropy Alloys

[1,2,3]Hareancz Ferenc, [1,2,3]Juhász Gergely, [1]Fábián Enikő Réka, [2]Vida Ádám

[1]Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, har.ferenc@gmail.com, gregoryshepard.95@gmail.com, fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu
[2]Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.Budapest, Magyarország, ferenc.hareancz@bayzoltan.hu, gergely.juhasz@bayzoltan.hu, adam.vida@bayzoltan.hu
[3]Neumann János Egyetem. Kecskemét, Magyarország, hareancz.ferenc@nje.hu, juhasz.gergely@nje.hu

Összefoglalás

A nagy-entrópiájú ötvözeket (angolul High-Entropy Alloys, HEA) az elmúlt évtizedben kiemelt figyelmet kaptak a korszerű anyagtudományos kutatásokban. Ezek az ötvözetek legalább öt fő alkotót tartalmaznak, melyek moláris aránya azonos, így létrejön egy összetett rendszer, amely rendkívül jó mechanikai és kopásállósági tulajdonságokat mutat.

Ez az irodalomkutatás a HEA-k kopási tulajdonságaira vonatkozó tudományos eredményeket foglalja össze. A kopási tulajdonságok javításában jelentős szerepe van az ötvözőként adagolt elemeknek. Ezek akár többszörösére is tudják növelni a felrakott réteg keménységét. Emellett a vizsgált tanulmányok áttekintik a különböző kopási vizsgálati módszereket, adhéziós és abrazív kopási tulajdonságok meghatározását. A kopási jelenségek numerikus modellezése

Az irodalmi összefoglalás célja, hogy képet adjon a HEA-k kopásállóságának jelenlegi tudományos állásáról, azonosítva a meglévő tudásbeli hiányosságokat, lehetséges fejlesztési irányokat.

Kulcsszavak: anyatudomány, nagy-entrópiájú ötvözetek, kopásvizsgálat, keménységmérés

Abstract

High-entropy alloys (HEA) have been a major focus of modern materials science research in the last decade. These alloys contain at least five main constituents in the same molar ratio, creating a complex system with very good mechanical and wear resistance properties.

This literature survey summarises the scientific results on the wear properties of HEAs. Elements added as additives play a significant role in improving the wear properties. They can increase the hardness of the applied layer up to several times. In addition, the studies reviewed give an overview of the different wear test methods, adhesion and abrasion wear properties. Numerical modelling of wear phenomena

The aim of the literature review is to provide an overview of the current state of the art of the science of wear resistance of HEAs, identifying existing knowledge gaps and possible directions for improvement.

Keywords: materials science, high-entropy alloys, wear testing, hardness measurement

1. Bevezetés

A hagyományos ötvözettervezési elvek szerint az anyagok egy fő elem köré épülnek, amelyhez kisebb mennyiségű ötvzőelemeket adnak hozzá a kívánt tulajdonságok elérése érdekében. A nagyentrópiájú ötvözetek (HEA) ezzel szemben több, általában öt vagy több fő elemet tartalmaznak közel egyenlő atomi arányban, amely egyedülálló tulajdonságokat eredményez. Ezen ötvözetek az elemek különleges kombinációjából adódóan magas hőállóságot, kiváló kopásállóságot és korrózióállóságot biztosítanak, ami számos ipari alkalmazásban, például vágószerszámokban, repülőgépipari alkatrészekben és energiaipari berendezésekben előnyös lehet [1-3].

A nagyentrópiájú ötvözetek előállítására több módszer létezik, beleértve az öntést, a porkohászati technikákat és az additív gyártási eljárásokat. Az egyik legígéretesebb technológia a lézeres felrakóhegesztés (LMD – Laser Metal Deposition), amely lehetővé teszi a komplex geometriájú bevonatok és alkatrészek gyártását [4,5].

2. Ötvözők tulajdonság befolyásoló hatásai

Az ötvözők tulajdonságbefolyásoló hatása jelentős mértékben függ az adott ötvöző típusától, koncentrációjától és a szövetszerkezetre gyakorolt hatásától. Az ötvözők különböző módon befolyásolják ezeket a tulajdonságokat.

Xiao és társai [5] $CoCrFeMnNiC_x$ ötvözetet vizsgáltak. A karbon hozzáadásakor a mintákban M7C3 típusú karbidokat figyeltek meg, ahol M fémeket jelöl. Az eredmények alapján az M7C3 fázis elsősorban krómot, karbont, vasat és mangánt tartalmaz, míg a mátrix főként kobaltból, nikkelből, vasból és mangánból áll. Ez azt jelenti, hogy az M_7C_3 fázis $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$ összetételű. A Fe és Mn koncentrációja mindkét fázisban hasonló, ami arra utal, hogy ezek az elemek kevésbé hajlamosak a szegregációra, mint a Co, Ni és Cr. A karbidok kiválása jelentősen javítják az ötvözet kopásállóságát. Nagyobb koncentrációban azonban ridegebb szerkezetek alakulhatnak ki, ami csökkentheti az ötvözet alakíthatóságát [5].

Xing és társai [6] az $FeCrNiMnAl_x$ ötvözet vizsgálva lapközepes köbös (LKK) szerkezetet mutat ki, míg az FeCrNiMnAl0.3 esetében LKK+TKK+B2 szerkezeteket is tartalmaz, az Al adagolással a LKK szerkezet fokozatosan csökken, miközben a TKK és B2 szerkezet növekszik. A magasabb Al-tartalmú HEA ötvözetek ($FeCrNiMnAl_{0.5}$, $FeCrNiMnAl_{0.8}$ és $FeCrNiMnAl_{1.0}$) TKK + B2 szerkezetet mutatnak. A növekvő Al- tartalommal az LKK fázis fokozatosan eltűnik és TKK és B2 fázissá alakul át. Ezen eredmény összhangban vannak Zhang és társai [7] kutatásaival. Hasonló szerkezetátalakulást figyelt meg Joseph és társai [8] az $Al_xCoCrFeNi$ ötvözetekben, ahol az LKK fázis fokozatosan eltűnt, és a növekvő Al-tartalommal TKK és B2 fázisokká alakult át. Wang és társai [9] az Al hozzáadásával bekövetkező átmenetet az $Al_xCoCrFeNi$ ötvözetekben a rácstorzulás által kiváltott instabilitással magyarázta. Az Al nagy atommérettel rendelkezik, ami hozzájárul ehhez a szerkezetváltozáshoz. Emellett az Al elősegíti egy oxidvédő réteg (Al_2O_3) kialakulását, amely javítja a korrózióállóságot [6].

Guo és társai [10] $CoCr_2FeNiTi_x$ ötvözetet vizsgáltak, 0 % Ti esetében egyfázisú LKK szilárd oldat jön létre, másodlagos fázisok jelenléte nélkül. A titántartalom növekedésével a $Ti_{0.5}$ bevonat szerkezete már LKK fázisokból és TiN kerámiafázisokból állhat. A TiN fázisok kialakulása a titán és a nitrogén közötti erős affinitásnak tulajdonítható. A TiN fázisok mennyisége arányosan nő a titántartalommal. Emellett a Ti és a többi négy elem közötti negatív keverési entalpia miatt könnyen képződnek intermetallikus vegyületek, Laves-fázisok jelennek meg. A rideg Laves-fázisok képződése növelheti a repedési hajlamot, repedések jelennek meg. Ti hozzáadásával a bevonatok keménysége eléri a 410 HV és 642 HV értékeket. Ebből látható, hogy az intermetallikus vegyületek jelentős mértékben növelik a keménységet és a kopásállóságot, azonban a repedések veszélye is megnő [10].

Byeli és társai [11] vizsgálatai alapján, Mo hozzáadásával jelentős a kopásállóság-javulást. A tanulmányok szerint a Mo kopott felületen molibdén-oxid (MoO_3) réteget képez, amely csökkenti a súrlódást és javítja a kopásállóságot. Wang és társai [12] vizsgálatai alapján a 4,0 tömeg%-os és magasabb Mo-tartalom a Mo_2C fázis megjelenéséhez vezet a bevonatban. A kutatás szerint a 6,0 tömeg%-os Mo-tartalmú bevonat kopásállósága körülbelül 3,7-szerese a Mo-mentes bevonaténak. A 2 tömeg%-os Mo-tartalmú bevonattal érhető el a legjobb korrózióállóság [13].

3. Kopási tulajdonságok vizsgálati módszerei

A kopási folyamatok vizsgálata fontos a különböző szerkezeti anyagok és bevonatok élettartamának meghatározásában. Az anyagok tribológiai tulajdonságainak értékelésére többféle laboratóriumi és numerikus vizsgálati módszer áll rendelkezésre, amelyek különböző mechanizmusok szerint határozzák meg az anyagvesztést és a súrlódási folyamatokat.

3.1 Bevonatok kopásvizsgálata

A kopási tulajdonságok meghatározására a legelterjedtebb laboratóriumi vizsgálati módszerek közé tartoznak az adhéziós és abrazív kopást mérő eljárások. Az adhéziós és abrazív kopás során az érintkező felületek közötti mechanikai súrlódás hatására anyagleválás történik. A leggyakrabban alkalmazott módszerek a pin-on-disk, block-on-ring és ball-on-disk teszt [14,15].

A pin-on-disk teszt esetében egy hengeres vagy kúpos próbatestet (pin) egy forgó tárcsa (disk) ellen préselnek állandó nyomás és sebesség mellett. Ez a módszer alkalmas az anyagpárosítások súrlódási együtthatójának (COF) és kopásállóságának meghatározására. A block-on-ring teszt esetében egy téglatest alakú mintát egy forgó gyűrűhöz szorítanak, és vizsgálják az anyagveszteséget, a súrlódási tényezőt és a keletkező kopásnyomot. Ez a módszer különösen fémek és bevonatok esetében hasznos. A ball-on-disk teszt esetében egy gömb alakú próbatestet egy sík tárcsára helyeznek, majd forgómozgást végeznek állandó nyomás mellett. A vizsgálat során rögzítik a súrlódási együttható alakulása az idő függvényében, a kopásnyom szélessége és mélysége és anyagleválás mennyiségét [14,15].

3.2 Kopási jelenségek numerikus modellezése és szimuláció

A kopási jelenségek numerikus modellezése és szimulációja lehetővé teszi a kopásfolyamatok pontosabb előrejelzését. Az Archard-féle kopási modell az egyik legelterjedtebb matematikai modell a kopás előrejelzésére. A modell azt feltételezi, hogy a kopás sebessége arányos az érintkezési felület nyomásával és a relatív mozgás hosszával. Az Archard-modell jól alkalmazható fémes és kerámia anyagok kopásállóságának vizsgálatára, különösen csúszókopás esetén. A kopási együtthatót kísérleti úton határozzák meg, és a modell segítségével előre jelezhető a várható élettartam különböző terhelési körülmények között [16].

4. Összegzés

A nagyentrópiájú ötvözetek egyedi összetétele és szövetszerkezete révén kiváló mechanikai és tribológiai tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek számos ipari alkalmazásban kihasználhatók. A lézeres felrakóhegesztés ígéretes technológia az ilyen ötvözetek bevonatként történő alkalmazására. Az ötvözőelemek megfelelő kombinációjának kiválasztása kulcsfontosságú az optimális tulajdonságok eléréséhez, figyelembe véve az adott ipari alkalmazás követelményeit.

5. Hivatkozások

[1] Murty, B., Yeh, J., Ranganathan, S., & Bhattacharjee, P. P. (2019). High-Entropy alloys. Elsevier.

[2] Miracle, D., & Senkov, O. (2016). A critical review of high entropy alloys and related concepts. Acta Materialia, 122, 448–511. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081

[3] Zhang, P., Li, Z., Liu, H., Zhang (2022). Recent progress on the microstructure and properties of high entropy alloy coatings prepared by laser processing technology: A review. Journal of Manufacturing Processes, 76, 397–411.

[4] Li, Y., & Shi, Y. (2020). Microhardness, wear resistance, and corrosion resistance of AlxCrFeCoNiCu high-entropy alloy coatings on aluminum by laser cladding. Optics & Laser Technology, 134, 106632. https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106632

[5] Xiao, J., Tan, H., Chen, J., Martini, A., & Zhang, C. (2020). Effect of carbon content on microstructure, hardness and wear resistance of CoCrFeMnNiCx high-entropy alloys. Journal of Alloys and Compounds, 847, 156533.

[6] Xing, X., Liu, Y., Hu, J., & Li, W. (2022). Effect of Al content on microstructure and wear properties of FeCrNiMnAlx high-entropy alloys. Materials Research Express, 9(3)

[7] Zhang, L., Guo, K., Tang, H., Zhang (2019). The microstructure and mechanical properties of novel Al-Cr-Fe-Mn-Ni high-entropy alloys with trimodal distributions of coherent B2 precipitates. Materials Science and Engineering A, 757, 160–171.

[8] Joseph, J., Jarvis, T., Wu, X.(2015). Comparative study of the microstructures and mechanical properties of direct laser fabricated and arc-melted Al x CoCrFeNi high entropy alloys. Materials Science and Engineering A, 633, 184–193.

[9] Wang, W., Wang, W., & Yeh, J. (2013). Phases, microstructure and mechanical properties of AlxCoCrFeNi high-entropy alloys at elevated temperatures. Journal of Alloys and Compounds, 589, 143–152. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.11.084

[10] Guo, Y., Shang, X., & Liu, Q. (2018). Microstructure and properties of in-situ TiN reinforced laser cladding CoCr2FeNiTi high-entropy alloy composite coatings. Surface and Coatings Technology, 344, 353–358. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.03.035

[11] Byeli, A., Lobodaeva, O., Shykh, S., & Kukareko, V. (1995). Microstructural variations and tribology of molybdenum-type high speed steel ion implanted with high current density nitrogen beams. Wear, 181–183, 632–637. https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)90179-5

[12] Wang, K., Chang, B., Chen, J., Fu, H., Lin, Y., & Lei, Y. (2017). Effect of molybdenum on the microstructures and properties of stainless steel coatings by laser cladding. Applied Sciences, 7(10), 1065. https://doi.org/10.3390/app7101065

[13] Singla, Y. K., Maughan, M. R., Arora, N., & Dwivedi, D. (2024). Enhancing the wear resistance of iron-based alloys: A comprehensive review of alloying element effects. Journal of Manufacturing Processes, 120, 135–160.

[14] Chuang, M., Tsai, M., Wang, W., Lin, S., & Yeh, J. (2011). Microstructure and wear behavior of AlxCo1.5CrFeNi1.5Tiy high-entropy alloys. Acta Materialia, 59(16)

[15] Hsu, C., Yeh, J., Chen, S., & Shun, T. (2004). Wear resistance and high-temperature compression strength of Fcc CuCoNiCrAl0.5Fe alloy with boron addition. *Metallurgical*

and Materials Transactions A, *35*(5), 1465–1469.

[16] Archard, J. F. (1953). Contact and rubbing of flat surfaces. *Journal of Applied Physics*, *24*(8), 981–988. https://doi.org/10.1063/1.1721448

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Vészhelyzeti konténer biztonságtechnikai rendszerének megtervezése

Design of an emergency container security systems

[1]Horváth-Kiss Anikó, [2]Ács Szilvia, [3]Fregan Beatrix, [4]Rajnai Zoltán

[1] Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, kiss.aniko@bgk.uni-obuda.hu
[2] Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, acs.szilvia@bgk.uni-obuda.hu
[3] Nemzeti Közszolgálati Egyetem. Budapest, Magyarország, fregan.beatrix@uni-nke.hu
[4] Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, rajnai.zoltan@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A tanulmány egy vészhelyzeti konténer biztonságtechnikai rendszerének tervezését és fejlesztését mutatja be, amely a 2018-1.3.1-VKE pályázati program keretében valósult meg. A projekt célja egy moduláris, integrált biztonsági infrastruktúra kialakítása, amely biztosítja a konténerek védelmét vészhelyzeti alkalmazások során.
A rendszer három fő elemből áll: kamerarendszer, beléptető rendszer és hangosítás, melyek egy közös platformba integrálva garantálják a folyamatos monitorozást és hozzáférés-szabályozást. A kutatás során meghatározásra kerültek a műszaki és funkcionális követelmények, különös tekintettel az adatkezelésre, környezeti ellenállóságra és skálázhatóságra.
A tervezett biztonsági megoldás megbízható, fenntartható és adaptálható, így alkalmas vészhelyzeti, ipari és katasztrófaelhárítási alkalmazásokra, hozzájárulva a mobil védelmi infrastruktúrák fejlődéséhez.

Kulcsszavak: Vészhelyzeti konténer, beléptető rendszer, kamerarendszer

Abstract

In January 2018, the National Office for Research, Development and Innovation announced the Competitiveness and Excellence Cooperation (2018-1.3.1-VKE) program, which aims to encourage long-term, strategically important cooperation between domestic enterprises and research and knowledge transfer organizations, which will result in commercially usable scientific results that meet industrial needs and solve social and economic challenges of paramount importance. The call supports the above objectives from the NKFI Fund. The consortium of the Ministry of the Interior HEROS Javító, Gyártó, Szolgáltató és Kereskedelmi Zrt. (hereinafter: HEROS Zrt.), H1 Systems Mérnöki Szolgáltatások Korlátolt Felelősségű Társaság and Óbudai Egyetem (Bánki Donát Faculty of Engineering and Management) for the "Establishment of a research collaboration and development of a prototype product family capable of developing and maintaining a modular communication infrastructure and technology built into a container for use in emergencies" was assessed as successful by the board. Within the framework of the aforementioned tender, two container prototypes will be produced in the project, and the consortium intends to install the system necessary for their implementation, which constitutes the security infrastructure of the containers: The publication presents the parameters that may meet the application requirements. The reference device types given in this technical specification serve to clarify the technical requirements.

Keywords: Emergency container, access control system, camera system

1. Bevezetés, alapinformációk

A 2018 januárjában a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal meghirdette a Versenyképességi és kiválósági együttműködések (2018-1.3.1-VKE) programot, amely pályázati felhívás célja olyan, hosszú távon fenntartható, stratégiai jelentőségű együttműködések ösztönzése hazai vállalkozások és kutató-tudásközvetítő szervezetek között, amelyek eredményeképpen ipari igényeket megvalósító, üzletileg is hasznosítható tudományos eredmények jönnek létre kiemelt jelentőségű társadalmi és gazdasági kihívások megoldására. A felhívás a fenti célokat az NKFI Alapból támogatja.

A Belügyminisztérium HEROS Javító, Gyártó, Szolgáltató és Kereskedelmi Zártkörűen Működő Részvénytársaság (továbbiakban: HEROS Zrt.), H1 Systems Mérnöki Szolgáltatások Korlátolt Felelősségű Társaság és az Óbudai Egyetem (Bánki Donát GBM Kar) konzorciuma a „Vészhelyzetekben alkalmazható, konténerbe épített, moduláris kommunikációs **infrastruktúra és technológia kialakítására és a fejlesztés fenntartására képes kutatási együttműködés létrehozása valamint prototípus termékcsalád kifejlesztése”** pályázatát a testület eredményesnek értékelte.

A projekt azonosító száma: 2018-1.3.1-VKE-2018-00034.

A fent említett pályázat keretében a projektben két konténer prototípus készül el, és a konzorcium az ezek megvalósításához szükséges, a konténerek biztonságtechnikai infrastruktúráját képező rendszert kívánja telepíteni:

1. Kamera rendszer
2. Beléptető rendszer
3. Hangosítás

A projekt keretében a biztonságtechnikai rendszer tervezését kívánjuk bemutatni.

A fő feladatok végrehajtásához a projekt szakmai vezetőjével, a biztonságtechnikai rendszer kiépítésében feladatokat vállaló HEROS Zrt. mérnökeivel és a fizikai megvalósítást végző szakemberekkel folyamatosan konzultáltam, majd a tervezési alapadatok rendelkezésre állását követően elkészítettük az említett három rendszer integrált tervét egy konténerre.

A kutatások során elvégeztük:

– a feladat pontosítását,
– a biztonságtechnikai rendszer speciális követelményeinek megfelelő szabvány kutatást, feltárást,
– a műszaki követelmények meghatározását,
– a rendszerelemek és a komplex rendszer megtervezését.

A rendszer műszaki követelményeit és tartalmi leírását a későbbiekben a konzorcium beszerzési eljárás során felhasználta.

2. A konténerbe tervezett eszközökkel szemben támasztott általános követelmények

A tervezés megkezdése előtt meghatároztam azokat a paramétereket, amelyek az alkalmazási követelményeknek megfelelhetnek. Ezt a műszaki vezetővel, illetve a konzorcium projekt irányító testületével egyeztettem.

Ennek megfelelően összefoglalom a tervezett rendszerrel és eszközökkel szemben támasztott műszaki követelményeket. A tervezéshez referencia eszközöket kellett használnom, hogy bemutathassam a rendszer által biztosított szolgáltatásokat.

A jelen műszaki specifikációban megadott referencia eszköztípusok a műszaki követelmények egyértelműsítését szolgálják. A tervezés, majd a kivitelezés során azokkal műszakilag egyenértékű berendezéseket is beépíthet a konzorcium, feltéve, hogy a módosult eszközök bizonyíthatóan egyenértékűek a referencia eszköztípusokkal. [1]

Minden, a telepítés során beépítendő rendszerrel, berendezéssel, eszközzel szemben elvárás, hogy szerkezeti és funkcionális károsodás nélkül el kell tudnia viselni a konténer szállítása közben fellépő mozgatást, rázkódást. A konténer szállítása közbeni működés nem volt feltétel a tervezés szempontjai között.

A tervezéshez úgy kellett elkészíteni a blokkokat, hogy az a javasolt eszközökön/rendszereken kívül tartalmazza a referencia berendezések működéséhez szükséges szoftverek és licencek mellett:

- a beépítendő alrendszerek, szoftverek és hardverek helyszíni telepítésének lehetőségét,
- a szállítandó szoftverek és hardverek teljes körű rendszerintegrációjának lehetőségét,
- a szállítandó hardverek és szoftverek rendszertámogatási rendelkezésre állását minimálisan 1 éves periódusra, valamint
- a felépített rendszer használatának oktatási/betanítási lehetőségét is.

A konténerek tervezést és jóváhagyást követő telepítése és üzembehelyezése a HEROS Zrt. budapesti telephelyén történt.

További elvárás volt, hogy a tervezett rendszerek egy közös szoftver platform alá integrálhatók legyenek! Az elvárt funkcionalitást az 1. táblázat piros kerettel megjelölt oszlopa tartalmazza. A szoftver platform a szükséges operációs rendszerrel szintén a tervezett biztonságtechnikai rendszer részét képezi. (A referencia berendezések esetében ez a Milestone XProtect® Express+ program.)

3. Részletes műszaki specifikációk a tervezéshez

A konténerek ITV rendszerét IP alapú kamerarendszerre kellett tervezni. A kamerák képeit digitális formában H264, vagy H265 formátumban, 1920x1080 felbontásban, 30 kép/másodperc képfrissítés mellett kell rögzíteni, a kamerák képeit a konténer virtuális szerverén kell rögzíteni legalább 30 nap tárolókapacitás mellett.

A rögzítő szervereknek támogatnia kell a virtuális technológiát, mivel virtuális szerverekre kell telepíteni. A rögzítő szervernek támogatnia kell legalább 48 kamera egyidejű rögzítését, a videó rögzítő szervernek pedig támogatnia kell a nagy tároló kapacitású (> 100TB) rendszerekre történő írási és olvasási műveleteket.

Az alkalmazott IP kamerák legalább két független H264 vagy H265 videojelfolyam előállítására legyenek képesek. A kamerák fix dome kivitelűek legyenek és rendelkezzenek legalább IP66-os környezetállósággal és IK10-es vandálbiztos kialakítással. A tápellátásukat szabvány PoE/PoE+ (IEEE 802.3af/at) technológia segítségével valósítsák meg, amelyet a konténer aktív hálózati berendezései biztosítanak.

Az általános állomási kamerákkal kapcsolatos főbb követelmények:

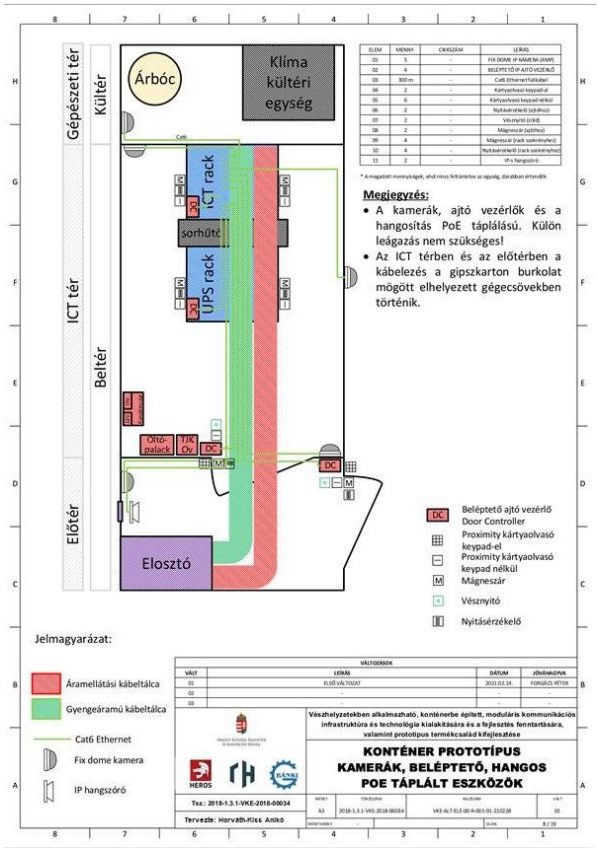
- kültéri kivitel
- IP66-os környezetállóság
- IK10-es törésállóság tanúsítvány
- 1920x1080 felbontású kép
- színes kép 0,1 lux megvilágítás mellett
- automatikus nappali-éjszakai üzemmód váltás

- távolról állítható képélesség, és fókusztávolság
- WDR funkció (a környezetnek megfelelő automatikus fényerő beállítás)
- „ZIPstream” vagy azzal egyenértékű technológia támogatása (sávszélesség és tárolókapacitás csökkentő technológia H264 videojelfolyam esetén)
- mozgásdetektálás
- szabotázsérzékelés
- működési hőmérséklettartomány: -40°C - + 50°C
- támogatott protokollok: IPv4, IPv6 USGv6, HTTP, HTTPS, SSL/TLS, QoS Layer3 DiffServ, FTP, SFTP, CIFS/SMB, SMTP, Bonjour, UPnP®, SNMP v1/v2c/v3(MIB-II), DNS, DynDNS, NTP, RTSP, RTP, SRTP, TCP, UDP, IGMP, RTCP, ICMP, DHCP, ARP, SOCKS, SSH, SIP, LLDP

Az alábbi sematikus rajz (1. ábra) mutatja a tervezett, a konténeren elhelyezendő kamerák helyét.

A konténer tervezési adataihoz referencia kamera típust kerestünk, és a műszaki paraméterek alapján a legmegfelelőbbnek az AXIS P3245-LVE Network Kamera-t javasoltuk. A kamera paramétereit a 2. ábra szemlélteti.

Külön feladat volt, hogy menedzsment rendszerhez, a kamerák képének kezeléséhez referencia videomenedzsment szoftvert is javasoljunk, erre a feladatra a Milestone XProtect® Express+ menedzsment rendszer piros keretben lévő XProtect Express+ szoftvert találtuk a legmegfelelőbbnek. Ez látható a 3. ábrán.



1. ábra A konténerben elhelyezésre tervezett biztonságtechnikai eszközök helye

AXIS P3245-LVE Network Camera

Camera	
Image sensor	1/2.8" progressive scan RGB CMOS
Lens	Varifocal, 3.4–8.9 mm, F1.8 Horizontal field of view: 100°–36° Vertical field of view: 53°–20° Remote zoom and focus, P-Iris control, IR corrected
Day and night	Automatically removable infrared-cut filter
Minimum illumination	**With Forensic WDR and Lightfinder 2.0:** **Color:** 0.1 lux at 50 IRE, F1.8 **B/W:** 0.02 lux at 50 IRE, F1.8; 0 lux with IR illumination on
Shutter time	1/66500 s to 2 s
Camera angle adjustment	Pan ±180°, tilt ±75°, rotation ±175°
Video	
Video compression	H.264 (MPEG-4 Part 10/AVC) Baseline, Main and High Profiles H.265 (MPEG-H Part 2/HEVC) Main Profile Motion JPEG
Resolution	1920x1080 to 160x90
Frame rate	**With WDR:** 25/30 fps with power line frequency 50/60 Hz **Without WDR:** 50/60 fps with power line frequency 50/60 Hz
Video streaming	Multiple, individually configurable streams in H.264, H.265, and Motion JPEG Axis Zipstream technology for H.264 and H.265 Controllable frame rate and bandwidth VBR/ABR/MBR H.264/H.265
Multi-view streaming	Up to 2 individually cropped out view areas in full frame rate
Image settings	Compression, color saturation, brightness, sharpness, contrast, local contrast, white balance, day/night threshold, tone mapping, exposure control (including automatic gain control), exposure zones, defogging, Forensic WDR: up to 120 dB depending on scene, barrel distortion correction, fine tuning of low-light behavior, dynamic text and image overlay, privacy masks, mirroring, rotation: 0°, 90°, 180°, 270°, including Corridor Format
Pan/Tilt/Zoom	Digital PTZ, preset positions
Audio	
Audio streaming	Full duplex
Audio compression	48bit LPCM, AAC-LC 8/16/32/44.1/48 kHz, G.711 PCM 8 kHz, G.726 ADPCM 8 kHz, Opus 8/16/48 kHz Configurable bit rate
Audio input/output	External microphone input, line input, digital input with ring power, line output
Network	
Security	Password protection, IP address filtering, HTTPS[3] encryption, IEEE 802.1X (EAP-TLS)[3] network access control, digest authentication, user access log, centralized certificate management, brute force delay protection, signed firmware, secure boot
Supported protocols	IPv4, IPv6 USGv6, HTTP, HTTPS[3], SSL/TLS[3], QoS Layer 3 DiffServ, FTP, SFTP, CIFS/SMB, SMTP, Bonjour, UPnP®, SNMP v1/v2c/v3 (MIB-II), DNS, DynDNS, NTP, RTSP, RTP, SRTP, TCP, UDP, IGMP, RTCP, ICMP, DHCP, ARP, SOCKS, SSH, SIP, LLDP
System integration	
Application Programming Interface	Open API for software integration, including VAPIX® and AXIS Camera Application Platform; specifications at *axis.com* AXIS Guardian with One-Click Connection ONVIF® Profile G, ONVIF® Profile S, and ONVIF® Profile T, specification at *onvif.org* Support for Session Initiation Protocol (SIP) for integration with Voice over IP (VoIP) systems, peer to peer or integrated with SIP/PBX
Analytics	**Included** AXIS Video Motion Detection, active tampering alarm Audio detection **Supported** AXIS Perimeter Defender, AXIS Guard Suite including AXIS Motion Guard, AXIS Fence Guard, and AXIS Loitering Guard, AXIS Occupancy Estimator, AXIS Queue Monitor, AXIS People Counter, AXIS Tailgating Detector, AXIS Direction Detection, AXIS Random Selector Support for AXIS Camera Application Platform enabling installation of third-party applications, see *axis.com/acap*
Event conditions	Analytics, external input, supervision of input, edge storage events, virtual inputs through API
Event actions	Record video: SD card and network share Upload of images or video clips: FTP, SFTP, HTTP, HTTPS, network share, and email Pre- and post-alarm video or image buffering for recording or upload Notification: email, HTTP, HTTPS, TCP, and SNMP trap Overlay text, external output activation, play audio clip, make call
Data streaming	Event data
Built-in installation aids	Pixel counter, remote focus, remote zoom OptimizedIR with adjustable IR illumination intensity
General	
Casing	IP66- and NEMA 4X-rated, IK10 impact-resistant casing with hard-coated dome and dehumidifying membrane Encapsulated electronics and captive screws Color: white NCS S 1002-B For repainting instructions and impact on warranty, contact your Axis partner.
Mounting	Mounting bracket with holes for junction box (double-gang, single-gang, and 4" octagon) and for wall or ceiling mount ¼"–20 UNC tripod screw thread
Sustainability	PVC free
Memory	1024 MB RAM, 512 MB Flash
Power	Power over Ethernet (PoE) IEEE 802.3af/802.3at Type 1 Class 3 Typical 6.4 W, max 11.3 W
Connectors	RJ45 10BASE-T/100BASE-TX PoE I/O: 4-pin 2.5 mm (0.098 in) terminal block for 1 supervised digital input and 1 digital output (12 V DC output, max. load 25 mA) Audio: 4-pin 2.5 mm (0.098 in) terminal block for audio in and out
IR illumination	OptimizedIR with power-efficient, long-life 850 nm IR LEDs Range of reach 40 m (130 ft) or more depending on the scene
Storage	Support for microSD/microSDHC/microSDXC card and encryption Recording to network-attached storage (NAS) For SD card and NAS recommendations see *axis.com*
Operating conditions	-40 °C to 50 °C (-40 °F to 122 °F) Maximum temperature (intermittent): 55 °C (131 °F) Start-up temperature: -30 °C to 50 °C (-22 °F to 122 °F) Humidity 10–100% RH (condensing)
Storage conditions	-40 °C to 65 °C (-40 °F to 149 °F) Humidity 5–95% RH (non-condensing)
Approvals	**EMC** EN 55032 Class A, EN 50121-4, IEC 62236-4, EN 55024, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, FCC Part 15 Subpart B Class A, ICES-3(A)/NMB-3(A), VCCI Class A, RCM AS/NZS CISPR 32 Class A, KC KN32 Class A, KC KN35 **Safety** IEC/EN/UL 62368-1, IEC/EN/UL 60950-22, IS 13252, IEC/EN 62471 **Environment** IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2, IEC 60068-2-6, IEC 60068-2-14, IEC 60068-2-27, IEC 60068-2-30, IEC 60068-2-78 IEC/EN 60529 IP66, IEC/EN 62262 IK10, NEMA 250 Type 4X **Network** NIST SP500-267
Dimensions	**Without weathershield:** Height: 104 mm (4.09 in) ø 149 mm (5.87 in)
Weight	**With weathershield:** 800 g (1.8 lb)
Included accessories	Installation guide, Windows® decoder 1-user license, drill template, Resistorx® T20 L-key, terminal block connectors, cable gaskets, connector guard

2. ábra Az AXIS P3245-LVE Network Kamera paraméterei

XProtect VMS Products	XProtect Essential+	XProtect Express+	XProtect Professional+	XProtect Expert	XProtect Corporate
Key Features					
Type of deployment	Single-server	Single-server	Centrally managed, multi-server	Centrally managed, multi-server	Centrally managed, distributed sites
Licensing	Free	Perpetual	Perpetual	Perpetual	Perpetual
Number of hardware devices[1] per software license	8	48	Unrestricted	Unrestricted	Unrestricted
Number of cameras[2] per recording server	8	48	Unrestricted	Unrestricted	Unrestricted
Number of recording servers per system	1	1	Unrestricted	Unrestricted	Unrestricted
Maximum numbers of users	Unrestricted	Unrestricted	Unrestricted	Unrestricted	Unrestricted
Customer Dashboard and Connected Services[3]	-	Supported	Supported	Supported	Supported
Alarm Manager	-	Yes	Yes	Yes	Yes
Video out via Milestone ONVIF Bridge	-	Yes	Yes	Yes	Yes
Dual authorization (Smart Client users)	-	Yes	Yes	Yes	Yes
Supports XProtect Smart Client, XProtect Web Client and XProtect Mobile	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Secure HTTPS camera connectivity (on supported devices)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Map function	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Third-party application integration and support for video analytics[4]	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Built-in Video Motion Detection (VMD) with Auto adjustable VMD sensitivity	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
H.264, MJPEG, MPEG-4, MPEG-4 ASP & MxPEG	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
H.265[5]	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Adaptive streaming	-	-	-	Yes	Yes
Microsoft Active Directory support	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Kerberos authentication	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Metadata support	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Centralized management	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Flexible event rule engine	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Hardware accelerated video decoding for Video Motion Detection (Quick sync)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Hardware accelerated video decoding for Video Motion Detection (NVIDIA)	-	-	-	Yes	Yes
Hardware accelerated video decoding in the Mobile Server	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Support for live video play without recording storage	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Edge Storage and Scalable Video Quality Recording™	-	-	Yes	Yes	Yes
Smart Map functions	-	-	-	Yes	Yes
Media database encryption and digital signing	-	-	-	Yes	Yes
Recording Server communication encryption	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Management Server communication encryption	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Mobile Server communication encryption	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Hot- & cold-failover recording server	-	-	-	Yes	Yes
Evidence Lock	-	-	-	-	Yes
Supports XProtect Smart Wall	-	-	-	Option	Included
Milestone Federated Architecture™	-	-	-	Remote site	Central/ Remote site
Milestone Interconnect™	-	Remote site	Remote site	Remote site	Central/ Remote site

3. ábra Video menedzsment szoftverek

A két konténer biztonságtechnikai eszközeire az alábbi tervezési és beszerzési mennyiséggel számoltunk:

1. táblázat Tervezési és beszerzési mennyiségek

Típus	Mennyiség
1. Kamera	
AXIS P3245-LVE Network Kamera	10 db
AXIS Weathershield Kit R	4 db
2. Video Management System	
Milestone XProtect® Express+	2 db
Operációs rendszer (Microsoft® Windows® Server 2019 (64 bit): Essentials)	2 db

3.1 Beléptető rendszer követelményeinek meghatározása, referencia eszközök

A beléptető rendszer alap feladata a konténerbe belépő személyforgalom ellenőrizhető módon történő biztosítása. Azonosítani kell tudni, hogy a belépett személy(ek) mely főbb területi egységen dolgozik/tartózkodik, esetleg belépett-e munkavégzésre a konténer ICT terébe, illetve elhagyta-e azt.

Ennek a követelménynek a megvalósulásához külön beléptetési pontokat kellett kialakítanom

- a konténer bejáratánál,
- az ICT tér bejáratánál,
- továbbá a rack szekrények első és hátsó ajtóin.

A beléptető rendszer központi szerver alkalmazása virtuális szerverekre kerül elhelyezésre, az alkalmazott alap operációs rendszer a WINDOWS 64bit operációs rendszer, erre telepítve, virtualizált szerver környezetben történik a beléptető rendszer működése. [2]

A konténer belépési pontok kialakítása minden esetben kétirányú belépési pontokkal történik. Mind KI, mind BE irányban egy-egy kártyaolvasó kerül elhelyezésre. A ***KI,*** illetve ***menekülési*** irányban kézi működtetésű zöld színű „Vésznyitó” felirattal ellátott vésznyitót terveztem felszerelni. A kártyaolvasók egyaránt alkalmasak kül- és beltéri használatra, műgyantával kitöltött kivitelűek. A kártyaolvasók érintés nélkül működnek, a felhasználóknak a kártyájukat nem kell fizikailag odaérinteni az olvasóhoz, elég ahhoz csak hozzá közelíteni (határértékre a kártyaolvasók jelentős részének távolságtűrési értékére a 16,5 cm-en belüli értéket terveztük).

A belépési pontokon az ajtónyitás figyelésére és a zártsági állapot ellenőrzésére az ajtókra nyitásérzékelők felszerelése látszott kézenfekvőnek a tervezéshez. A nyitásérzékelők olyan típusúak, melyek alkalmasak fém ajtókhoz, felület szereltek (ajtó kialakítástól függően csavarkötéssel vagy ragasztással rögzítettek). A nyitásérzékelők állapotának jelzése a munkaállomásokon megjeleníthető (például: erőszakos nyitás – ajtónyitás olvastatás nélkül, ajtó túl sokáig nyitva – kitámasztott ajtó, stb).

A beléptető ajtóvezérlő eszközöknek közvetlenül kell kapcsolódniuk a konténer IP hálózatára, a kapcsolódáshoz csak IP cím szükséges, tápellátásukat a helyi switchekből nyerik, PoE+ megtáplálással. A beléptető terminálok rendelkeznek a megfelelő csatlakozási felülettel a perifériákhoz (olvasó csatlakoztatás, nyitásérzékelő fogadása, zárvezérlési kimenetek, egyéb bemenetek szabotázsvédelemhez, illetve külső eszközök fogadásához, mint például támadásjelzők).

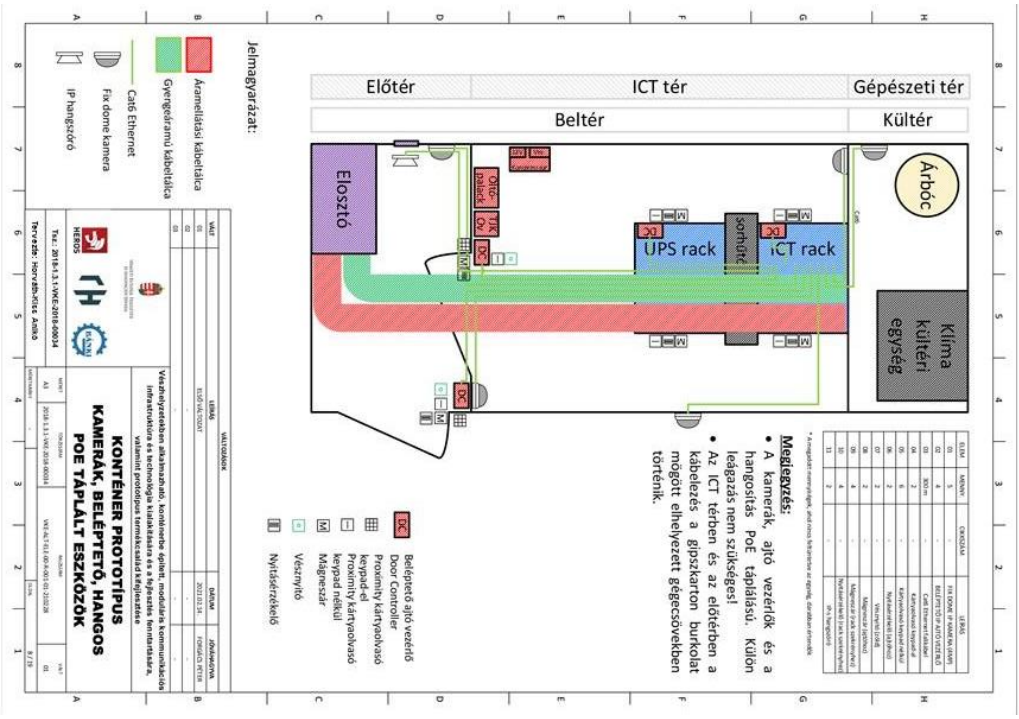
Direkt csatlakozási felület található rajtuk DSC típusú behatolásjelző rendszerek integrálásához.

A beléptető vezérlőket közvetlenül IP hálózaton keresztül a szerver/gateway alkalmazással terveztem megoldani, mert ennek megfelelően kommunikálnak, így a kommunikáció csak akkor jön létre, ha ténylegesen esemény történik a beléptető terminálon, és ezzel nem terhelik feleslegesen az IP hálózat forgalmát.

A perifériák (kártyaolvasók, nyitásérzékelők, egyéb eszközök) csatlakoztatása a beléptető terminálhoz CAT5e FTP, halogénmentes kábellel terveztük kiépíttetni. A terminálok elhelyezkedését közvetlenül a belépési pont közelébe terveztük, így a perifériák kábelezése és védőcsövezése a minimálisra csökkenthető. [3]

Az elektromos zárfogadók, síktapadó mágnesek tápellátása külön segédtápról történik. A beléptető terminálok relé panelen keresztül vezérlik a segédtápokból megtáplált zárfogadókat, síktapadó mágneseket. A segédtápoktól az elektromos zárfogadók, illetve a síktapadó mágnesekig a vezetékeket 2x0,75 mm2-es halogénmentes sodrott rézvezetékkel javasoltuk.

Az alábbi sematikus rajz mutatja a konténerben elhelyezendő beléptető pontokat (4. ábra).



4. ábra Beléptető pontok

A beléptető rendszerrel szemben támasztott követelmények alapján referencia eszközt kellett javasolnunk az IP vezérlőkre, ehhez a legalkalmasabb típusnak az AXIS A1001 Network Door Controller-t találtuk. Ennek a controllernek a gyártói paramétereit mutatja az alábbi táblázat (5. ábra):

AXIS A1001 Network Door Controller

Door controller	
Readers	Up to 2 readers per controller (Wiegand, RS485 (OSDP)) with supported card formats. Integration with ASSA ABLOY Aperio® wireless lock technology. Integration with SimonsVoss SmartIntego wireless lock technology.
Doors	1–2 wired doors or 1 wired door together with a single wireless lock gateway per controller[a]
Credentials	Up to 50 000 with third-party access management software depending on server capacity, or up to 400 with AXIS Entry Manager.
Event history	30 000 First In, First Out (FIFO) per controller
Access schedules	Unlimited or third-party software dependent
I/O interface	
I/O functionality	**Reader I/O**: DC output: 2x 12 V DC output max 300 mA; 2x 4 configurable inputs/outputs, (Digital input: 0 to max 40 V DC, Digital output: 0 to max 40 V DC, Open drain, max 100 mA) **Reader data**: RS485 full duplex, RS485 half duplex, Wiegand **Auxiliary**: 1x 3.3 V DC output, max 100 mA 2x configurable inputs/output (Digital input: 0 to max 40 V DC, Digital output: 0 to max 40 V DC, Open drain, max 100 mA) **Door connectors**: 2x 2 input for door monitors and REX (Digital input: 0 to max 40 V DC) Pre-configured for readers and door monitors, Input trigger, Output toggle/pulse
Network	
Security	Password protection, IP address filtering, HTTPS[b] encryption, IEEE 802.1X network access control, Digest authentication, User access log
Supported protocols	IPv4, HTTP, HTTPS[b], TLS[b], QoS layer 3 DiffServ, FTP, SMTP, Bonjour, UPnP™, SNMPv1/v2c/v3 (MIB-II), DNS, DynDNS, NTP, RTSP, RTP, TCP, UDP, IGMPv1/v2/v3, RTCP, ICMP, DHCP, ARP, SOCKS
System integration	
Application Programming Interface	Open API for software integration, including VAPIX®, specifications at *www.axis.com* AXIS Video Hosting System (AVHS) with One-Click Connection ONVIF Profile C and ONVIF Profile A, specification at *www.onvif.org*
Supported products	AXIS A9188 Network I/O Relay Module AXIS A4010-E Reader AXIS A4011-E Reader AXIS Access Card 1K Aperio RS485 Communication Hub SmartIntego TCP/IP GatewayNode
Events & alarms	
Tamper detection	Removal of unit cover/tamper front Removal of unit from wall/tamper back, Reader tamper
Event log	Configurable by time and topic, Alarm acknowledgement
Event actions	Notification via email, HTTP and TCP, External output port Status LED
Event triggers	Tamper detection, Power loss, Network lost, Configuration, Door, Event logger, Hardware, Input signal, Schedule, System, Time
General	
Casing	Plastic
Software	Configuration and basic access control management through Internet Explorer, Firefox, Chrome, or Safari **Supported languages:** English, French, Italian, German and Spanish
Memory	256 MB RAM, 500 MB Flash
Power	**Power in**: 10–30 V DC, max 26 W or Power over Ethernet IEEE 802.3af/802.3at Type 1 Class 3 **Power out & relay**: 1x 12 V DC, max 500 mA 1x solid state relay 30 V DC, max 700 mA **Power out lock**: 2x 12 V DC, max 500 mA **Total power budget if powered by DC**: 1166 mA at 12 V for peripheral devices (locks, readers etc.) **Total power budget if powered by PoE**: 625 mA at 12 V for peripheral devices (locks, readers etc.)
Connectors	RJ45 10BASE-T/100BASE-TX Terminal blocks: DC power, 10 Inputs/Outputs, RS485/Wiegand, Relay, Cable size for connectors: CSA: AWG 28–16, CUL/UL: AWG 30–14
Operating conditions	0°C to 50°C (32 F to 122 F) Humidity 20–85% RH (non-condensing)
Approvals	EN 55022 Class B, EN 50130-4, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 55024, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, FCC Part 15 Subpart B Class B, ICES-003 Class B, C-tick AS/NZS CISPR22 Class B, VCCI Class B, IEC/EN/UL 60950-1, UL 294, UL 2043, EN 50581
Dimensions	45.5 x 180 x 180 mm (1.8 x 7.1 x 7.1 in)
Weight	500 g (1.1 lb)
Included accessories	Connector kit, Cable ties, Installation Guide
Optional accessories	AXIS T8120 Midspan 15 W, AXIS T8128 PoE Splitter 24 V (requires 30 W midspan), AXIS T8129 PoE Extender Mains adaptor 24 V DC, AXIS T98A15-VE Surveillance Cabinet[c]
Warranty	5-year warranty, see *axis.com/warranty*

a. *Power consumption dependent; max load for locks, readers and other equipment is 7.5 W with PoE and 14 W with 10–30 V DC.*
b. *This product includes software developed by the OpenSSL Project for use in the OpenSSL Toolkit (http://www.openssl.org/), and cryptographic software written by Eric Young (eay@cryptsoft.com).*
c. *In outdoor installations combining AXIS A1001 and AXIS T98A15-VE, the allowed maximum voltage is 30 V DC.*

Environmental responsibility:

axis.com/environmental-responsibility

5. ábra A controller a gyártói paraméterei

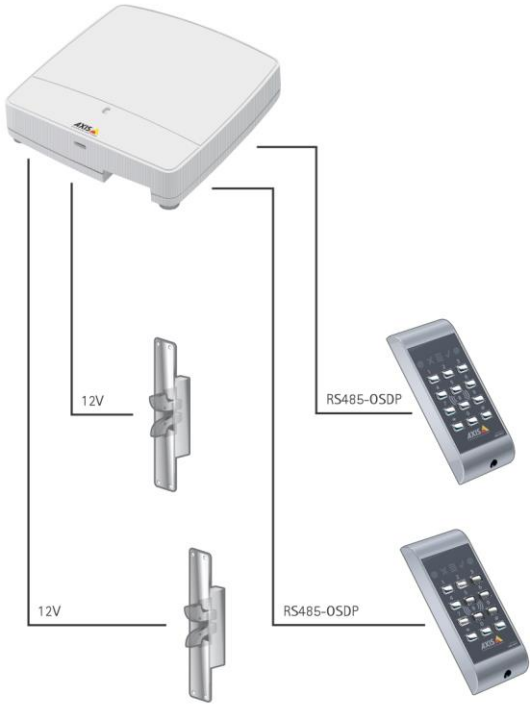
A kártyaolvasókkal szembeni követelményekre is javaslatot kellett tennem referencia eszközökkel, a gyártói adatok alapján a konténer biztonságtechnikai rendszerébe a tervezéshez használt típus az AXIS A4011-E Reader és AXIS A4010-E Reader. A gyártói referencia adatok a következők (6. ábra):

AXIS A4011–E Reader

Compatible products	AXIS A1001 Network Door Controller, AXIS A1601 Network Door Controller
Indications and user interface	
Entry authentication	Card, tag, PIN-code, door-code
Read range	30–40 mm with recommended cards and tags
Alarm status indication	Symbols for: Access granted, access denied, keypad, armed, disarmed
General	
Casing	Housing: ABS and halogen free halon plastic Mounting frame: Casted metal
Reader technology	Generic 13,56 MHz (MIFARE Classic, MIFARE Plus (Level 1 and 3), MIFARE DESFire EV1, iCLASS® CSN and iCLASS® SEOS™[a]
Communication	RS–485 – OSDP
Power	12V DC min. 110 mA@12V without background lighting and no door code or larm status indication max. 160 mA@12V background lighting always on, door code active and active larm status indication peak 200 mA@12V
Operating conditions	-25 °C to 70 °C (-13 °F to 158 °F)
Approvals	EN/IEC 61000-6-2, EN/IEC 61000-6-3, FCC part 15 subpart 15, AS/NZS 4268, RSS-GEN, RSS-210, EN 50581, EN/IEC 60950-1, EN/IEC 60950-22, ETSI EN 300 330–2, ETSI EN 301 489-1, ETSI EN 301 489-3, UL294
Tamper switch	Built-in tamper switches between housing and wall, and optical tamper switch if open casing.
Dimensions	157 x 62 x 22 mm (6.2 x 2.4 x 0.87 in)
Weight	270 g (0.59 lb)
Warranty	3-year warranty, see *axis.com/warranty*

a. *Extra configuration card needed, sold separately.*

Environmental responsibility:
axis.com/environmental-responsibility



6. ábra Gyártói referencia adatok

4. Konklúzió

A tervezett konténer biztonsági védelmére a következő, mára elérhető árú (2-300.000Ft) kombinált hő és nagyfelbontású IP kamerákat lehetne alkalmazni, egy távolról is elérhető képfeldolgozó és kiértékelő szoftverrel ellátott NVR berendezéshez csatlakoztatva. Ezzel már idejében észlelni lehetne az objektumhoz közelítő embereket.

A kamerák értékes objektívjeinek védelmére az eszközöket mindig csak a telepítés helyén, a konténer letelepítése után kellene a megfelelő helyre rögzíteni és csatlakoztatni.

A tervezési szempontok alapján telepített eszközök komplex tesztje azt mutatta, hogy jól választottuk ki a szükséges eszközöket, a teszteredmények a gondos kutatást igazolták.

Köszönetnyilvánítás

A jelen dolgozatban bemutatott kutatási munka a 2018-1.3.1-VKE-2018-00034 „Vészhelyzetekben alkalmazható, konténerbe épített, moduláris kommunikációs infrastruktúra és technológia kialakítására és a fejlesztés fenntartására képes kutatási együttműködés létrehozása, valamint prototípus termékcsalád kifejlesztése” című project támogatásával valósult meg.

5. Hivatkozások

[1] Dr Kovács Tibor és Dr. Horvát Tamás: Hőkamerák a biztonságtechnikában, SECURINFO Biztonságtechnikai szakportál 2012. május (letöltve: 2024. szeptember) https://www.securinfo.hu/termekek/videotechnika/775-hokamerak-a-biztonsagtechnikaban-2-az-erzekelo-a-bolometer.html.

[2] http://oktel.hu/szolgaltatas/kamerarendszer/hokamerak/ (letöltve: 2024. szeptember)

[3] https://www.powerbizt.hu/termekek/ds-2td1217-6v1/9140 (letöltve: 2024. szeptember)

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Vészhelyzeti konténer különleges rendszerei

Emergency container special systems

[1]Horváth-Kiss Anikó, [2]Ács Szilvia, [3]Fregan Beatrix, [4]Rajnai Zoltán

[1] *Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, kiss.aniko@bgk.uni-obuda.hu*
[2] *Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, acs.szilvia@bgk.uni-obuda.hu*
[3] *Nemzeti Közszolgálati Egyetem. Budapest, Magyarország, fregan.beatrix@uni-nke.hu*
[4] *Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, rajnai.zoltan@bgk.uni-obuda.hu*

Összefoglalás

A tanulmány egy vészhelyzeti konténer speciális biztonságtechnikai rendszereit mutatja be, amely a 2018-1.3.1-VKE pályázati program keretében valósult meg. A projekt célja egy moduláris kommunikációs infrastruktúra és fejlett védelmi rendszer kialakítása, amely biztosítja a konténerek megbízható és önálló működését vészhelyzeti környezetben.
A kutatás során három kulcsfontosságú alrendszer került kidolgozásra: IP-alapú kamerarendszer, beléptető rendszer és hangos rendszer, amelyek egy közös biztonsági platformba integrálva garantálják a hatékony felügyeletet és hozzáférés-szabályozást. A tanulmány részletesen ismerteti a rendszer tervezési követelményeit, a műszaki paramétereket és az alkalmazott referenciaeszközöket, kiemelve az automatizált üzemeltetés, a távoli felügyelet és a skálázhatóság jelentőségét.
A kutatás eredményei igazolják, hogy a fejlesztett biztonságtechnikai megoldás innovatív, megbízható és hosszú távon fenntartható, amely nemcsak vészhelyzeti alkalmazásokban, hanem ipari és katasztrófaelhárítási környezetekben is hatékonyan alkalmazható.
Kulcsszavak: Vészhelyzeti konténer, hangos rendszer, kamerarendszer

Abstract

In January 2018, the National Office for Research, Development and Innovation announced the Competitiveness and Excellence Cooperation (2018-1.3.1-VKE) program, which aims to encourage long-term, strategically important cooperation between domestic enterprises and research and knowledge transfer organizations, which will result in commercially usable scientific results that meet industrial needs and solve social and economic challenges of paramount importance. The call supports the above objectives from the NKFI Fund. The consortium of the Ministry of the Interior HEROS Javító, Gyártó, Szolgáltató és Kereskedelmi Zártkörűen Működő Részvénytársaság (hereinafter: HEROS Zrt.), H1 Systems Mérnöki Szolgáltatások Korlátolt Felelősségű Társaság and Óbuda University (Bánki Donát Faculty of Engineering and Management) for the “Establishment of a research collaboration and development of a prototype product family capable of developing and maintaining a modular communication infrastructure and technology built into a container for use in emergencies” was assessed as successful by the board. Within the framework of the aforementioned tender, two container prototypes will be produced in the project, and the consortium intends to install the system necessary for their implementation, which constitutes the security infrastructure of the containers: The publication presents the parameters that may meet the application requirements. The reference device types given in this technical specification serve to clarify the technical requirements.
Keywords: Emergency container, access control system, camera system

1. Bevezetés, alapinformációk

A 2018 januárjában a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal meghirdette a Versenyképességi és kiválósági együttműködések (2018-1.3.1-VKE) programot, amely pályázati felhívás célja olyan, hosszú távon fenntartható, stratégiai jelentőségű együttműködések ösztönzése hazai vállalkozások és kutató-tudásközvetítő szervezetek között, amelyek eredményeképpen ipari igényeket megvalósító, üzletileg is hasznosítható tudományos eredmények jönnek létre kiemelt jelentőségű társadalmi és gazdasági kihívások megoldására. A felhívás a fenti célokat az NKFI Alapból támogatja.

A Belügyminisztérium HEROS Javító, Gyártó, Szolgáltató és Kereskedelmi Zártkörűen Működő Részvénytársaság (továbbiakban: HEROS Zrt.), H1 Systems Mérnöki Szolgáltatások Korlátolt Felelősségű Társaság és az Óbudai Egyetem (Bánki Donát GBM Kar) konzorciuma a „Vészhelyzetekben alkalmazható, konténerbe épített, moduláris kommunikációs **infrastruktúra és technológia kialakítására és a fejlesztés fenntartására képes kutatási együttműködés létrehozása valamint prototípus termékcsalád kifejlesztése”** pályázatát a testület eredményesnek értékelte.

A projekt azonosító száma: 2018-1.3.1-VKE-2018-00034.

A fent említett pályázat keretében a projektben két konténer prototípus készül el, és a konzorcium az ezek megvalósításához szükséges, a konténerek biztonságtechnikai infrastruktúráját képező rendszert kívánja telepíteni:

1. Kamera rendszer
2. Beléptető rendszer
3. Hangosítás

A projekt keretében a biztonságtechnikai rendszer tervezését kívánjuk bemutatni.

A fő feladatok végrehajtásához a projekt szakmai vezetőjével, a biztonságtechnikai rendszer kiépítésében feladatokat vállaló HEROS ZRt. mérnökeivel és a fizikai megvalósítást végző szakemberekkel folyamatosan konzultáltam, majd a tervezési alapadatok rendelkezésre állását követően elkészítettük az említett három rendszer integrált tervét egy konténerre.

A kutatások során elvégeztük:

- a feladat pontosítását,
- a biztonságtechnikai rendszer speciális követelményeinek megfelelő szabvány kutatást, feltárást,
- a műszaki követelmények meghatározását,
- a rendszerelemek és a komplex rendszer megtervezését.

A rendszer műszaki követelményeit és tartalmi leírását a későbbiekben a konzorcium beszerzési eljárás során felhasználta.

2. Hangos rendszer

A konténer egy különleges, nem szokványos kiegészítő rendszert is kapott a tervezés során, ez pedig az úgynevezett hangos rendszer. A konténerben elhelyezett hangos rendszer távoli hangbemondás és lokális, automatikus hangjelzések indítására alkalmas. A hangos rendszerrel szemben követelményként fogalmazódott meg, hogy IP alapú legyen, külön erősítő nélkül működő integrált rendszert alkosson. [1]

A hangos rendszer nem gyakori az önállóan működő egységeknél, bár a távközlési tornyok aljában elhelyezett kommunikációs konténerekben előszeretettel használják. Erre is kerestünk kutatásaink során referencia típust, a legalkalmasabbnak a meghatározott követelmények és a

gyártói adatok alapján az *AXIS C1004-E Network Cabinet Speaker*-t javasoltuk.

AXIS C1004-E Network Cabinet Speaker

Models	AXIS C1004-E Network Cabinet Speaker White AXIS C1004-E Network Cabinet Speaker Black
Audio	
Audio management	Software applications for managing and controlling your audio system regardless of its size and complexity: – Included in the product (runs inside the device) is AXIS Audio Manager Edge, offering zone management, content management, content scheduling and health monitoring. Up to 200 speakers and 20 zones are supported (see separate datasheet for more details). – For larger and more advanced systems we recommend AXIS Audio Manager Pro (see separate datasheet).
Audio streaming	One-way/two-way[a], mono
Audio encoding	AAC LC 8/16/32/48 kHz, G.711 PCM 8 kHz, G.726 ADPCM 8 kHz, Axis µ-law 16 kHz, WAV, MP3 in mono/stereo from 64 kbps to 320 kbps. Constant and variable bit rate. Sampling rate from 8 kHz up to 48 kHz.
Audio input/output	Built-in microphone (can be disabled)
Built-in microphone specification	50 Hz - 16 kHz
Speaker	
Enclosure	Two-way bass-reflex type Speaker component: 12 cm (4.72 in) dynamic cone speaker, 2.5 cm (0.98 in) balanced dome tweeter
Max sound pressure level	96 dB
Frequency response	60 Hz - 20 kHz
	Call: DTMF, State changes
Event actions	Play audio clip, send SNMP trap, send Auto Speaker Test, status LED File upload via HTTP, network share and email Notification via email, HTTP, HTTPS and TCP
Built-in installation aids	Test tone verification and identification
General	
Casing	IP45- and NEMA 3R-rated Plastic and metal casing Colors: White NCS S 1002-B; black For repainting instructions and impact on warranty, contact your Axis partner.
Memory	256 MB RAM, 256 MB Flash
Power	Power over Ethernet (PoE) IEEE 802.3af/802.3af Type 1 Class 3 (max 12.95 W)
Connectors	RJ45 10BASE-T/100BASE-TX PoE
Storage	Support for microSD/microSDHC/microSDXC card Max. size 64 GB For SD card recommendations see *www.axis.com*
Reliability	Designed for 24/7 operation.
Operating conditions	–20 °C to 50 °C (4 °F to 122 °F) Humidity 10–85% RH (condensing)
Storage conditions	-40 °C to 65 °C (-40 °F to 149 °F)
Approvals	EMC EN 55022 Class A, EN 55032 Class A, EN 50121-4, IEC 62236-4, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 55024, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, FCC Part 15 Subpart B Class A, ICES-003 Class A, VCCI Class A, RCM AS/NZS CISPR 32 Class A,

1. ábra A speaker gyártói adatlapja

A tervezéshez, valamint a projektmenedzsment részére a beszerzéshez és a költségszámításokhoz összesítettük a biztonságtechnikai rendszer kiépítéséhez szükséges eszközöket, berendezéseket. Az alábbi táblázatban (2. ábra) összefoglaltuk a tervezéshez használt mennyiségeket [2].

Típus	Mennyiség
1. ITV rendszer	
1.1 IP Kamerák	
AXIS P3245-LVE Network Kamera	10 db
AXIS Weathershield Kit R	4 db
1.2 Video Management System	
Milestone XProtect® Express+	2 db
Operációs rendszer (Microsoft® Windows® Server 2012 (64 bit): Standard)	2 db
2. Beléptető rendszer	
Beléptető IP vezérlő	8 db
Kártyaolvasó keypad-al	4 db
Kártyaolvasó keypad nélkül	12 db
Nyitásérzékelő (ajtóhoz)	4 db
Nyitásérzékelő (rack szekrényhez)	8 db
Vésznyitó	4 db
Segédtáp zárakhoz	2 db
Redundancia modul a tápegységekhez	1 db
Relé panel	8 db
Beléptető kártya	50 db
Vezérelhető mágneszár (ajtóhoz)	4 db
Vezérelhető mágneszár (rack szekrényhez)	8 db
3. Hangos rendszer	
AXIS C1004-E Network Cabinet Speaker (Fehér)	2 db

2. ábra Felhasznált eszközök és mennyiségük [3]

3. Videó megfigyelő rendszer

3.1 A rendszer feladata

A konténerben a kor igényeinek megfelelő, IP alapú videó megfigyelő rendszerek kialakítása a cél, a rendszer feladata a konténer külső megfigyelése.

Ezáltal lesz biztosított a folyamatos vizuális információ a felügyeleti személyzet részére.

3.2 A rendszer felépítése, kialakítása

A támasztott követelmények megvalósítására, a konténer megfigyelésére videó megfigyelő rendszerek kiépítését terveztük.

A videó megfigyelő rendszer esetében a rögzítés helyben történik. A tervezett rendszer rögzítő egységét védett rack szekrényben kell elhelyezni, és csatlakoztatni az önálló biztonságtechnikai rendszerek számára kialakítandó informatikai hálózatra. [4]

A kamerák tápellátását PoE switch biztosítja. A switch-ek folyamatos tápellátását szünetmentes tápegység beépítésével kell biztosítani. Távfelügyeleti központban lévő, a rendszer saját szoftverét futtató számítógép mikrofonján keresztül lehetőség van a konténer bejáratára néző K-3 kamera audio kimenetére csatlakoztatott hangszóróra jelet küldeni. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a távfelügyeleti gépnél ülő diszpécser utasíthatja a belépni szándékozó személyt pl. a kártyája kamerába történő megmutatására. Felügyelet nélküli alkalmazás esetén a hangos rendszer – *a belépést követően* – lép működésbe.

3.3 A telepítendő switch típusa

– Alcatel-Lucent OS6450-P24 switch

A konténer kamera képeinek megjelenítését és a rögzített adatok kimentését a Felügyeleti központban kell megvalósítani az adatátviteli utak kapacitásától függően.

3.4 A telepítendő hálózati rögzítők (NVR-ek)

– NVR5208-4KS2

A megrendelő igényeit és a megfigyelt területeket (fényviszonyok) figyelembe véve fix IR megvilágítással rendelkező dome kamerák kerülnek alkalmazásra. A konténerek külső megfigyelési pontjai a konténeren kerülnek elhelyezésre.

A kameráknál 4 megapixel felbontás és az arcfelismerés a minimális elvárás, illetve az adott felbontásokat legalább két darab konkurens streamen biztosítani tudják. A kameráktól érkező jelfolyamok elvárt képfrissítési sebessége 25 kép/sec., illetve H265+, MPEG4 és H.264 tömörítési technológiát kell tudni alkalmazni, hogy a lehető legoptimálisabb legyen a hálózaton továbbított stream sávszélessége. A tervezett kamerának Ethernet hálózaton keresztül PoE tápellátással kell működniük. A kamerák esetében a jövőbeni fejleszthetőség és kompatibilitás biztosítása végett támogatniuk szükséges az ONVIF protokoll szabványt. [5]

3.5 Az alkalmazásra kerülő kamerák

– DAHUA DH-IPC-HFW5449T-ASE-NI (IP Bullet kamera AI)

A kamerákat a megfelelő szerelvénnyel a konténer sarkaira kell felszerelni. A kamerák felszerelésekor rejtett kábelvezetést szükséges alkalmazni.

DAHUA DH-IPC-HFW5449T-ASE-NI bullet kamera főbb tulajdonságai:

- 1/1.8 " Progressive Scan CMOS szenzor
- 4MP (2688 x 1520) felbontás
- dinamikatartomány: WDR - 140 dB – Széles megvilágítási tartomány
- valós day@night
- 2.8mm - es optika
- H.265, H.264, H.264B, H.264H, MJPEG(sub stream) stream-ek támogatása
- 25 fps képsebesség
- külső mikrofon bemenet
- audio kimenet
- kétirányú audio támogatás
- hangérzékelés
- IP67 védettség
- működési hőmérséklet tartomány: -30°C to 60°C
- PoE táplálási lehetőség: 802.3af Class 0

4. Tárhely számítás

A konténer adatrögzítéséhez szükséges tárhely meghatározását elvégeztük.

1. táblázat Tárhely igény meghatározása

Kiindulási adatok	
Kamerák száma: 4 db	Sávszélesség: 8,192 Mbps/kamera Sávszélesség 4 kamera esetén: 32,768 Mbps
Kamera felbontás: 4 MP	
Frame rate: 25 fps	
Mozgás gyakoriság: közepes	
Tárhely igény	
Rögzítési idő: 30 nap	**Szükséges tárhely: 5 TB**

Szükséges tárhely és rögzítési sávszélesség alapján kiválasztott rögzítő típusa:
DAHUA NVR5208-4KS2 + 4TB HDD

4.1 Teljesítmény igények

A biztonságtechnikai Rack szekrény maximális teljesítmény felvétele: 400W.

4.2 A videó megfigyelő kábelhálózata

A tervezett kamerák jelének továbbítására és tápellátásuk biztosítására Cat5a kategóriájú FTP árnyékolt Ethernet kábelek szolgálnak. A vezetékeket a rajzokon jelölt nyomvonalakon a Rack szekrényből kiindulva a konténeren belül kábelcsatornába vezetve kell kiépíteni. [6]

A védőcsőhálózat-alapszerelése kiépítése során csak a szabványoknak megfelelő anyag építhető be, az előírásoknak megfelelő minőségben és kivitelben. A gyengeáramú rendszerek kábeleit eszköztől eszközig bontatlanul, kell vezetni, kötés nem megengedett! A kisfeszültségű kábeleket, jelkábeleket a 230VAC feszültségű kábelektől külön nyomvonalakon kell vezetni.

A meghibásodások csökkentése érdekében a fali Ethernet vezetékek nem fali csatlakozó

aljzatokban kell végződtetni, hanem azok végeire (min 0,5m tartalék ráhagyása mellett) közvetlenül kell az RJ45-ös csatlakozó dugókat vagy keystone modulokat felszerelni. A kültéri kamera kiállásoknál beépített szerelvénydobozokra kell a kamerákat szerelni, és bennük a tartalék kábelvégeket elrejteni.

Az így megszerelt kábelek csatlakoznak egyik végükkel a kamerákba, míg a másik végüket a Rack szekrényben elhelyezett Cat5a kategóriájú patch panelekre kell kifejteni és patch kábelek felhasználásával a switch RJ45 portjaira csatlakoztatni.

A megfigyelő rendszer részére kiépített adatátviteli kábelhálózat megfelelőségének igazolására a beüzemelés előtt, a szabványnak megfelelő méréseket el kell végezni és a megfelelőséget igazoló mérési jegyzőkönyveket elkészíteni.

Amennyiben egy-egy vezeték nem felel meg a méréseken, akkor azt ki kell cserélni egy új vezetékkel, és annak a megfelelőséget újra méréssel kell igazolni. [7]

4.3 Ethernet kábelezés

Bár a nemzetközi szabványok több különböző kábelezési kategóriát definiálnak (pl. Cat.5E, Cat.6, Cat.6A, Cat.7, Cat.7A), a gyakorlatban azonban a két legelterjedtebb átviteli sebesség az 1 Gigabit/s és a 10 Gigabit/s. Jelen fejlesztés szempontjából a korábbi szabványok (Cat.1 – Cat.4-ig) nem relevánsak.

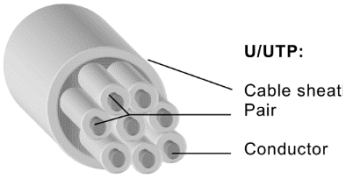
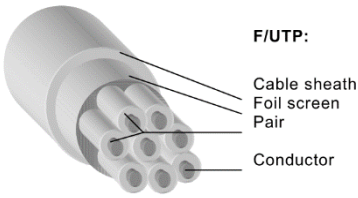
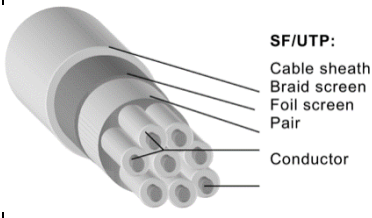
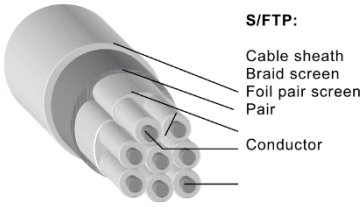
Az 1 Gigabit/s átviteli sebesség a 1000BASE-T leggyorsabb protokollnak felel meg, és átvitelére 100 MHz sávszélesség szükséges. A 10 Gigabit/s átviteli sebesség a 10GBASE-T leggyorsabb protokollnak felel meg, és átvitelére 500 MHz sávszélesség szükséges. A strukturált kábelezés és a szabványos kategóriák teljesítménye közti viszonyt a következő séma illusztrálja.

Az ábrából látszik, hogy azonos kábelezési teljesítményt több kábelezési kategóriával el lehet érni. A max. 1 Gigabit/s átviteli sebességű hálózatokhoz a Cat.5E kábelezés az optimális, míg a max. 10 Gigabit/s átviteli sebességű hálózatokhoz Cat.6A kábelezés az optimális. A szükséges 100, ill. 500 MHz átviteli sávszélesség, már egy 20%-os biztonsági tartalékot is magába foglal. Ezért a szóban forgó értékhatár feletti sávszélesség már tovább nem használható ki, és nem is járul hozzá az átviteli megbízhatóság további növeléséhez. A Cat.7 és a Cat.7A interoperabilis kábeleket is csak az elektromágneses zavarral szembeni fokozott ellenállásuk miatt kifizetődő felhasználni.

3. ábra Kábelezési kategóriák

4.4 Ethernet kábel típusok

Az Ethernet hálózatok esetében az ISO/IEC 11801:200 definiálja az alkalmazható kábel típusokat. Ezek:

Típus	Kábel szerkezete	Leírás
U/UTP (UTP)		Árnyékolás nélküli kábel (Unscreened), csak csavart párokkal (Twisted Pair).
F/UTP (FTP)		Árnyékolatlan sodrott érpár (UTP), amely teljes felületén fóliával árnyékolt (F). Ez a kábel nagyon hasonlít a hagyományos UTP kábelekhez, ám a fő burok alatt még egy (általában alumínium) fólia kapott helyet. Ezt a kábeltípust FTP-ként is ismerhetjük. Az F/UTP kábelek a 10GBaseT alkalmazásokban elterjedtek.
S/UTP (STP)		Árnyékolatlan sodrott érpár (UTP), amelyek összessége harisnyával árnyékolt (braid screen).
SF/UTP		Árnyékolatlan sodrott érpár (UTP), amely kétszeresen - harisnyával és fóliával is árnyékolt. Ezt a kábelt szintén szokták STP-nek is nevezni. A kétszeresen árnyékolt kábelek hatékony EMI-védelmet nyújtanak.
S/FTP		Érpáraként fóliával árnyékolt (FTP) kábel, amely még szőtt harisnya-árnyékolással is el van látva. Az egyes írpárakon lévő fólia célja, hogy korlátozza a köztük lévő áthallás (crosstalk) mennyiségét.
F/FTP		Érpáraként fóliával árnyékolt (FTP), valamint ezeket újabb fóliaréteggel árnyékolt (F) kábel. Az F/UTP kábelekhez hasonlóan, ezeket is többnyire 10GBaseT alkalmazásokhoz használják.

4. ábra Kábel típusok és jellemzőik [8]

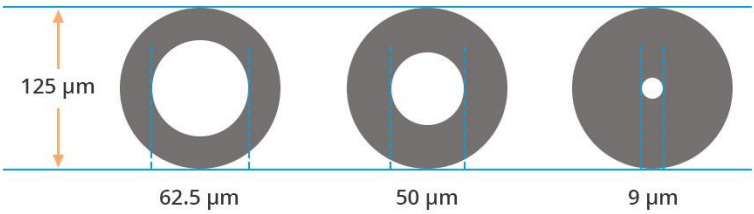
4.5 Optikai szál típusok

Az optikai szálak típusait alapvetően két csoportra osztjuk:

- Multimódusú szálak
- Monomódusú szálak

A szálakon alkalmazott jelölés:

- OM–Optikai multimódusú
- OS–Optikai monomódusú



5. ábra Optikai szál méretek

Az ITU-T ajánlások az IEC szabványokon alapulnak, azonban lehetnek kisebb eltérések az egyes változatoknál. A Telecommunications Industry Association (TIA) tevékenysége és dokumentumai a legismertebbek az Egyesült Államokban, egyes előírásokat már korábban publikáltak, mint Európában.

Néhány összehasonlítás:

Multimódusú szálak:

- OM1 – 62,5/125 – IEC60793-2-10 A1b – TIA 492-AAAA
- OM2 – 50/125 – IEC60793-2-10 A1a.1 – G.651.1 – TIA 492-AAAB
- OM3 – 50/125 – IEC60793-2-10 A1a.2 – G.651.1 – TIA 492-AAAC
- OM4 – 50/125 – IEC60793-2-10 A1a.3 – TIA 492-AAAD

Monomódusú szálak:

- G.652A, B – 9/125 – IEC60793-2-50 B1.1
- G.652C, D – 9/125 – IEC60793-2-50 B1.3
- G.655 – 9/125 – IEC60793-2-50 B4
- G.657A – 9/125 – IEC60793-2-50 B6_a1
- G.657B – 9/125 – IEC60793-2-50 B6_a2

Az alábbi táblázat az IEC szabványok által definiált multimódusú szál típusok egyszerűsített összefoglalóját mutatja:

2. táblázat Multimódusú száltípusok egyszerűsített összefoglalója

Type	Core diameter [μm]	Min modal bandwidth [MHz • km]		
		OFL*		EMB**
		850 nm	1300 nm	850 nm
OM1	50 or 62.5	200	500	-
OM2	50	500	500	-
OM3	50	1500	500	2000
OM4	50	3500	500	4700

OFL* - OverFilled Launch - standardizált szál sávszélesség mérési módszer, ahol a forrás egységesen indít fényt a multimódusú szál összes módozatában (LED-forrás).

EMB** - Effective Modal Bandwidth - a központ/offset indítás effektív modális sávszélessége (lézer forrás világítja meg a szál magjának egy kis részét).

A multimódusú szálak fejlesztése egyértelműen abba az irányba halad, hogy minél több adat átvitelére legyen képes. Az OM1 lehetővé tesz 10 Gbps adatátviteli sebességet nagyon rövid távolságokra (legfeljebb 33 m), míg az OM4 képes 100 Gbps adatfolyamot akár 150 m távolságon továbbítani. Azonban, a kortárs bővítését egymódusú szálak, sőt OM3 és OM4 típusok csak ritkán használják.

A G.651.1 ajánlás szerinti multimodusú optikai szál paramétereit foglaltam össze a fenti táblázatban. A vonatkozó ITU-T ajánlások sokkal szigorúbbak (és pontosabbak), mint az átviteli teljesítmény kategóriák, melyek az IEC (OS1 és OS2) által meghatározottak. Például, az OS2 által megkövetelt tulajdonságok a G.652.C szállal teljesítettek, ami azt jelenti, hogy G.652D szál mégjobb paraméterekkel rendelkezik.

Az monomódusú szálak a leghasznosabbak a tipikus alkalmazásokhoz, melyek megfelelnek a következő szabványoknak:

G.652 - 4 verziót határoz meg (A, B, C, D). A G.652.C és G652.D variánsok jellemzője a csökkentett "víz-csúcs" (ZWP - Zero "víz csúcs"), amely lehetővé teszi az 1310 nm és 1550 nm hullámhossz-tartomány közötti használatot, a Coarse Wavelength Division Multiplexed (CWDM) átvitel támogatásával.

A G.652.D egy Standard Single Mode Fiber (SSMF) szál, 10 Gbps és 40 Gbps rendszerekhez (köszönhetően a csökkentett polarizációs mód diszperziónak - PMD). Jelenleg ez a legnépszerűbb optikai szál.

G.655 - meghatározza az optikai szál teljesítményét, az előírt 1550 nm és 1625 nm-en, nem nulla kromatikus diszperziós meredekséggel, ezekben a hullámhossz régiókban. Ez a fajta optikai szál támogatni tudja a hosszú távú rendszereket, a Dense Wavelength Division Multiplex (DWDM) átvitel használatával, a 1530 nm és 1625 nm hullámhossz tartományban.

G.656 - optikai szál szélessávú rendszerekhez, DWDM és CWDM segítségével, 1460...1625nm hullámhossz tartományban való működéshez.

G.657 - meghatározza azokat az optikai szálakat, melyek alacsonyabb csillapítás kínálnak hajlításoknál. A minimális hajlítási sugarat csökkentették 5-15 mm-re (kiviteltől függően).

A G.657A szál kompatibilis a G.652 szálakkal, a G.657.B változat nem biztosít 100%-os kompatibilitást más szálakkal, azonban egyedülálló mechanikai jellemzői megfelelnek a legigényesebb létesítményeknek is.

5. Konklúzió

A tervezett konténer kiegészítő egységei a biztonságos felügyelet nélküli működés feltételeit garantálják, amelyek a vagyonvédelmi megoldásokat is jelentik. Hosszas tesztelési folyamaton estek át az eszközök, és a tervezési szempontok alapján telepített rendszerek komplex tesztje azt mutatta, hogy jól választottuk ki a szükséges eszközöket, a teszteredmények a gondos kutatást igazolták.

Köszönetnyilvánítás

A jelen dolgozatban bemutatott kutatási munka a 2018-1.3.1-VKE-2018-00034 „Vészhelyzetekben alkalmazható, konténerbe épített, moduláris kommunikációs infrastruktúra és technológia kialakítására és a fejlesztés fenntartására képes kutatási együttműködés létrehozása, valamint prototípus termékcsalád kifejlesztése” című project támogatásával valósult meg.

6. Hivatkozások

[1] Dr Kovács Tibor és Dr. Horvát Tamás: Hőkamerák a biztonságtechnikában, SECURINFO Biztonságtechnikai szakportál 2012. május (letöltve: 2024. szeptember) https://www.securinfo.hu/termekek/videotechnika/775-hokamerak-a-biztonsagtechnikaban-2-az-erzekelo-a-bolometer.html.

[2] http://oktel.hu/szolgaltatas/kamerarendszer/hokamerak/ (letöltve: 2024. szeptember)

[3] https://www.powerbizt.hu/termekek/ds-2td1217-6v1/9140 (letöltve: 2024. szeptember)

[4] Jay Hendrix:Top 10 Reasons for Integrating Your Building Systems, Building Solutions Magazine, © 2004 Siemens Building Technologies, Inc.

[5] Edward Sullivan: System Integration, Building Operating Management August 2003.

[6] Peter Piazza: Integrated Cure, Security ManagementOnline, September, 2001. http://www.securitymanagement.com

[7] Will Podgorski:The "Right Stuff": What it takes to become a true building system integrator in today's world, © 2004 Siemens Building Technologies, Inc., HVP Division, Staefa Control System

[8] Total Building Commissioning General Principles And Procedures, National Institute of Building Sciences, http://edesign.state.fl.us/fdi/edesign/resource/totalbcx/guidemod/docs/01nov98.html#intro

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Felületvizsgáló robot kommunikációs platform kialakítás

Surface inspection robot communication platform design

[1]Horváth-Kiss Anikó, [2]Ács Szilvia, [3]Fregan Beatrix, [4]Rajnai Zoltán

[1] *Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, kiss.aniko@bgk.uni-obuda.hu*
[2] *Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, acs.szilvia@bgk.uni-obuda.hu*
[3] *Nemzeti Közszolgálati Egyetem. Budapest, Magyarország, fregan.beatrix@uni-nke.hu*
[4] *Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, rajnai.zoltan@bgk.uni-obuda.hu*

Összefoglalás

A tanulmány egy ipari robot infokommunikációs rendszerének felépítési alternatíváját mutatja be. A javaslat kidolgozásához kiinduló adatként a legszükségesebbekkel rendelkezünk, így a rendszert ehhez adaptáltuk.
Feltételezések:
Az infokommunikációs rendszer kialakításához, vizsgálatához kiindulási alapot adott az, hogy szóbeli tájékoztatást kaptunk a robot feladatrendszeréről, az ehhez kapcsolódó konfigurációk lehetséges „kívánalmairól”, valamint arról, hogy a robot várhatóan milyen alkalmazási körülmények között működik.
A tanulmány a meghatározott kritériumokat, mint kiinduló, meglévő adatokként és tájékoztató információként kezeli, nem vizsgálja például a szenzorok megfelelőségét, a gyári megjelölt paraméterek teljesülését. Az elméleti szintű rendszer összeállításához (konfigurációhoz) a kereskedelemben kapható, könnyen beszerezhető eszközöket veszi alapul, amelyekből a hálózat felépíthető és a robot részére meghatározott infokommunikációs platform biztosítható. A szerzők a tanulmány kidolgozása során irodalomkutatást végeztek, felhasználják a gyártók által biztosított brosúrák alapján elérhető adatokat, és elsősorban tapasztalati úton szerzett gyakorlati ismeretek alapján tesznek javaslatot a konfiguráció kiépítésére, a meghatározott feltételek teljesülésére.
Kulcsszavak: felületvizsgálat, robotrendszer, kommunikációs rendszer

Abstract

The Study presents an alternative structure for the infocommunication system of an industrial robot. We have the most necessary data as the starting point for developing the proposal, so we adapted the system to this. Assumptions: The starting point for the development and examination of the infocommunication system was that we received verbal information about the robot's task system, the possible "requirements" of the related configurations, and the application conditions under which the robot is expected to operate. The study treats the specified criteria as starting, existing data and informative information, and does not examine, for example, the adequacy of the sensors or the fulfillment of the factory-specified parameters. The theoretical system is assembled (configured) using commercially available, easily obtainable tools, from which the network can be built and a specific infocommunication platform can be provided for the robot. During the development of the Study, the authors conducted a literature search, used data available from brochures provided by manufacturers, and made recommendations for the construction of the configuration and the fulfillment of the specified conditions, primarily based on practical knowledge gained through experience.
Keywords: surface inspection, robot system, communication system

1. Bevezetés, alapinformációk

Napjainkban az ipari szereplők, a vállalkozások függetlenül attól, hogy milyen profilban vállalkoznak, egyre nagyobb mértékben érdeklődnek az automatizáció iránt annak érdekében, hogy növeljék versenyképességüket, hatékonyságukat és a munkahelyi biztonságot.

A robottechnológia kezdetben inkább a gyártási feladatokra összpontosított, később azonban már a költséghatékony, biztonságos, könnyedén telepíthető robotok terén mutatkozó fejlődésnek köszönhetően az automatizáció már a KKV szektor szereplői számára is elérhető lett. Kockázati szinten ezek a beruházások gyors és jelentős megtérüléssel járnak, ezért a vállalkozásokon belül szívesen fordulnak a hatékonyságot növelő folyamatok automatizálása felé.

Az első számú célpont a robotizáció terén az anyagmozgatás volt. Ma még a magas szinten automatizált üzemekkel rendelkező gyártóvállalatok is szakképzett munkásokat alkalmaznak arra, hogy kocsikon tolva szállítsák az eszközöket az egyes munkaállomások között. Más iparágakban, mint például a vendéglátás vagy az egészségügy, az alkalmazottak értékes órákat töltenek azzal, hogy szemetet, ágyneműket, a szennyest, vagy éppen ételt szállítsanak, ahelyett, hogy a vendégekkel, páciensekkel vagy az üzletfelekkel foglalkoznának. Korábban a belső szállítási folyamatok automatizálására az egyetlen megoldást az önvezető járművek (AGV=Automated guided vehicle) jelentették. Azonban ezek költséges, rögzített rendszerek telepítését igénylik, és általában a gyártócsarnok padlójára kötött sínek vagy érzékelők kiépítésével járnak. Ma az autonóm mobil robotok (AMR-ek) rendkívül rugalmasak, költséghatékonyak és biztonságosak, valamint úgy formálják át az anyamozgatás folyamatait, mint ahogyan az együttműködő robotkarok forradalmasították a gyártási folyamatokat.

De nem minden AMR ugyanolyan. Ismernünk kell azokat a technológiákat, amelyek a termelékenységet növelő eszközök mögött állnak annak érdekében, hogy egyedi igényekre a lehető legjobb megoldást tudjuk megtalálni. Az AMR robotok olyan nélkülözhetetlen technológiákat alkalmaznak, amelyek jelentős előnyökkel - mint a könnyű használhatóság, a rugalmasság, a biztonság és a befektetés megtérülése - segítik a döntéshozatalt**.**

2. Robot kommunikációs platform

2.1 Célkitűzés

A projekt megvalósítása során szükséges egy fedélzeti computer (mikroszámítógép) kiválasztása, mely az adatok feldolgozását végzi és a következő specifikációval kell rendelkeznie:

- ARM architektúrára processzort tartalmazzon
- Sorosporti kommunikációra képes legyen
- Egyéb GPIO kimenet/bemenet
- OpenGL támogatás
- MicroSD támogatás
- Gigabites Ethernet csatlakozás
- IEEE 802.11 b/g/n/ac szabványú kétsávos rendszer (2.4 GHz és 5GHz) Wifi
- Külső tápellátásra lehetőség
- Open source operációs rendszer

3. Részletes műszaki specifikációk a tervezéshez

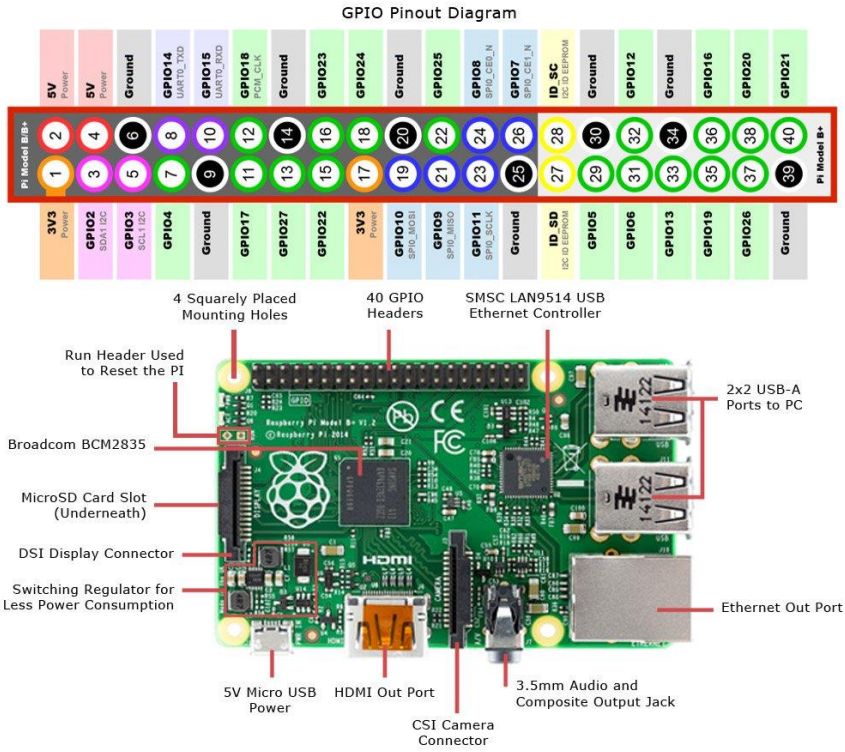
3.1 Elvárások

A projekt keretein belül a mikroszámítógépnek a roboton elhelyezett érzékelők adatait kell közvetlen feldolgoznia, majd továbbítania egy központi szerver felé. Ezáltal az eszköznek alkalmasnak kell lennie egyszerre több irányú kommunikációra. Az adatok ciklusonkénti tárolása is kezelendő. Vezérlési feladatok ellátását nem végezzük az eszközzel.

3.2 Eszközválasztás

A specifikált elvárásoknak a Raspberry PI 3 B+ megfelelő választás. Ez az eszköz már jóval meghaladja az első változatait, amit elsősorban oktatási célra fejlesztettek. Megfelelő számításkapacitású processzort kapott, ami akár képi elemek feldolgozására is lehetőséget biztosít. A processzor egy Cortex-A53 64-bit 1.4 GHz-es. Továbbá 1GB RAM található az eszközön. A képfeldolgozást segíti, hogy helyet kapott egy H.264, MPEG-4 dekóder (1080p30), egy H.264 enkóder (1080p30) és kezeli már az OpenGL ES 1.1, 2.0 grafikus gyorsítást. Bluetooth 4.2 verziója is megtalálható rajta. Ami akár a térbeli tájékozódást is elősegítheti az iBeacon funkcióval.

3.3 Hardverfunkciók

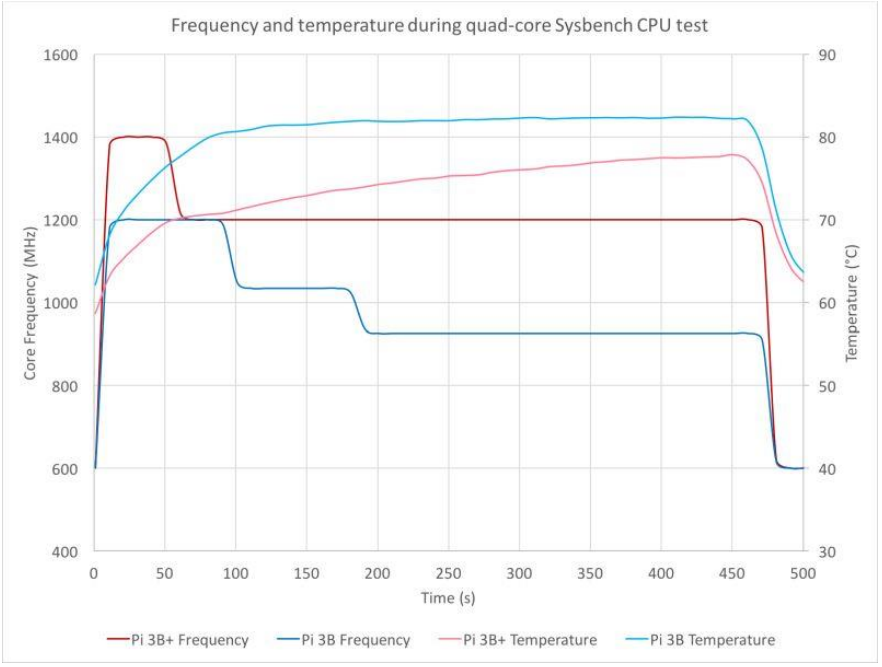


1. ábra Speciális hardvermegfeleltetés

Az eszköz képes egy 5 V-os 2,5 A tápellátással működni, továbbá ki van vezetve 3.3 és két db 5 V –os szenzor tápellátási lehetőség, ami az operációs rendszeren keresztül menedzselhető. Bőven találhatók GPIO kivezetések, továbbá 4 db USB port is rendelkezésünkre áll a szenzorokkal való kommunikációra. Ennek segítségével bármilyen szükséges periféria csatlakoztatható, illetve hardver szinten kezelhető.

Az eszköz rendelkezik PoE-val is, így akár egy UTP vezetékkel tudunk adatot és tápellátást is biztosítani az eszköz számára. Kiemelendő, hogy található az eszközön egy CSI Cammera Connector, amihez az esetlegesen képfeldolgozáshoz használt kamerát csatlakoztathatjuk. Természetesen az USB portok is alkalmasak kamera által küldött adatok fogadására. Lehetőségünk van az eszközhöz külső winchestert is csatlakoztatni, az esetleg nagyméretű adatok tárolására. Mivel központi szerverre érkeznek az adatok, átmeneti tároláshoz elegendő egy SD kártya is.

Korábbi problémát jelentett az eszköz melegedése, ebben viszont már kiküszöbölték (2. ábra). Így magasabb környezeti hőmérséklet mellett, nagyobb frekvenciával is biztonságosabban működik az eszköz. 70 °C alatti hőmérsékleten képes maximális frekvencián működni, ha ennél magasabb hőmérséklet következne be, akkor automatikusan visszaveszi az órajelet. Tehát megfelelő hűtés mellett nagy teljesítményt érhetünk el biztonságosan.

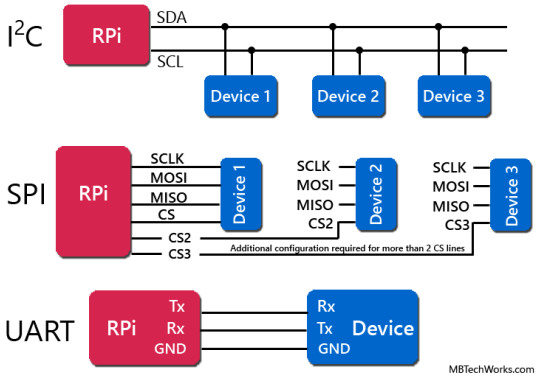


2. ábra Hűtés és teljesítmény összefüggési grafikon

3.4 Szenzor kommunikáció és lehetőségek

A mikroszámítógépen a következő kommunikációs protokollok találhatók meg (3. ábra):

- I2C = Inter-Integrated Circuit
- SPI = Serial Peripheral Interface
- UART = Universal Asynchronous Receiver / Transmitter



3. ábra Kommunikációs protokollok

Az összes standard kommunikációs protokoll a Raspberry PI GPIO kimenetein elérhető. Így bármilyen eszközt, szenzort csatlakoztathatunk a segítségével, ezért is esett az eszközre a választás.

A mikroszámítógép soros kommunikációs módjai GPIO portokon keresztül:

I2C : Half duplex kommunikáció, soros adatátvitel kis távolságokra alkalmas 2 pin szükséges hozzá. Alap master slave kommunikációt valósítunk meg vele, tehát egy master eszközzel egy vagy több slave eszköz tud kommunikálni. Alap kommunikációs sebessége 100 Kbit/sec, viszont képes úgynevezett „fast mode" funkcióra is, amivel akár 400 Kbit/sec is elérhető. Maximálisan 127 eszköz kapcsolható össze ezzel a protokollal.

SPI: Full-duplex kommunikáció, soros adatátvitel kis távolságok között, viszont már 4 pin szükséges a kialakításhoz a Full-duplex kommunikáció miatt. Egyszerre képes ez a protokoll küldeni és fogadni is adatot kis távolságon. Jóval gyorsabb kommunikációra alkalmas 8 Mbit/sec. Az SPI tud egyszerre több eszközzel kommunikálni, itt nincs számbeli korlát.

UART: Aszinkron kommunikációs, soros adatátvitel két eszköz között szintén két pin felhasználása elegendő a kialakításához az eszközön. Egyszerre egy eszközzel képes kommunikálni.

1. táblázat Kommunikációs protokollok összehasonlítása

I2C	Gyorsabb, mint az UART, könnyű eszközöket összefűzni vele
SPI	A leggyorsabb a három közül. Nincs eszköz limitáció
UART	Egyszerű, lassú, nincs szükség külső órajel forrásra

4. Összegzés

A kiválasztott mikroszámítógép a beágyazott rendszerek által használt majd összes protokollját képes használni a GPIO portjain keresztül, így nincs szükség különböző szintillesztésre és további interface-ek használatára. Viszonylag kis fogyasztású, ennek ellenére nagy számítási kapacitással bír. Könnyen kapcsolhatunk nagy háttértárat az eszközhöz. A központi szerverrel akár vezetékes és vezeték nélküli kommunikációra is képes, nagy sebességgel, ami a nagyméretű adatok továbbítására ad lehetőséget viszonylag rövid időn belül. Az eszköz képes energiatakarékos üzemmódban is működni, ha esetleg az akkumulátor töltöttsége csökkenne. A tárhelye bővíthető, így lehetőségünk van megfelelő adatmennyiséget tárolni, ha a szerverrel történő kommunikációban hiba lépne fel. Összességében a projekthez szükséges összes kritériumnak megfelel.

Köszönetnyilvánítás

A jelen dolgozatban bemutatott kutatási munka a 2017-1.3.1-VKE-2017-00031 – “Nagy pontosságú burkolatvizsgáló mérési technológia alapjainak kutatási programja” című project támogatásával valósult meg.

Ipari robotok kialakítása, alkalmazásuk

Design and application of industrial robots

[1]Horváth-Kiss Anikó, [2]Ács Szilvia, [3]Fregan Beatrix, [4]Rajnai Zoltán

[1] *Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, kiss.aniko@bgk.uni-obuda.hu*
[2] *Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, acs.szilvia@bgk.uni-obuda.hu*
[3] *Nemzeti Közszolgálati Egyetem. Budapest, Magyarország, fregan.beatrix@uni-nke.hu*
[4] *Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, rajnai.zoltan@bgk.uni-obuda.hu*

Összefoglalás

A tanulmány az ipari robotok kialakítását és alkalmazását vizsgálja, kiemelve az automatizáció és a robotizáció szerepét a versenyképesség és hatékonyság növelésében. Rávilágít arra, hogy a robotok ma már a kis- és középvállalkozások számára is elérhetők, különösen az autonóm mobil robotok (AMR-ek), amelyek rugalmasabb és költséghatékonyabb megoldást kínálnak az anyagmozgatás automatizálására.

A cikk bemutatja az AMR-ek előnyeit, egyszerű telepítésüket, valamint az ipari és szolgáltatói szektorban való alkalmazásukat. Kiemeli a hagyományos önvezető járművekkel (AGV-k) szembeni előnyeiket és az emberi munkaerővel való együttműködés lehetőségeit. A szerzők megállapítják, hogy a mobil robotok nemcsak versenyelőnyt biztosítanak, hanem elengedhetetlen eszközökké válnak az ipari és logisztikai folyamatok fenntartható fejlesztésében.

Kulcsszavak: ipari robotok, felületvizsgálat, robotrendszer

Abstract

Nowadays, industrial players, regardless of their profile, are increasingly interested in automation in order to increase their competitiveness, efficiency and workplace safety. Initially, robotic technology focused more on manufacturing tasks, but later, thanks to the development in the field of cost-effective, safe, easy-to-install robots, automation has also become available to players in the SME sector. At a risk level, these investments have a quick and significant return, which is why companies are eager to turn to the automation of processes that increase efficiency.

The number one target in the field of robotization was material handling. Today, even manufacturing companies with highly automated plants employ skilled workers to push equipment between workstations on carts. In other industries, such as hospitality or healthcare, employees spend valuable hours transporting trash, linens, laundry, or even food instead of dealing with guests, patients, or business partners. Previously, the only solution to automate internal transportation processes was automated guided vehicles (AGVs). However, these require expensive, fixed systems and usually involve building rails or sensors attached to the floor of the production hall. Today, autonomous mobile robots (AMRs) are extremely flexible, cost-effective, and safe, and are transforming material handling processes in the same way that collaborative robot arms revolutionized manufacturing processes.

Keywords: industrial robots, surface inspection, robotic system

1. Bevezetés, alapinformációk

Napjainkban az ipari szereplők, a vállalkozások függetlenül attól, hogy milyen profilban vállalkoznak, egyre nagyobb mértékben érdeklődnek az automatizáció iránt annak érdekében, hogy növeljék versenyképességüket, hatékonyságukat és a munkahelyi biztonságot.

A robottechnológia kezdetben inkább a gyártási feladatokra összpontosított, később azonban már a költséghatékony, biztonságos, könnyedén telepíthető robotok terén mutatkozó fejlődésnek köszönhetően az automatizáció már a KKV szektor szereplői számára is elérhető lett. Kockázati szinten ezek a beruházások gyors és jelentős megtérüléssel járnak, ezért a vállalkozásokon belül szívesen fordulnak a hatékonyságot növelő folyamatok automatizálása felé.

Az első számú célpont a robotizáció terén az anyagmozgatás volt. Ma még a magas szinten automatizált üzemekkel rendelkező gyártóvállalatok is szakképzett munkásokat alkalmaznak arra, hogy kocsikon tolva szállítsák az eszközöket az egyes munkaállomások között. Más iparágakban, mint például a vendéglátás vagy az egészségügy, az alkalmazottak értékes órákat töltenek azzal, hogy szemetet, ágyneműket, a szennyest, vagy éppen ételt szállítsanak, ahelyett, hogy a vendégekkel, páciensekkel vagy az üzletfelekkel foglalkoznának.

Korábban a belső szállítási folyamatok automatizálására az egyetlen megoldást az önvezető járművek (AGV=Automated guided vehicle) jelentették. Azonban ezek költséges, rögzített rendszerek telepítését igénylik, és általában a gyártócsarnok padlójára kötött sínek vagy érzékelők kiépítésével járnak. Ma az autonóm mobil robotok (AMR-ek) rendkívül rugalmasak, költséghatékonyak és biztonságosak, valamint úgy formálják át az anyamozgatás folyamatait, mint ahogyan az együttműködő robotkarok forradalmasították a gyártási folyamatokat.

De nem minden AMR ugyanolyan. Ismernünk kell azokat a technológiákat, amelyek a termelékenységet növelő eszközök mögött állnak annak érdekében, hogy egyedi igényekre a lehető legjobb megoldást tudjuk megtalálni. Az AMR robotok olyan nélkülözhetetlen technológiákat alkalmaznak, amelyek jelentős előnyökkel, mint a könnyű használhatóság, a rugalmasság, a biztonság és a befektetés megtérülése segítik a döntéshozatalt.

2. Könnyű használhatóság és rugalmasság

Az autonóm mobil robotok egyik legnagyobb előnye az, hogy rendkívül gyorsan, könnyedén és megfizethető módon lehet őket telepíteni, programozni és használni. Az AMR robotot például egy Wi-Fi kapcsolattal rendelkező okostelefonon, tableten vagy számítógépen keresztül egyből felkészíthetjük a feladatára, majd egy órán belül a robot már el is tudja kezdeni a munkavégzést. A robot számára az üzem területének feltérképezése mindössze egy CAD fájl letöltéséből áll, de az AMR-t manuálisan is „végigvezethetjük” az épületen, így a robot web bázisú szoftvere hozza létre a térképet. Bár a Tanulmány konkrét robot típust nem feltételez, az infokommunikációs hálózat kialakításához szükség volt egy robotra, a legegyszerűbb kezelhetőség érdekében ehhez egy MiR 200 típusút választottunk (www.robotcenter.co.uk/products/mir200).

A MiR robot (Mobile Industrial Robots) egyik nagy előnye, hogy intuitív felhasználói felülete segítségével az felhasználók bármiféle programozói tapasztalat nélkül is képesek beállítani, és feladattal megbízni a robotot. Ezek a feladatok könnyedén frissíthetők, valamint a térképet is azonnal módosítani lehet, amennyiben az üzemterület elrendezése változik – ez általában mindössze percek kérdése.

További rugalmasságot biztosít a MiR nyílt forrás alapú alkalmazása, ami azt jelenti, hogy a tulajdonosok szinte bármilyen használatra igazíthatják a robot moduljait. Minden MiR robotot úgy terveznek, hogy szabványszerű rögzítő lyukakkal ellátott mobil platformként működjenek. Olyan szokványos modulok, mint a polcok vagy tároló ládák könnyedén a robotra szerelhetők házon belül.

A további népszerű modulok között szerepelnek még az együttműködő robotkarok, emelők vagy a teljesen egyedülálló MiRHook kampó, amely a nehezebb súlyokkal ellátott kocsik húzásának automatizációját teszi lehetővé.

A Tanulmányban vizsgált kommunikációs platform szempontjából szükséges, hogy a robot úgynevezett ESD védelemmel (Electrostatic Discharge = Elektrosztatikus Kisülés) legyen ellátva, azt úgy tervezzék, hogy szinte minden környezetben képesek legyenek a munkavégzésre. Mivel ESD védelemmel és tisztatér tanúsítvánnyal is rendelkezik pl. a MiR200 robot, olyan speciális gyártói körülmények között is ideálisan mozognak, amilyenek az elektronikaiparra, az élelmiszeriparra vagy az orvosi eszközök gyártása jellemzők. Ez a robot típus a szükséges - a tanulmányban is meghatározott - feladathoz megfelelő lehet.

A felhasználók számára a könnyű használhatóság és a rugalmasság kulcsfontosságú tényezőnek számít, a robotok telepítéséhez és programozásához jóformán semmilyen külső segítség nem kell, és bármikor olyan új feladattal bízhatók meg, amit éppen a tevékenység megkövetel. Az alkalmazáshoz teljes kontrollt kapnak a felhasználók a robotok fölött, könnyedén tesztelhetők rajtuk új programok és változatos fedélzeti modulok, valamint a feladatokat és az útvonalakat is úgy variálhatjuk, ahogy a feladat megköveteli.

3. Biztonság és tájékozódás

Az AMR-ek és az AGV-k közötti legnagyobb különbség[3] az emberek és akadályok körüli biztonságos tájékozódási képességben rejlik. Az AGV-k egy kötött „sínen" (pl. a padlóba ágyazott mágnesszalagok vagy drótok mentén) haladnak, és nem tudnak letérni az útról. Ha egy ember vagy egy tárgy elállja ezt az utat, az AGV-nek meg kell állnia és meg kell várnia, hogy az akadályozás megszűnjön, mielőtt tovább haladhatna. Az AMR-ek ugyanakkor érzékelőket és szoftvert használnak, melyek segítségével az autós navigációs rendszerekhez hasonlóan tervezik újra útvonalukat bármilyen eltérés esetén. Mivel a robot már alapból rendelkezik az üzemterület térképével (a korábban említett CAD program alapján), könnyedén tolathat vagy utat változtathat annak érdekében, hogy kikerülje az akadályt és hatékonyan befejezze feladatát.

További tájékozódási segítséget nyújt egy, a robot elején elhelyezett 3D kamera, amely a robot előtt akár 2 méterre, vagy a padlótól 5 és 80 cm között elhelyezkedő akadályt is felismer. Egy felső kamera is hozzáadható a robothoz, amely akár 1,8 méteres magasságban tudja érzékelni az akadályt. Ennek köszönhetően a robot biztonságosan manőverezik például felület vizsgálat során oszlopok, vagy bent hagyott kisebb-nagyobb szerszámok, gépek esetén is.

A robotok arra is könnyedén beprogramozhatók, hogy optimalizálják a tájékozódást és a biztonságot. A robot térképén tiltott zónák is bejelölhetők mindössze egy okostelefon vagy tablet érintőképernyőjének használatával. Egyéb olyan instrukciók is könnyedén programozhatók, mint például preferált útvonalak megadása, vagy a robot sebességének korlátozása forgalmas területeken. Noha a felhasználók számára általában az a komfortos, ha a robot nem haladja meg az ő gyalogos sebességüket, a robot szükség esetén 5.4 km/h sebességgel is biztonságosan közlekedik. A gyors sebesség pedig előnyös abban az esetben, amikor nagy távolságot kell megtenni. A robotot akár fel lehet szerelni megkülönböztető fényjelzéssel is, amely segítségével állapotát kommunikálja az operátor felé, de a villogó fények egyes esetekben befolyásolhatják a szenzorként működő kamerákat a felületvizsgálat esetén. Ezért célszerű, ha a robot képes hangjelzéseket kiadni, mint a csipogást, dudálást, vagy bármilyen kívánt mp3 vagy wav formátumú fájlt, amelyeket szintén

[3] www.mobile-industrial-robots.com/en/resources/whitepapers/agv-vs-amr-whats-the-difference/ alapján

egyszerűen telepíthetünk fel.

4. Mobil robotok minden iparágban

Előbb-utóbb szinte minden iparágban megjelennek a mobil, illetve az együttműködő robotok, amelyek már nem csupán a versenyképesség növelésének eszközei, hanem a túlélés zálogai.

Jóllehet, a mobil robotok piaca még korai stádiumban van, az előrejelzések szerint az elkövetkező egy-két évben világszerte jelentős fellendülésnek lehetünk tanúi. Egyre több vállalat fedezi fel a mobil robotokban rejlő azon lehetőségeket, amelyekkel automatizálhatók a belső szállítmányozási folyamatok. Visszatekintve a múltba megállapítható, hogy a robotika először a jól automatizálható autó- és elektronikai iparban jelent meg.

Ugyanez a trend érvényes a mobil robotokra is, de az már most látszik, hogy a mobil robotok szinte minden iparág, többek között a gyógyszer-, a divat-, vagy az élelmiszeripar számára relevánsak lehetnek. „A MiR együttműködő robotjait (kobotjait) például már most alkalmazzák az ipari és egészségügyi szektorban a belső szállítási folyamatok automatizálására” – fogalmaz Jesper Sonne Thimsen, a dán Mobile Industrial Robots (MiR) közép-kelet-európai régiójának értékesítési vezetője.

4.1 Automatizálás után robotizálás

A Nemzetközi Robotikai Szövetség (IFR) adatai szerint 2020-ig 330 százalékkal nő a mobil robotok alkalmazása. Az eladott ipari robotok száma Kínában, a Koreai Köztársaságban, Japánban és az Egyesült Államokban a legmagasabb (2016-os adat).

1. ábra Ipari robotok alkalmazásban

A magyar vállalatok jelenleg a digitalizáció küszöbén állnak. Már elkezdték alkalmazni az új technológiákat, egyre több cég ismeri fel a mobil robotokban rejlő lehetőségeket. Több helyen találkozni már mobil robotokkal, amelyek a gyártósorok vagy egyéb belső logisztikai területek mellett közlekednek.

Szakértői vélemény szerint korábban Magyarországon az automatizálás egy eszköz volt arra, hogy a cégek versenyelőnyt szerezzenek. Ma ez a túlélés záloga. Szeretnénk eloszlatni a robotokkal kapcsolatos tévhiteket, amelyek még mindig távol tartják a vállalkozókat attól, hogy mobil robotokba fektessenek be, és ezáltal olyan eszközre tegyenek szert, amellyel versenyképesek tudnak maradni a piacon.

Milyen elvárásokat támaszt a mobil robotok alkalmazása a felhasználókkal, illetve azon környezettel szemben, ahova a mobil robotokat integrálják?

A MiR mobil robotjai gyáron belüli használatra készülnek, azaz csak beltérben működtethetők. Más megkötés nincs, a mobil robotok szinte bármilyen gyártótérbe és környezetbe telepíthetők. Beüzemelését követően a robot létrehoz egy belső térképet, amelyen a felhasználó különféle küldetéseket, úticélokat, valamint elsődleges útvonalakat adhat meg. Innentől kezdve a robot magától találja meg a legjobb útvonalat, amihez nincs szüksége vezetékekre, szalagokra vagy bármire, ami a hagyományos önvezető járműveket segíti a tájékozódásban. A gyárterületet sem kell megváltoztatni. A mobil robotoknak mindössze Wi-Fi kapcsolatra van szükségük ahhoz, hogy dolgozzanak.

4.2 Együtt az emberrel

Gyakori félelem, hogy a mobil robotok alkalmazását létszámleépítések követik. A valóságban a robotok nem veszik el a munkahelyeket, mindössze elvégeznek olyan feladatokat, amelyeket könnyedén lehet automatizálni. Amíg a robot/kobot elvégzi az unalmas munkát és az ismétlődő feladatokat, az alkalmazottak idejüket és energiájukat olyan problémák megoldására fordíthatják, amelyekhez döntésre és kreativitásra van szükség. A kobotokat arra tervezték, hogy az emberekkel együtt dolgozzanak, és nem helyettük. Ez a felállás új munkahelyeket is teremt, hiszen a robotokat működtetni, programozni, karbantartani kell.

5. Biztonság mindenek fölött

Az együttműködő robotoknál az egyik legfontosabb szempont a biztonság. A MiR robotok fejlett, hármas kategóriájú, „D” teljesítményszintű biztonsági rendszerrel rendelkeznek. Ezen kívül biztonsági lézeres szkennelőket, biztonsági PLC-ket és biztonsági jelfogókat használnak annak érdekében, hogy adatokat továbbítsanak a tervező algoritmusaikba. Ennek segítségével a robotok akár 20 méterről is felismerik az akadályokat, és megtervezik a kerülőutat, vagy biztonsági megállást hajtanak végre, nehogy ütközést vagy sérülést okozzanak. A 3D kamerákkal ellátott biztonsági rendszerrel a robot képes azonosítani a környezetét, és ezáltal a leghatékonyabb utat teszi meg a cél felé, miközben biztonságosan kikerüli az embereket és az akadályokat.

Noha a mesterséges intelligencia még nem része a mobil robotoknak, a jövőben változás várható ezen a téren. Nemsokára például a mobil robot már képes lesz megállapítani, hogy pontosan milyen típusú akadály van az útjában, majd „kigondolja” a legjobb útvonalat az adott akadály kikerülésére. A mesterséges intelligencia kétségtelenül részét képezi majd a mobil robotok további fejlesztésének. A világon tapasztalható trendekkel összhangban a mesterséges intelligencia hosszú távon része a fejlesztéseinknek. Már most nagy hangsúlyt fektetünk az Ipar 4.0-s alkalmazásokra; azt látjuk, hogy mobil robotjaink jól beleillenek ebbe a paradigmába. A jövőben a jelenleginél még nagyobb hangsúlyt fektetünk mobil robotjaink más robotokkal való összekapcsolására. Úgy ítéljük meg, hogy a mobil robotokat egyre inkább arra használják majd, hogy további robotokat hozzanak létre, például együttműködő mobil robotokat, amik segítségével a gyártási folyamat még gyorsabbá és rugalmasabbá válhat.

2. ábra A MiR 200 robot (forrás: https://www.mobile-industrial-robots.com/en/products/mir200/)

3. ábra Ipari robot alkalmazások

Mérettől és iparágtól függetlenül egyre több vállalkozás kacsintgat az automatizáció felé annak érdekében, hogy növelje versenyképességét és a munkahelyi biztonságot. A robottechnológia eleinte a gyártási feladatokra koncentrált, és a költséghatékony, biztonságos, könnyedén telepíthető robotok területén elért fejlődésnek köszönhetően az automatizáció ezen típusa már a KKV-k számára is elérhető. Mivel ezek a beruházások gyors és jelentős megtérüléssel járnak, a cégtulajdonosok elkezdtek vállalkozásukon belüli, egyéb pazarló folyamatok automatizálásán is gondolkozni.

Az első számú célpont az anyagmozgatás. Még a magas szinten automatizált üzemekkel rendelkező gyártóvállalatok is szakképzett munkásokat alkalmaznak arra, hogy kocsikon tolva szállítsák az eszközöket az egyes munkaállomások között. Más iparágakban, mint például a vendéglátás vagy az egészségügy, az alkalmazottak értékes órákat töltenek azzal, hogy szemetet, ágyneműket, a szennyest, vagy éppen ételt szállítsanak, ahelyett, hogy a vendégekkel, páciensekkel vagy a lakókkal foglalkoznának. Korábban a belső szállítási folyamatok automatizálására az egyetlen megoldást az önvezető járművek (AGV-k) jelentették. Azonban ezek költséges, rögzített rendszerek telepítését igénylik, és általában a gyártócsarnok padlójára kötött sínek vagy érzékelők kiépítésével járnak. Ma az autonóm mobil robotok (AMR-ek) rendkívül rugalmasak, költséghatékonyak és biztonságosak, valamint úgy formálják át az anyamozgatás folyamatait, mint ahogyan az együttműködő robotkarok forradalmasították a gyártási folyamatokat.

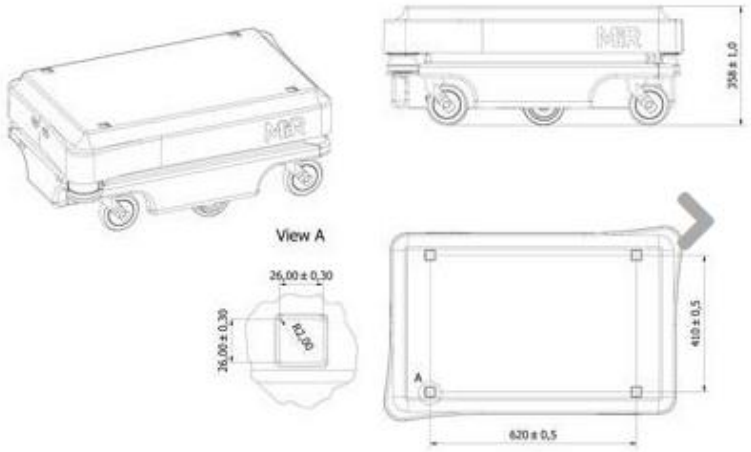
De nem minden AMR ugyanolyan. A cégtulajdonosoknak meg kell ismerniük azokat a technológiákat, amelyek a termelékenységet növelő eszközök mögött állnak, annak érdekében, hogy egyedi igényeikre a lehető legjobb megoldást tudják megtalálni. A Mobile Industrial Robots (MiR) AMR-jei olyan nélkülözhetetlen technológiákat alkalmaznak, amelyek a versenytársak elé pozícionálják őket, valamint olyan kulcsterületeken szolgálnak a cégtulajdonosok számára jelentős előnyökkel, mint a könnyű használhatóság, a rugalmasság, a biztonság és a befektetés megtérülése (ROI).

6. Könnyű használhatóság és rugalmasság

Az autonóm mobil robotok egyik legnagyobb előnye az, hogy rendkívül gyorsan, könnyedén és megfizethető módon lehet őket telepíteni, programozni és használni. A MiR robotot a vásárló egy Wi-Fi kapcsolattal rendelkező okostelefonon, tableten vagy számítógépen keresztül egyből kivezetheti a csomagolásból, majd egy órán belül a robot már el is tudja kezdeni a munkavégzést[4].

4. ábra MiR robot vezérlése okoseszközről

5. ábra A MiR robot



A robot számára az üzem területének feltérképezése mindössze egy CAD fájl letöltéséből áll, de az AMR-t manuálisan is „végigvezethetjük” az épületen, így a robot web bázisú szoftvere hozza létre a térképet.

[4] https://www.youtube.com/watch?v=tVmVoDankzc

6.1 Miben különböznek a MiR-termékek a hagyományos ipari robotoktól?[5]

Korábban olyan önvezető járműveket terveztek, amelyek mágnescsíkokat vagy -pontokat követve haladtak az ember által megtervezett útvonalon. Ezek a robotok, ha valamilyen akadály került az útjukba vagy megszakadt a kijelölt vonal, egyszerűen megálltak. Így az anyagmozgatás folyamata megakadt, és a hiba kiküszöbölése nagy erőfeszítésekkel és többletmunkával járt.

Balesetveszély is fennállhat e gépek alkalmazásakor, hiszen a hagyományos ipari robotok nem feltétlenül érzékelik az akadályok vagy akár a munkatársak közelségét. A fizikai akadályokból fakadó technikai problémák azonban egyszerűen korrigálhatók az új, innovatív modellek bevezetésével. A MiR-robotok a negyedik ipari forradalom méltó képviselői, ugyanis az önvezetés során szoftveresen hozzárendelt vagy saját maguk által tervezett útvonalat követnek. Természetesen még ekkor is kerülhet az útjukba akadály. Ebben az esetben a robot új útvonalat tervez, és kikerüli az útjába került tárgyat vagy embert. A szoftver segítségével beállítható, hogy melyik irány legyen az elsődleges, melyik a másodlagos és így tovább.

Olyan zóna is megadható, ahová a robot egyáltalán nem mehet be. Mindez olyan egyszerűen megtehető, mintha csak egy telefonos játékkal játszanánk. A szoftver fejlesztői természetesen arra az esetre is felkészültek, ha két vagy több MiR-robot dolgozik egy területen: a flottakezelő szoftver segítségével nagy biztonsággal és hatékonysággal kerülik ki egymást. A MiR-modelleknek – a humán munkaerővel szemben – nincs szükségük pihenőidőre. Üresjárat esetén, ha a robotok épp nem végeznek feladatot, automatikusan feltöltik magukat az e célra kialakított töltőállomáson. Rövid töltésekkel a munkára fordítható idő is növekedhet. Az eddigi tapasztalatok alapján három műszakot minden nehézség nélkül elvégeznek, s havi kétszázötven kilométert is képesek megtenni.

6.2 Ember- és felhasználóbarát robot

Üzemi balesetet a robot nem okozhat, ez a MiR-modellek legalapvetőbb szabálya. A belső anyagmozgatás területén a biztonság már nem csak távoli vágyálom. A közös munka akár egész nap gördülékenyen és kényelmesen folyhat. Az emberbarát kivitelezés mellett a robotok másik óriási előnye, hogy kezelésük módfelett kedvez a felhasználóknak. Elég egy tablet, okostelefon vagy okosóra, és indulhat a munka. A MiR-hez hozzárendelt okoseszköz segítségével könnyedén figyelemmel kísérhetjük a beállításainkat. A robot feladatát és útvonalát egyszerűen megadhatjuk, vagy kialakíthatunk preferált és elkerülendő területeket is. Mivel a robot a „betanított" feladatokat a továbbiakban már egyedül végzi, ezzel nem kevés időt és energiát spórol meg „munkaadójának".

A rendszer használata rugalmas, a kezeléshez nem kellenek programozói ismeretek. Aki némi rutinnal bír a webes böngészők használatában, annak a MiR-robot felhasználói felülete sem fog gondot okozni. A robotnak csupán egy térképet kell adni, amiből az ki tudja számítani az optimális útvonalat. Amennyiben a célállomás vagy a program menet közben változik, egy kattintással vagy érintéssel a robot „tudomására hozhatjuk" ezt.

7. Konklúzió

Modern világunkban elengedhetetlen, hogy alkalmazottaink, munkatársaink eredményességéről mihamarabb elemezhető adatok álljanak a rendelkezésünkre. A MiR-robotok munkavégzése során gyűjtött adatok bármeddig visszakövethetők, a gépek hatékonysága az információk alapján könnyedén elemezhető. Így nemcsak az Ipar 4.0, de a Big Data irányelveinek is teljes mértékben megfelelnek. A maximális átláthatóság révén az üzemeltetők könnyedén meggyőződhetnek

[5] https://newtechnology.hu/legrugalmasabb-munkatars-robotcentertol/

robotalkalmazottjuk hatékonyságáról.

A MiR-modellek rendkívül sokoldalúak. A könnyen kezelhető, biztonságos és nagy teherbírású robotok rengeteg szakterületen használhatók. Leggyakrabban olyan multinacionális vállalatok alkalmazzák a robotokat, amelyeknek kiemelten fontos a gyártási és logisztikai folyamatok automatizálása és optimalizálása. Ezzel számottevő mennyiségű energiát és költséget is megtakarítanak. Az üzemen belüli logisztika sokszor még a nagyvállalatoknak is nehézségeket okoz. Ha a belső anyagmozgatást élő munkaerő végzi, ez magas hozzáadott értéket jelent, de mellette számolni kell az üzemen belüli szállítási idő növekedésével, vagy épp az anyagi haszon csökkenésével is.

Az intralogisztikai folyamatok eredményességének fokozására intelligens és innovatív megoldást nyújt a MiR-robotok alkalmazása, amelyek költséghatékonyságot, precíziót és biztonságot nyújtanak a felhasználók számára. A MiR-robotok az egészségügyben szintén kiválóan alkalmazhatók, mivel kórházi környezetben is biztonságosan közlekednek. A könnyű kezelhetőség lehetővé teszi, hogy orvosi segédeszközöket szállítsanak egyik helyről a másikra, levihetik a szennyest a mosodába, vagy kivihetik az ágytálat a kórteremből. Könnyen belátható tehát, hogy a MiR-robot „nővérként” is megállja a helyét, számos terhet levehet az alkalmazottak válláról.

Köszönetnyilvánítás

A jelen dolgozatban bemutatott kutatási munka a 2017-1.3.1-VKE-2017-00031 – “Nagy pontosságú burkolatvizsgáló mérési technológia alapjainak kutatási programja” című project támogatásával valósult meg.

8. Hivatkozások

[1] https://newtechnology.hu/legrugalmasabb-munkatars-robotcentertol/

[2] https://www.youtube.com/watch?v=tVmVoDankzc

[3] http://www.digitalhungary.hu/e-volution/Itt-van-minden-amit-az-autonom-mobil-robotokrol-tudni-kell/7035/

[4] http://ftengineering.hu/hu/mir

[5] http://www.robotcenter.hu/

[6] http://www.robotcenter.hu/mir.html

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Az angol-zulu háború brit tisztek memoárjából

The anglo-zulu war from the perspective of british officers

[1]Janssens Adrián Joshua

[1]*Szegedi Tudományegyetem, Szeged, Magyarország, figaro.sushi@gmail.com*

Összefoglalás

A 19. század második felében egyre fontosabbá váló dél-afrikai brit gyarmat helytartója, Henry Bartle Frere London tudta nélkül indított 1879-ben háborút az ereje csúcsán lévő Zulu királysággal szemben. A háborúban résztvevő négy brit tiszt memoárját fogom elemezni, akik négy különböző szemszögből mutatják be a konfliktus menetét önéletírásukon keresztül. Foglalkozni fogok az önéletírások feldolgozásának módszertanával és kihívásaival. Röviden ismertetem a háború főbb eseményeit, illetve kutatási kérdéseim eredményét.

Abstract

At the peak of the Zulu Kingdom, Henry Bartle Frere, the governor of the South African British colony, that had become increasingly important in the second half of the nineteenth century, started a war over London's head against the Zulu Kingdom in 1879. Analyzing four British officers' memoirs who participated in the war, I will introduce the course of the conflict from four different points of view. Engaged in the methodology of the memoir's process and its challenges, I briefly review the main events of the war and the result of my research questions.

1. Módszertan, forrásbemutatás, kérdésfeltevés

Tanulmányomban négy darab memoárt elemzek, ezek a primer források az ego-dokumentumok közé sorolhatók, azon belül is főleg az önéletíráshoz. Ezen szubjektív dokumentumok feldolgozásához nincs egy kiforrott módszertan, mely alapján pontról pontra fel lehet dolgozni őket, inkább sarokpontok vannak, amik mentén képesek vagyunk elemezni az írásokat. Mint minden dokumentumnál, itt is fontos a keletkezésükkel kapcsolatban kérdést feltennünk, hogy mikor, milyen körülmények között, vagy minek a hatására keletkezett. Az élettörténet keletkezése szubjektív vélemény, hiszen az író azt gondolja, hogy van olyan eseménylánc, mely kitart egész életén át, és egyben tartja az élettörténetének útját. A szinte már filozófusi mélységekig elmenő Pierre Bourdieu francia szociológus és antropológus tette ezt a kijelentést az élettörténettel kapcsolatban: „Amikor „élettörténetről" beszélünk azt feltételezzük, hogy az élet maga egy történet, *és hogy az élet egyben az individuális létezéssel kapcsolatos események együttese, amely egyszersmind történetként és e történet elbeszéléseként fogható fel*" [1]. A radikális megfogalmazás mögött egy olyan kérdés található, hogy kit és mit keresünk a forrástípusokban, hogy az énnek van-e egy olyan szilárd magja, ami egy életpályát összetartani képes [2]. Ez a szilárd mag jelen esetben a katonai pályafutás a brit hadseregben, amit érdemesnek gondoltak papírra vetni.

Az alább látható 1. táblázatban megtalálható a négy memoár címe, valamint pár fontosabb adat

a szerzőkről. Ami mind a négy memoárt összeköti, az a katonai szolgálat a brit hadseregben – mind tisztek voltak, illetve részt vettek az angol-zulu háborúban.

1. táblázat

Név	Katonai szolgálat kezdete	Memoár kiadásának éve	Memoár neve	Rendfokozat	Alakulat
Sir Bindon Blood's	1860 (1871) India	1933 (emlékezett és szakirodalmak)	Four score years and ten	Százados	1. hadosztály (műszaki alakulat)
Sir Evelyn Wood	1855 (1856) Krím	1906 (naplója alapján)	From midshipman to field marshal	Törzstiszt	4. hadoszlop
Sir Harcourt Mortimer Bengough	1855 (1856) Krím	1913	Memories of a soldiers life	Őrnagy	2. Natal Native zászlóalj
Sir Horace Smith-Dorrien	1877 (1879) Dél-Afrika	1925	Memories of forty-eight years service	hadnagy	Logisztikai feladatok

A memoárok keletkezését nézve mindre a katonai szolgálatuk után került sor, Blood's és Bengough barátok „nyomására" írták meg önéletírásukat. Blood's külön kiemeli, hogy nem írt naplót vagy levelet a katonai pályafutásáról, így csak kizárólagosan az emlékezetére tud hagyatkozni, amit szakirodalmakkal és levéltári anyagokkal egészített ki. Ez nagyban befolyásólja a memoár struktúráját, ugyanis tankönyvként írja le a hadjárat eseményeit, a csaták menetét, győztes vagy vesztes kimenetelük okait, független attól, hogy részt vett-e bennük vagy sem. Wood említi naplójának használatát az önéletírásához, Bengough erre nem tér ki, csak érzékelhető, hogy vagy naplót, vagy levelet használhatott segédanyagként, melyeket nem a hadjárat elejétől kezdett el rendszerességgel írni. Dorrien szintén nem tér ki arra, hogy írt-e naplót. Rátérve a rendfokozatra és alakulatoknál való szolgálatra, láthatjuk, hogy szinte minden téren belátást nyerhetünk a hadoszlop vezetésétől a műszaki és logisztikai feladatokon át egészen az őslakosokból toborzott és létrehozott zászlóaljakig. Három kutatási kérdést tettem fel, amikre a memoárokon keresztül szerettem volna választ kapni.

1.1 Mi a háború célja?

A következő fejezetben ki fogok térni a konfliktus kirobbanásának okaira, és ezek alapján próbáltam arra a kérdésre választ kapni, hogy ezek a több háborút is látott brit tisztek fogalmaztak-e meg egyáltalán véleményt memoárjaikban, hogy miért is mentek háborúba a zuluk ellen, vagy csak egy újabb konfliktusnak titulálva nem foglalkoztak a kérdéssel.

1.2 Zuluk megítélése a háború előtt és közben?

Michael Lieven A victorian genre: military memoirs and the anglo-zulu war című tanulmányában kitér a zuluk és britek közötti katonai tisztelet kialakulására a háború után. Így próbáltam annak utánajárni, hogy a brit katonák milyen véleményen voltak a zulukról a háború előestéjén és első felében.

1.3 Mi volt a háború sajátossága?

Itt olyan mondatokat kerestem, mint például, *„még soha nem láttam ilyet"*, *„ez volt a legnagyobb"* stb., melyek a több háborút megjárt veterán katona szájából tényleg kiemelhetik a konfliktust. Emellett pedig olyan elemeket kerestem, amik akár több memoárban is megjelenhettek

a háborúval kapcsolatban.

2. Az 1879-es angol-zulu háborúról röviden

A 19. század elején katonai reformon keresztüleső zuluk a század végére a délkelet-afrikai régió hegemón királyságává nőtték ki magukat. Katonai reformjukat *Saka* nevű uralkodójuk vezette be, melynek több pontja volt. Az egyik az új fegyver bevezetése, az *iklwa*, ami a hosszú hajítófegyverként használható *assegai* helyett egy rövid szúrófegyver volt. Más téren szervezeti változást hozott be: a társadalmat ezredekbe sorolva és barakkokban elhelyezve képessé vált precízebb hadvezetést végrehajtani. A csatatereken pedig az új taktikának számító *„horns of the bull"* bekerítő manővert alkalmazta [3]. A szintén század elején brit fennhatóság alá kerülő Cape kolóniával (1806) eleinte nem sokat foglalkoztak a britek, egyszerűen nem volt fontos számukra, főleg Indiában lévő gyarmatuk megszilárdításával és kiterjesztésével voltak elfoglalva. A dél-afrikai gyarmatot nagyrészt búrok kolonizálták a 18. századtól kezdve, akik főleg hollandokból és flamandokból álltak.

Hogy megértsük a konfliktus lényegét, először a kolónia részeivel kell foglalkoznunk, majd a britek hozzáállását kell megértenünk gyarmatukhoz. Négy nagyobb régiót lehet elkülöníteni egymástól, a Cape és Natal kolóniákat, amik Dél-Afrika partjainak mentén helyezkedtek el, és közrefogta a belső területen elhelyezkedő Oranje Szabadállamot, illetve ezektől észak-keletebbre található Transvaal régióját, ami már közvetlen szomszédságban van a Zulu Királysággal. A Cape és majd 1844-től a Natal kolónia teljesen brit fennhatóság alá került, ami tömeges kivándorlást eredményezett a búrok részéről. A közvetlenül brit fennhatóság alatt nem álló Oranje Szabadállamba és a transvaali régióba vonultak át a menekülő búr lakosok, akik főleg farmerek voltak [4]. Mind az európai farmereknek és őshonos zuluknak a nagyállattartás (főleg tehén) volt a fő megélhetési lehetőség, ami a fűfélék széles választékát nyújtó régióból adódott [5]. A legelőkért folytatott harc pedig folyamatos volt a farmerek és őslakosok között, ez az állandó nyomás, és a határok bizonytalansága kisebb-nagyobb incidensekbe és összecsapásokba torkollott. Láthatjuk, hogy nem volt egy stabil és nyugodt gyarmat a britek számára, mivel mind belső (búrok) és külső (búr-zulu) feszültségekkel küzdeniük kellett.

A régió stabilitásának rendbetételével eleinte nem sokat foglalkoztak a britek, ennek okait már fentebb említettem (fontosabb volt számukra az indiai kolóniáik gyarmatosítása). Az 1860-as években nagy mennyiségben találtak gyémántot a dél-afrikai gyarmaton, ami elindította a gyémántlázat. Ez elkezdte sürgetni a briteket afelé, hogy egyesítsék a régiót, ezzel stabilizálva a gyarmatot [6]. Több elképzelés is volt, amiknek a célja mindenféleképpen egyfajta konföderáció létrehozása volt a régióban, már csak az eszköz volt kérdéses. 1877-ben Dél-Afrikának a főbiztosi pozícióját Henry Bartle Frere kapta meg, aki elődjéhez képest sokkal agresszívabb eszközökhöz folyamodott. Folyamatosan kereste a zulukkal a konfliktust, és minden lehetőséget megragadva próbált *casus bellit* kovácsolni ellenük. Végül két incidens is történt. Két zulu nő, akik a *nkhosi, Sihayp kaXongo* nemes családfőnek a feleségei voltak, szeretőikhez átszöktek Natalba. Amikor ez kiderült, egy kisebb zulu csoport a családból utánuk ment, és a Zuluk fővárosába vitte a két nőt, ahol a törzs törvényei szerint megölték őket [7]. A másik incidens Luneburg közelében történt. *Mbilini* Swazi törzsfő (aki a zuluk kegyeiben volt ekkor) rátámadt a helyi búr farmerekre, ahol az ellenállókat és fegyverteleneket is lemészárolták. *Cetshwayo,* a Zuluk királya rögtön elszigetelte magát a Swazi törzsfőtől, de Frere propaganda gépezete meglovagolta a történeteket [8]. Ezzel olyan képet állítottak a zulukról, hogy agresszív, harcias és nőket nem tisztelő barbár nép, akik már a helyi európai civileket sem kímélik. Fentebb mér kitértem arra, hogy incidensek folyamatosan voltak a határ mentén mindkét fél részéről, mindenki hajtotta el a másiknak a teheneit, vagy vezette a másik legelőire. A Swazi törzsfő tette extrém esetnek számít, amihez *Cetshwayonak* nem volt közvetlen beleszólása. Mindeközben a két fél között folytak a békés egymás mellett éléssel kapcsolatos

tárgyalások közvetítőkön keresztül, aminek 1878. december 11-én eredménye is született. A britek és zuluk egy nagyra nőtt fügefa alatt találkoztak, ahol az említett békés közvetítők által hozott eredményeket közölték, amit a zuluk pozitívan fogadtak. A végére érve Frere hangnemet és témát váltott, *Cetshwayot* pedig kész tények elé állította, követelte *Mbilini* és *Sihayo* fiainak a megadását (akik a nőrablásban vettek részt), illetve a zulu katonai rendszer leépítését a következő 30 napban. A követelések teljesítésének megtagadása esetén háborúval fenyegettek. Természetesen nem tett eleget *Cetshwayo* a britek követeléseinek, és mind a két fél a háborúra való készülődéssel töltötte az ultimátumban megadott idő napjait. Amit még fontos megemlíteni, hogy Frere a konfliktusról Londont nem tájékoztatta, mivel tudta, hogy a Brit Birodalomnak nem áll érdekében egy Dél-Afrikában lévő háború megvívása jelen pillanatban, amikor a világ másik felén a Cári Oroszország ellen a háború széléig forrósodott a diplomácia helyzete. Így nem teljes erejével tudott lecsapni a Brit Birodalom, hanem csak a rendelkezésükre álló 6 zászlóaljjal (még egy úton volt a tengeren, így összesen valamivel több, mint 2.000 ember) és két könnyű tüzérüteggel (ami 12 db ágyút jelentett) lovasság nélkül [9]. A zulu fősereg pedig Ulundiban gyülekezett, és 20.000 főt számlált. Végül 1879. december 11-én hivatalosan is háborúba került a két fél, és a brit csapatok megkezdték a zuluk földje elleni támadásukat.

A háború csak azon csatáiról és részeiről fogok beszámolni, amik ismertetése lényeges a memoárok elemzéséhez. A britek nehéz helyzet elé kerültek, mivel féltek a zulu sereg betörésétől a gyarmatok területeire, ezért 5 hadoszlopra osztották erejüket, és 5 különböző pozícióba vezényelték, ezzel szintén megosztásra kényszerítve a zulu fősereget [10]. Számunkra a 3. és 4. hadoszlop lesz a fontos. Dorrien a 3. hadoszlopban szolgált és végzett logisztikai feladatokat, emellett ez a hadoszlop volt a legerősebb mind közül, Wood pedig a 4. hadoszlop parancsnoka volt. Az első brit hadjárat sorsa hamar megpecsételődött, ugyanis a 3. hadoszlop 1879. január 22-én Isandlwanna mellett szembetalálkozott a zuluk főseregével, és megsemmisítő vereséget szenvedett, maga Dorrien is alig tudott kimenekülni a zuluk lándzsái közül. Már csak ezért is értékes a visszaemlékezése, mert azon kevés személyek közé tartozott, akik túlélték a csatát. A vereséget követően a többi hadoszlop nem vonult tovább, és mindenki a saját harcát vívta elszigetelve egymástól, várva a csatavesztés hírét meghalló London segítségét. Nem messze Isandlwanatól a zulu sereg egyik pár ezer főből álló része még január 22. estéjén megtámadta az időközben megerődített Rorke's Drift-i épületkomplexumot. Másnap hajnalig tartották magukat a brit védők, mire a zuluk nagy veszteségeket követően abbahagyták az épületek ostromát. Ugorva egy nagyobbat az időben, 1879. március 12-én az Intombe folyón próbált átkelni egy körülbelül 80 fős brit csoport, amikor egy párszáz főből álló zulu csoport rajtuk ütött, és szinte mindenkivel végeztek a helyszínen. Azért lesz fontos ez a kis csata, mert elképesztő módon rontotta a 4. hadoszlopban szolgáló katonák morálját, a zuluk rajtaütésétől folyamatos rettegést indított el. Szintén márciusban került sor a háború fordulópontjának számító Hlobane és Kambula csatákra. Wood 4. hadoszlopán mozgás közben március 28-án rajtaütött a zulu fősereg, és Kambula közelébe szorította vissza, ahol Wood berendezkedett a fő összecsapásra. Másnap (29-én) pedig komoly vereséget mértek a Kambula csatában a zulu seregre, akik ezt a vereséget nem tudták kiheverni. A hadjárat második felében átszervezték a brit hadsereget a beérkező friss csapatokkal együtt, és új lendülettel nekiindulva 1879. július 4-én Ulundinál végső vereséget mértek a zulukra, ezzel lezárva az angol-zulu háborút.

3. Eredmények

2. táblázat Eredmények

Név	Háború célja	Zuluk megítélése	Háború sajátossága
Sir Horace Smith-Dorrien	Diplomaták sikeresek, de a zulukkal gond van. Elmondása alapján a háború okaival tisztában van	Leírhatatlan vadság, civilizációs különbség, nemes nép, magas erkölcsi színvonallal	Logisztikai nehézségek taktikai szinten
Sir Evelyn Wood	-	-	Logisztikai nehézségek stratégiai szinten „Indokolatlan” pánik az éjszakai harctól
Sir Harcourt Mortimer Bengough	Csak sejtésük volt, hogy mi lesz a feladatuk a hajóúton, „a háború morálisan és politikailag jogos, önvédelem volt 20.000 európai 320.000 afrikaival szemben”, [11]	Kafir-nak nevezte eleinte őket, nyelvükkel foglalkozik Intelligensek, őszinték, derűsek és sokat csevegnek, szeretnek dohányozni és sört inni, élénk humorérzék „The Rock Splitter” (sziklahasító)	„Are they coming?” Auxiliáris zulu csapatok harcképtelensége
Sir Bidon Blood’s	-	Kedves, értelmes emberek	Felderítés és műszaki feladatok ellátásának a veszélye

A fent látható táblázatban láthatják kutatásom eredményét a kérdésekhez igazítva. Kezdve az elsővel, megjelennek a Frere propagandája által koholt vádak, hogy a zuluk vadak, megbízhatatlanok, és a konfliktus egyfajta európaiak és afrikaiak közötti ellentét rendezése. A második kérdésnél, a zuluk megítélésénél Bengough és Blood’s magyarázatra szorul. Blood’s később érkezik meg a kontinensre, illetve műszaki feladatainak elvégzésekor sokat van a zuluk társaságában, illetve a Cape kolóniában is többükkel beszélget. Bengough már több frontot megjárt tiszt, és mélységesen lesújtja, hogy egy zulukkal teli auxiliáris zászlóaljat kell vezetnie, és eleinte negatívan is fogalmaz róluk. Érdekes módon egy idő után megváltozik ez a negatív kép, és még pozitív színben is ír róluk, hogy intelligensek, derűsek stb., emellett kiemeli, hogy szeretik a dohányt és a sört is, de berúgva soha nem látott egy zulut sem. A harmadik kérdésnél, a háború sajátosságánál egyértelműen látszik, hogy mint minden háború, ez is a logisztikai nehézségek minél szakszerűbb leküzdésén múlik. Jelen esetünkben az éppen csak gyarmatosítani elkezdett régiókon nincsenek megfelelően kiépített utak, megállóhelyek, így a hadoszlopoknak mindent vinniük kell magukkal, amit a tehenek vagonok elé fogásával oldottak meg. Azonban a farmerek nem adták olcsón állataikat, és sokszor csak a következő tanyáig kísérték el a hadoszlopokat. Ebből látható az is, hogy

a kocsisok óriási százaléka civil volt, akiknek célja saját állataik és életük védelme volt. Wood memoárjából egyértelműen érzékelhető az ezzel járó nehézség, ugyanis folyamatosan azzal voltak elfoglalva, hogy honnan tudnának még több ellátást és igavonó állatot beszerezni. A szamaraknak örült a legjobban, ugyanis azt nem kellett úgy legeltetni, mint a teheneket, amik magas legeltetési igénye miatt akár az Ulundi elleni támadást is majdnem késleltetni kellett [12]. A másik, hogy a közkatonák nagyon féltek, hogy a zuluk valahol meglepetésszerűen rajtaütnek csoportjukon (ez főleg az Intombe csata után volt így), Wood pedig nem értette a katonákat, ugyanis ő úgy gondolta, hogy egy éjszakai ütközettől nem kell félniük, mivel a zuluk nem tudnák ezredeiket a sötétben megfelelően irányítani, és igaza is volt. Ezt a folyamatos félelmet jól leírja egy megroppant lelkű brit katona folyamatosan ismétlődő mondata: *„Are they coming?”* [13]. Bengough írta le ezt a katonát, akivel Rorke’s Driftnél találkozott rögtön a csata után. Ami szembetűnő, hogy bizonyos helyeken nem találtam semmilyen információt, ezeket kihúztam a táblázatnál, ami jól bemutatja az ego-dokumentumok sajátosságát és szubjektív jellegét, mivel csak olyan dolgok kerülnek bele, amit az adott személy átélt, magának gondol, vagy emlékezett rá.

4. Hivatkozások

[1] Pierre, Boirdieu. 2002. A gyakorlati észjárás: A társadalmi cselekvés elméletéről. Napvilág Kiadó. 68.

[2] Kövér, György. 2011. Magán-Történelem (Naplók, Visszaemlékezések). Soproni Szemle, 65(1-4), 220.

[3] A. Greaves, & M. Xolanzi. 2013. The Zulus at war. Skyhorse Publishing.

[4] A. Greaves. 2006. Crossing the Buffalo: The Zulu war of 1879. UNKNO.

[5] I. Knight. 2003. The Zulu War 1879. Osprey Publishing. 11.

[6] A. Greaves. 2006. Crossing the Buffalo: The Zulu war of 1879. UNKNO.

[7] I. Knight. 2003. The Zulu War 1879. Osprey Publishing. 17.

[8] A. Greaves, & M. Xolanzi. 2013. The Zulus at war. Skyhorse Publishing.

[9] I. Knight. 2003. The Zulu War 1879. Osprey Publishing. 20.

[10] I. Knight. & I. Castle. 1992. Zulu War 1879: Twilight of a Warrior Nation. Osprey Publishing. 9.

[11] Sir H. M. Bengough. 1913. Memories of a Soldiers’s Life. Edward Arnold. 117.

[12] Sir E. Wood. 1906. From Midshipman to Field Marshal. Methuen & CO. 365.

[13] Sir H. M. Bengough. 1913. Memories of a Soldiers’s Life. Edward Arnold. 116.

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Nagy hőmérsékletre szánt nagy-entrópiájú ötvözetek oxidációja

Oxidation of Refractory High-Entropy Alloys

[1,2,3]Juhász Gergely, [1,2,3]Hareancz Ferenc, [1]Fábián Enikő Réka, [2]Vida Ádám

[1]Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, gregoryshepard.95@gmail.com, har.ferenc@gmail.com, fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu
[2]Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.Budapest, Magyarország, gergely.juhasz@bayzoltan.hu, ferenc.hareancz@bayzoltan.hu, adam.vida@bayzoltan.hu
[3]Neumann János Egyetem. Kecskemét, Magyarország, juhasz.gergely@nje.hu, hareancz.ferenc@nje.hu

Összefoglalás

A cikk a fémek oxidációját tárgyalja, különös tekintettel a nagy hőmérsékletre szánt nagy-entrópiájú ötvözetek (RHEAs – refractory high-entropy alloys) oxidációs viselkedésére. Az első részben a nagy hőmérsékletű oxidáció termodinamikai és kinetikai alapjait mutatja be, kitérve a védő és nem védő oxidrétegek tulajdonságaira és az oxidációt meghatározó tényezőkre. A második rész az RHEA-k alapjait ismerteti, beleértve azok összetételét, tulajdonságait és alkalmazási területeit. Végül, a RHEA-k oxidációjának vizsgálatát részletezi a legfrissebb kutatások és publikációk alapján, kiemelve az oxidációval szembeni ellenállásuk mechanizmusait és a jövőbeni fejlesztési lehetőségeket. Az írás célja, hogy átfogó képet adjon a témáról.

Kulcsszavak: oxidáció, nagy-entrópiájú ötvözetek, nagy hőmérséklet

Abstract

This article discusses the oxidation of metals, with particular emphasis on the oxidation behaviour of refractory high entropy alloys (RHEAs). The first part presents the thermodynamic and kinetic fundamentals of high-temperature oxidation, including the properties of protective and non-protective oxide layers and the factors that control oxidation. The second part describes the basics of RHEAs, including their composition, properties and applications. Finally, the oxidation of RHEAs is examined in detail, based on recent research and publications, highlighting the mechanisms of their resistance to oxidation and future development opportunities. The paper aims to provide a comprehensive overview of the subject.

Keywords: oxidation, high-entropy alloys, high temperature

1. A nagy hőmérsékletű oxidáció termodinamikai és kinetikai alapjai

Az oxidáció a fémek és ötvözetek korróziós degradációjának különleges formája, amely akkor következik be, amikor az fémeket vagy ötvözeteket levegőnek vagy oxigénnek teszik ki. Az oxidáció más közegekben is előfordul, mint például a kén-dioxid és a szén-dioxid, viszont ezek alacsonyabb oxidációs potenciállal rendelkeznek. Az oxidáció folyamata egy új réteg létrejöttével valósul meg, mely az alapfém összetétele alapján valamilyen oxidréteg. Ha a képződött oxidréteg vékony, lassan növekvő és tömör, akkor megvédi az alapfémet a további oxidációtól. Ha azonban a

keletkezett rétegben anyaghibák találhatók, akkor az alapfém tovább tud oxidálódni [1 -3].

A nagy hőmérsékletű oxidáció vizsgálata kulcsfontosságú, mivel meghatározza a fémek és ötvözetek korrózióval szembeni ellenállását és hosszú távú élettartamát ipari alkalmazásokban, például gázturbinákban, hőcserélőkben és vegyipari reaktorokban. Az oxidáció során kialakuló oxidrétegek jelentős szerepet játszanak: védőrétegek esetén az oxidáció lelassul, míg nem védő rétegek gyakran gyors anyagvesztést és a fém idő előtti tönkremenetelét eredményezik. A különböző oxidációs mechanizmusok megértése elengedhetetlen az új anyagok fejlesztéséhez, amelyek képesek ellenállni az extrém környezeti hatásoknak [2].

1.1 A fém oxidációjának kritériumai

Termodinamikailag oxid képződik a fém felületén, ha a környezetben az oxigénpotenciál nagyobb, mint az oxiddal egyensúlyban lévő oxigén parciális nyomása. Az egyensúlyi oxigénnyomás az oxidációs folyamat szabadentalpiájából (ΔG) számítható, amelyet a következő összefüggés ír le (1).

$$\Delta G = -RT\ ln\ ln\ p\left(\frac{\alpha_{FO_2}}{\alpha_F} p(O_2)\right) \tag{1}$$

ahol: α_{FO_2} és α_F a fém és az oxid aktivitása, $p(O_2)$ az oxigén parciális nyomása.

Ha a fém és az oxid aktivitását egységnyinek vesszük, akkor az oxigén parciális nyomását az (1) összefüggésből a következőképpen kapjuk meg (2).

$$p(O_2) = exp\left(\frac{\Delta G}{RT}\right) \tag{2}$$

Az oxidok képződésének standard szabad energiáit a hőmérséklet függvényében Ellingham/Richardson diagramok néven ismerjük, amelyek segítségével információt szerezhetünk az oxigén parciális nyomásáról, amely ahhoz szükséges, hogy bármely fém oxidot képezzen bármilyen hőmérsékleten. Az Ellingham-diagramok egyik korlátja, hogy nem veszik figyelembe a reakció kinetikáját.

1.2 Az oxidáció kinetikája

Az egyensúlyi Ellingham-diagramokból csak ahhoz az információhoz jutunk, hogy a hőmérséklet és az oxigén részleges nyomásának bizonyos feltételei mellett lehetséges-e az oxidképződés. Előfordulhat, hogy a folyamatok kinetikája olyan lassú, hogy bár termodinamikailag lehetséges lenne a reakció bekövetkezése, annak kialakulása rendkívül hosszú időt vehet igénybe. Így úgy tűnik, hogy az oxidációs reakció nem következett be, ezért fontos ismerni az oxidációs reakciók kinetikáját. Továbbá, ha egynél több oxid képződése lehetséges, a diagramok nem tudják eleve megmondani, hogy az adott környezetben melyik oxid fog kialakulni. A termodinamikai és kinetikai információk kombinációja jobb képet adhat az oxid viselkedéséről. Ezenfelül a reakciósebesség ismerete fontos alap az oxidáció mechanizmusok megértéséhez. A reakciók sebessége és a megfelelő arányos egyenletek a vegyületek oxidációjára vonatkozóan számos tényezőtől függenek. A legfontosabb a hőmérséklet, az oxigénnyomás, a felület előkészítése és a fém előkezelése. Gyakran találkozunk különböző típusú sebességtörvényekkel: lineáris, parabolikus, logaritmikus és ezek kombinációi, mint például a paralineáris (lineáris és parabolikus kombinációja) stb. A legtöbb fém és műszaki ötvözet nagy hőmérsékleten parabolikus kinetikát követ. Az oxidnövekedési folyamatot rendszerint az ionok vagy elektronok diffúziója irányítja a kezdetben kialakult oxid rétegen keresztül. A parabolikus törvényt először Wagner vezette le, feltételezve a töltéssel rendelkező részecskék diffúzióját az oxidrétegen keresztül. Vannak olyan

fémek, amelyeknél az oxidáció mértéke az idő múlásával állandó marad, és nem függ a reakcióban korábban felhasznált gáz vagy fém mennyiségétől. Az ilyen reakciók általában felületi vagy fázishatár reakciókkal mennek végbe [1 - 3].

1.3 A hibaszerkezet és a diffúzió szerepe az oxidáció során

A kezdeti vékony oxidfilm növekedése a fém vagy az oxidáló közeg ionjainak diffúziójával történik. Ez az oxidáció során általában szilárd halmazállapotban történik, amely függ a kristályhibáktól. Az oxidok legjellemzőbb kristályhibái a vakanciák, az intersztíciós atomok és a szennyezők. Ezek kristályrács vagy térfogati hibák, amelyeknek nagy aktivációs energiára van szükségük ahhoz, hogy diffúzió történjen. A nagy aktivációs energia miatt nagy hőmérséklet szükséges a diffúzióhoz. A diffúzió mértéke a szemcsehatárokon és a szabad felületeken sokkal kedvezőbb, mivel kis aktivációs energia is elég a diffúzióhoz, amely így alacsony hőmérsékleten is végbemehet. Az oxidok hibaszerkezetük alapján n- vagy p-típusú oxidokba sorolhatók. Az n-típusú oxidok többségi töltéshordozói az elektronok, míg a p-típusúakban a lyukak dominálnak. Az n-típusú oxidokban oxigénvakanciák és/vagy fémion-többlet található, míg a p-típusú oxidokban a fémionok helyét lyukak foglalják el. Ha idegen ion kerül az oxidba, az megváltoztatja annak oxidációs viselkedését [1]. Az n-típusú oxidok esetében az oxidáció sebessége lassul, ha nagy vegyértékű kationok kerülnek az oxidba, mivel ezek csökkentik az oxigénvakanciák számát vagy növelik az intersztíciós fém ionok számát az oxidban. Ezzel szemben az oxidáció gyorsul, ha kis vegyértékű kationok kerülnek az oxidba, mivel ezek növelik az oxigénvakanciák számát. A p-típusú oxidok oxidációját a nagy vegyértékű kationok gyorsítják a kristályhibák számának növelésével, míg a kis vegyértékű kationok lassítják azok csökkentésével [3].

A ZrO_2 egy n-típusú oxid, amely gyorsabban oxidálódik levegőn, mint tiszta oxigénben. Ennek oka, hogy nitrogénionok helyettesíthetik az oxigénionokat az oxidban, ami növeli az oxigénvakanciák számát, és ezáltal az oxidáció sebességét. A vas oxidációja során kialakulhat FeO, amely egy p-típusú oxid. Ha ebbe az oxidba kis mennyiségben Cr kerül, az növeli a vakanciák számát, amely gyorsítja az oxidációt. A Cr csak akkor lassítja a vas oxidációját, ha már több kerül a vasba, mint amennyit oldani tud [1]. Fontos, hogy az ember tisztában legyen a kialakuló oxid elsődleges töltéshordozójával, mivel befolyásolja az oxidáció mechanizmusát. A 1. táblázat példákat mutat be n- és p-típusú oxidokra.

1. táblázat Példa n- és p- típusú oxidokra [1]

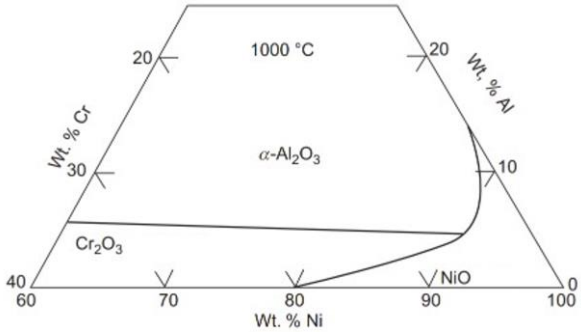
n-típus	TiO_2, V_2O_5, ZrO_2, Mo_2O_5, Ta_2O_5, MoO_3, WO_3, Fe_2O_3, Al_2O_3
p-típus	Cr_2O_3, WO_2, $FeCr_2O_4$, NiO,FeO, MnO_2

1.4 Az ötvözetek oxidációja

A gyakorlatban a nagy hőmérsékleti tartományban ötvözeteket használnak és nem tiszta fémeket. Bár az ötvözetek oxidációja ugyanazt az általános jelenséget követi, mint a tiszta fémek esetében, viszont az ötvözetben egynél több elem jelenléte miatt számos további tényezőt kell figyelembe venni az ötvözet oxidációs viselkedésének leírásához. Ez az ötvözetek oxidációs mechanizmusát viszonylag összetetté teszi a tiszta fémekéhez képest. Ilyenek például az ötvöző elem jellege, oldhatósága az alapfémben, oxigén-affinitása és oxidjának termodinamikai stabilitása, a fém mobilitása vagy diffúziója az oxidfázisban. Ezektől függően az ötvözeten kialakuló oxidréteg lehet: különböző ötvözőelemekből képződött oxidok keveréke, egy adott ötvözőelemből képződött egyetlen oxidréteg vagy egyetlen külső oxidréteg, amely alatt bizonyos elemek belső oxidjai vagy azok keverékével képződik további réteg [1, 2].

Az első eset az általános oxidáció esete, amelyben a kezdeti szakaszban (átmeneti oxidáció)

valamennyi elem oxidjai képződhetnek, majd a legstabilabb oxid kialakulása következik be. A második esetben az ötvözet egy adott alkotóelemének szelektív oxidációjához szükséges feltételek alakulnának ki. Bár ez megvédi az ötvözetet a további oxidációtól, a szelektív oxidáció az adott elem kimerülését eredményezheti az alapul szolgáló fémből, ami bármilyen rétegsérülés (repedés vagy leválás) esetén túlzott mértékű oxidnövekedést eredményezhet. Ez könnyen okozhatja az oxidréteg leválását az alapfémről, ami tönkremenetelhez vezethet. A harmadik esetben bizonyos elemek nagyon magas aktivitása miatt az oxigén befelé irányuló diffúziója oxidok kiválását okozhatja a mátrixon belül, jóval a külső oxidréteg alatt az ötvözetben. Ez a fajta belső oxid bizonyos esetekben előnyös lehet. Például erősíthetik az alapötvözetet, és ha az ötvözetben a szemcsehatárokon képződnek, korlátozhatják a szemcsehatárok csúszását. A nagy mennyiségű belső oxid azonban káros az ötvözetre, mert az oxidált anyaggal teljesen körülvett szemcsék meglazulhatnak, és végül elmozdulhatnak. Az ötvözet elemszámának növekedésével a keletkező oxidréteg típusának és az ötvözetben található elemek szerepének megjósolása egyre nehezebbé válik. Az Ni-Cr-Al háromalkotós ötvözetrendszer során az 1. ábrán látható oxidtérképet lehet ábrázolni [1].



1. ábra Az Ni-Cr-Al háromalkotós ötvözetrendszer oxidtérképe [1]

Amennyiben elegendő termodinamikai és kinetikai adat áll rendelkezésre, akkor az egyik módszer az ötvözeten kialakuló oxidrétegek előrejelzésére a háromalkotós fázisdiagram felrajzolása. Egy ilyen diagram megmutatja a különböző típusú oxidrétegek kialakulásának összetételi tartományait, és lehetővé teszi az ötvözeten jelen lévő oxidfázisok előrejelzését [1, 3, 4].

A nagy hőmérsékletre szánt ötvözetek általában számos egyéb elemet tartalmaznak, amelyeket vagy szándékosan adnak hozzá az oxidáció csökkentése érdekében, vagy más okokból vannak jelen. A ritkaföldfémek kis koncentrációban történő hozzáadása nem csak az oxidációs ellenállást javítja, hanem fokozza a kialakult oxidréteg tapadását. Vannak bizonyos egyéb elemek, például Mn, Mo, V, Ta stb., amelyek számos magas hőmérséklere szánt ötvözetben jelen vannak, hogy javítsák mechanikai tulajdonságaikat. Ezek azonban káros hatással lehetnek az ötvözet oxidációs ellenállása szempontjából. Amennyiben az ötvözetben nagy mennyiségben van jelen Mo és V, akkor káros hatású, mivel alacsony olvadáspontú oxidokat (MoO_2 és V_2O_5) képezhetnek, és katasztrofális oxidációhoz vezethetnek. A W 1150 °C felett WO_3-at képez, amely gyorsan elpárolog és az alapfém további oxidációjához vezet [4].

2. A nagy hőmérsékletre szánt nagy-entrópiájú ötvözetek oxidációja

A nagy hőmérsékletre szánt hagyományos ötvözetek nagy olvadáspontú elemeket tartalmaznak, mint például a Nb és Ta. Így nagy szilárdsággal rendelkeznek nagy hőmérsékleten is, viszont rosszul alakíthatók, nagy a sűrűségük és gyenge az oxidációs ellenállásuk. A hagyományos ötvözetek gyenge oxidációs ellenállásának oka, hogy az előnyös oxidréteg kialakulása az alapfém ötvözőelemeinek elszegényesedését, az oxigén oldhatóságának növekedését és végül a belső oxidáció kialakulását okozza [1, 4].

A nagy hőmérsékletre szánt nagy-entrópiájú ötvözetek legalább 5 elemből állnak, melyek többnyire nagy olvadáspontúak, mint például a Nb, Mo, Ta, W, Re és Ta [5]. A hagyományos ötvözetekkel szemben a nagy hőmérsékletre szánt nagy-entrópiájú ötvözetek oxidációs sebessége jelentősen csökkenhet a komplex oxid kialakulási mechanizmusaik miatt. Ilyen komplex oxidrétegek például a $TiNb_2O_7$, $Nb_2Zr_6O_{17}$, $CrTaO_4$ stb. Ezek a komplex oxidrétegek csökkentik az oxigén oldhatóságát, továbbá a nagy-entrópiájú ötvözetek esetében a diffúzió lassú az ingadozó rács potenciális energiája miatt. További előnye a nagy hőmérsékletre szánt nagy-entrópiájú ötvözeteknek, hogy nagy Al és Cr tartalmat lehet elérni, amely miatt Al_2O_3 és Cr_2O_3 védő oxidréteg tud kialakulni a felszínükön. Az Al és Cr oxidjai lassítják az oxidáció sebességét és megvédik az ötvözetben található elemeket a nagy hőmérsékleten történő elpárolgásuktól. Vannak olyan elemek, amelyek akadályozzák vagy rontják a Cr_2O_3 és a Al_2O_3 rétegek kialakulását. A Nb rontja az egybefüggő Cr_2O_3 kialakulását, mivel az Nb_2O_5 és a Cr_2O_3 közel azonos szabad energiával rendelkezik. A Ti olyan nagy-entrópiájú ötvözetek oxidációs ellenállását rontja, melyek Al-t tartalmaznak, mivel az Al_2O_3 és a TiO_2 hasonló termodinamikai stabilitással rendelkeznek és az oxidjuk keveréke meglehetősen inhomogén és porózus. A W az Al_2O_3 és a WO_3 közötti reakció alumínium-volframát $Al_2(WO_4)_3$ képződését eredményezi, ami csökkenti a folyamatos és védő Al_2O_3 réteg kialakulásának valószínűségét [4].

Xuhui Pei és társai [6] irodalomkutatásuk alapján összefoglalták, hogy mely elemek jelenthetnek problémát a nagy hőmérsékletre szánt nagy-entrópiájú ötvözetekben. Általános probléma, hogy ezen ötvözetek felszínén nem képes tartós védő oxidréteg kialakulni. Ennek oka, hogy a periódusos rendszer IV. csoportjába tartozó nagy olvadáspontú elemek, a Ti és a Hf nagy hőmérsékleten nagy termodinamikai aktivitást mutatnak az oxigénnel szemben, ami súlyos belső oxidációt eredményez, és lokalizált mikrorepedéseket indít el a réteg oxigénben gazdag régióiban. Ezenkívül az V. és VI. csoportba tartozó nagy olvadáspontú elemek közül a V, Nb és Ta hajlamos lenne közepes hőmérsékleten illékony oxidok (V_2O_5, Nb_2O_5 és Ta_2O_5) képződésére, míg a Mo és W súlyos oxidációban szenvedne, és 850 °C felett illékony MoO_3 és WO_3 képződne. Általában ezek az illékony oxidok ronthatják az oxidréteg tapadását, ami repedéshez és végül leváláshoz vezet.

Jelenleg a nagy-entrópiájú ötvözetek oxidáció ellenálló képességének javítására irányuló stratégiák általában a hagyományos nagy hőmérsékletre szánt ötvözetek néhány sikeres esetére hivatkoznak. Például a TiAl-Nb, Cr és $TiCrAl_Y$ bevonatok körülbelül 50%-os Al-tartalommal jobb oxidációs tulajdonságokat mutattak 1000 °C-on. A jó oxidáció ellenállású nagy-entrópiájú ötvözetek tervezésének fő stratégiái a Cr, Al és Si hozzáadására támaszkodnak Cr_2O_3, Al_2O_3 vagy SiO_2 védőrétegek kialakulásának reményében, amelyek az oxigén belső diffúzióját hatékonyan gátolják, mert kellően tömörek. A jelenleg készített ötvözetek esetében a Cr hozzáadása támogatja a Cr_2O_3 védőréteg kialakulását, de 950 °C felett tovább indukálhatja az illékony CrO_3 képződését. Ezenfelül váratlanul felfedezték a $CrTaO_4$ oxid kiváló oxidációs ellenállását, de csak bizonyos elemeket tartalmazó ötvözetekben. S. Schellert és kutató társai [7] Ta-Mo-Cr-Ti-Al nagy hőmérsékletre szánt nagy-entrópiájú ötvözetet készítettek változó Ta tartalommal és vizsgálták az oxidációs viselkedést. Kutatásuk alapján 1200 °C-on levegőben javítani tudják az oxidációs ellenállást a Ta növelésével. A legjobb összetétel az egyenlő atomszázalékban létrehozott Ta-Mo-Cr-Ti-Al ötvözet. Ennél az összetételnél folytonossági hibával rendelkező TiO_2, Al_2O_3 és Cr_2O_3 oxidrétegek alakultak ki,

viszont ezen rétegek alatt egy $CrTaO_4$ védőréteg jött létre. A sűrű $CrTaO_4$ réteg az oxigén befelé irányuló diffúziójának eredményeként parabolikus sebességtörvény szerint növekszik. Ez az oxidréteg megakadályozta a fém ionok kifelé történő diffúzióját és a MoO_3 elpárolgását. Da Sun és társai [8] lézeres felrakóhegesztéssel készítettek TiC erősítésű CrMnFeCoNi nagy-entrópiájú kompozit réteget AISI H13 alaplemezre és vizsgálták a nagy hőmérsékletű oxidációját. Kutatásuk alapján egy kopásálló és jó oxidációs ellenállású réteget tudtak létrehozni. Ez a TiC-nak és a kialakult Cr_2O_3 védő oxidrétegnek köszönhető. A nagy-entrópiájú kompozitok, illetve kerámiák új lehetőséget kínálnak a nagy hőmérsékletnek kitett alkatrészek tervezésére [9].

3. Következtetés

Az ötvözetek nagy hőmérsékletű oxidációjának ismerete fontos kutatási terület, mivel a kialakuló réteg befolyásolja az anyagok élettartamát. Emiatt az ötvözetek tervezése során törekedni kell, hogy megfelelő kémiai összetételű ötvözeteket hozzunk létre, amelyek felszínén nagy hőmérsékletű igénybevétel során tartós, tömör védő oxidréteg alakul ki. Az egyik lehetőség a nagy hőmérsékletre szánt nagy-entrópiájú ötvözetek alkalmazása, melyek jobb oxidációs ellenállással bírhatnak, mint a hagyományos ötvözetek. Ez a komplex oxidrétegek kialakulásának, a diffúziós folyamatok lassúságának és a védő oxidrétegek (pl. Al_2O_3, Cr_2O_3) képződésének köszönhető. Azonban bizonyos elemek, mint például a Nb, Ti és W, negatívan befolyásolhatják ezt a tulajdonságot. A RHEA-k oxidációjának mélyebb megértése és az ötvözetek optimális összetételének tervezése kulcsfontosságú a következő generációs, nagy hőmérsékletre szánt anyagok fejlesztéséhez. A védő oxidrétegek kialakulását elősegítő elemek (Cr, Al, Si) szerepe különösen kiemelkedő a további kutatásokban.

4. Hivatkozások

[1] A. S. Khanna:(2016) High temperature corrosion, New Jersey : World Scientific,. ISBN : 981-4675-23-7

[2] N Birks, G H. Meier, F S. Pettit (2006) Introduction to the high-temperature oxidation of metals, Cambridge University Press, ISBN 978-0-511-16089-9 101-162 doi.org/10.1017/CBO9781139163903

[3] D J.Young (2016): High Temperature Oxidation and Corrosion of Metals, Elsevier Ltd.,. ISBN: 978-0-08-100101-1

[4] J Chen, X Zhou, W Wang, B Liu, Y Lv, W Yang, D Xu, Y Liu, (2018) A review on fundamental of high entropy alloys with promising high–temperature properties, Journal of Alloys and Compounds, Volume 760, Pages 15-30, ISSN 0925-8388, https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.067

[5] B.S. Murty, JW Yeh,. S Ranganathan,. (2014). High-Entropy Alloys. Elsevier, ISBN: 978-0-12-800251-3

[6] X Pei, Y Du, H Wang, T Li, M Hu, H Wang, W Liu, (2023) Effects of Al/Si on the oxidation behavior of a TiZrV0.5Nb0.5 refractory high entropy alloy at 1000 ℃, Corrosion Science, Volume 224, 111527, ISSN 0010-938X, doi: 10.1016/j.corsci.2023.111527

[7] S. Schellert, B. Gorr, S. Laube, A. Kauffmann, M. Heilmaier, H.J. Christ (2021) Oxidation mechanism of refractory high entropy alloys Ta-Mo-Cr-Ti-Al with varying Ta content, Corrosion Science, Volume 192, , 109861, ISSN 0010-938X,

[8] D. Sun, Y. Cai, L. Zhu, F. Gao, M. Shan, S. M. Manladan, K.Geng, J. Han, Zh. Jiang (2022) High-temperature oxidation and wear properties of TiC-reinforced CrMnFeCoNi high entropy alloy composite coatings produced by laser cladding, Surface and Coatings Technology, Volume 438, 128407, ISSN 0257-8972, doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128407

[9] S I Moussaoui, P Pinke, J Dusza (2023): High Entropy Ceramics: A Brief Introduction, ESB 2023, Óbudai Egyetem, ISBN 978-963-449-359-4

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Tengerészgyalogság 2030

US Marines 2030

[1]Kiss Gábor Ferenc

[1]*SZTE JGYPK, Szeged, Magyarország, kiss.gabor.ferenc@szte.hu*

Összefoglalás

A tanulmány témája az Egyesült Államok Tengerészgyalogság aktuális átalakításának tervezete, a Force Design (2030). A cikkben a szervezeti előzmények felvázolása után a rendelkezésre álló nyilvános dokumentumok alapján tárgyalom a 2020-ban beindított haderőnemi reform fontosabb elemeit. Az elemzés fő kérdése, hogy a 2020 óta eltelt időszak katonai eseményeinek tükrében a Force Design koncepció mennyiben felel meg a jövő kihívásainak.

Kulcsszavak: USA, tengerészgyalogság, Force Design

Abstract

The topic of this paper is the current US Marine Corps transformation plan, Force Design (2030). After outlining the organizational history, the paper discusses the major elements of the force reform that was launched in 2020, based on available public documents. The main question of the analysis is to what extent the Force Design concept meets the challenges of the future in the light of military events since 2020.

Keywords: US Marines, Force Design, 2030

1. Bevezetés

Tanulmányom témája az Amerikai Egyesült Államok Tengerészgyalogságának jövőbeni szervezeti átalakítása. A ’Force Design’ néven futó elképzelés nemcsak radikális hadrendi változásokkal jár együtt, hanem a haditechnika, az alkalmazott doktrína terén is átalakítja a nagy múltú haderőnemet. A jövő kihívásaihoz alkalmazkodni próbáló radikális változás a második világháború óta a legjelentősebb módon változtatja meg az USA expedíciós képességeinek gerincét adó csapatokat.

1.1 A tengerészgyalogság múltja

A haderőnem megalakítása egyidős az Amerikai Egyesült Államok történetével: a Kongresszus 1775-ben hozott törvénye alapján két zászlóaljat hoztak létre, olyan katonákból, akik annyi tengeri jártassággal rendelkeznek, hogy szükség szerint tengeri szolgálatot is elláthatnak. [1] A háború végeztével 1785-ben megszűnt ’Continental Marines’ helyébe csak 1798-ban hozták létre az új, máig élő tengerészgyalogságot, az elnöknek közvetlenül alárendelve. A létrehozásról szóló törvényben az alábbi feladatokat szabták ki: az Egyesült Államok tengerparti helyőrségeiben és erődjeiben való szolgálat, vagy bármely más feladat a parton, valamint az USA szolgálatában álló hadihajók fedélzeti fegyveres különítményeinek kiállítása. [2] Ennek megfelelően az első világháborúig alapvetően a haditengerészet támogatását végezték.

1.2 A kétéltű műveleti képesség fejlődése

A 'Nagy Háború' kitörése új korszak nyitányát jelezte. A nyugati fronton zajló hadműveletek a Egyesült Államok polgárháborújához hasonlítható helyzetbe hozták az Egyesült Államok haderőit, csak még kiterjedtebb dimenziókkal. A harctereken zajló felörlő háború a szárazföldi csapatok mellett igénybe vette a tengerészgyalogság erőit is. Ezt mutatja, hogy az 1914-es 10 386 főről 1918-ra 52 819 főre nőtt a létszámuk. A háború befejeződésével pedig visszatértek a korábbi feladataikhoz, mely továbbra is egy kislétszámú elit alakulatot (kb. 20 000 fő) [6] jelentett, alapvetően a flotta tevékenységének támogatására, valamit a Egyesült Államok érdekszférájának biztosítására, elsősorban a Latin-Amerika és a Csendes-óceán térségében, azzal együtt hogy a Csendes-óceán térségében Japán megerősödése a tengereken új, a korábbiakhoz képest potensebb és szándékaiban is offenzívebb ellenfelet teremtett. Ennek megfelelően, az első világháborút afféle kitérőként felfogva, vissza lehetett térni az 1913-as Advanced Base Force koncepcióhoz, amely alapvetően tengeri bázisok elfoglalását és védelmét jelentette. [4]

A flottával való szoros együttműködés új doktrínáját az 1921-ben íródott „Advanced Base Operations in Micronesia" című dokumentum jelenti, melynek lényege, hogy – korábbia feladatokhoz hasonlóan – a tengerészgyalogság feladata, hogy bázisokat foglaljon el és biztosítson a flotta műveletei számára. A következő lépcsőfokot a modern tengerészgyalogság felé a Flotta Tengerészgyalogos Erő ("Fleet Marine Force") 1933-as létrehozása jelentette. Ez már egy korszerű, összfegyvernemi jellegű, kétéltű hadművelekre kialakított, dandár méretű alakulat volt. A második világháború aztán igazolta ezen törekvéseket. Az újabb világégés a tengerészgyalogság soha nem látott méretű fejlődését hozta minden téren. A hadtörténet legnagyobb, legerősebb kétéltű hadviselésre szakosodott haderőneme jött létre, melyet szinte teljes egészében a csendes-óceáni hadszíntérren fókuszálva alkalmaztak. Az 1939-es 19 432 főnyi létszám 1945-re 474 680 főre növekedett, melyet 6 harcoló hadosztályba soroltak. Ez képezte a mai ismert, modern haderőnem alapját. [4]

1.3 Út jelenbe

Az 1947-es Nemzetbiztonsági Törvény határozta meg a máig élő szervezeti kereteket és feladatokat, ezért ezt érdemes pontosan idézni. Ez alapján „*Az Egyesült Államok Tengerészgyalogsága a Haditengerészeti Minisztériumon alatt magában foglalja a szárazföldi harcoló és kiszolgáló erőket, valamint a hozzájuk szervesen tartozó repülést. A Tengerészgyalogságot úgy kell megszervezni, kiképezni és felszerelni, hogy a haditengerészettel együtt való szolgálatra biztosítsa az összefegyvernemi jellegű flotta tengerészgyalogos erőket a támogató légierővel együtt, hogy megszerezzenek vagy megvédjenek előretolt haditengerészeti támaszpontokat, valamint, hogy a haditengerészeti hadjáratok szempontjából fontos szárazföldi hadműveleteket hajtsanak végre. A tengerészgyalogság feladata, hogy a hadsereggel és a légierővel összehangoltan fejlessze a kétéltű műveletek azon mozzanatait, amelyek a partraszálló erők által alkalmazott taktikára, technikára és felszerelésre vonatkoznak. Ezen túlmenően a tengerészgyalogság különítményeket és szervezeteket biztosít a haditengerészet felfegyverzett hajóin való szolgálatra, biztonsági különítményeket biztosít a haditengerészet tulajdonának védelmére a haditengerészeti állomásokon és bázisokon, és az elnök által meghatározott egyéb feladatokat lát el*". [3]

A törvényben megfogalmazott szervezeti keretrendszer és feladatkörök egyfajta alapvetésként máig érvényesek. Ugyanakkor korszak kihívásai és azok jelentősége határozzák meg az egyes feladatok súlyát. Az 1945 után a kialakult nemzetközi helyzet, a katonai téren is a bipolaritásra épülő hidegháború, sem hagyta munka nélkül a kétéltű harcosokat. A második világháborúig a taktikai szintű kétéltű műveletek, valamint a közvetlen érdekszférában végrehajtott rendfenntartó beavatkozások domináltak. A második világégés a hadműveleti szintű partraszállások korszakát

jelentette, a hidegháború pedig talán a legkomplexebb kihívások elé állították a ’bőrnyakú’-akat: nagyméretű (’large-scale’) erőszakos (’forcible entry’) partraszálló hadműveletek és hosszantartó hadműveletek a partokon hagyományos háború keretében, tömegpusztító fegyverekkel vívott háború és törnénelmileg is „hagyományos” feladatkör, az asszimtetrikus kihívások.

A bipoláris rendszer összeomlásával a színtérről eltűntek azok az ellenfelek, akik összehasonlítható képességekkel rendelkeztek, a 2001. szeptember 11-i terrortámadás pedig az asszimterikus hadviselést állítottak fókuszba. [5]

2. Force Design 2030

Miközben az Egyesült Államok és a NATO elmerült a terror elleni háború mocsarába, a nemzetközi viszonyok terén is komoly változások indultak meg. Az egyik fontos tényező Oroszország újraerősödése, és egyre nagyobb mértékben való bekapcsolódása nagypolitikába, a másik pedig Kína egyre növekvő világpolitikai szerepe. Ez az új helyzet a USA relatív előnyének potenciális csökkenésének perspektíváját is felvillantotta, s nemcsak az orosz és kínai érdekszférán belül, hanem a hagyományosan az USA elsőbbségének alapját képező tengerészeti képességek terén is. Ez irányba hatottak a bekövetkező technológiai, gazdasági, haditechnikai változások, melyek ugyancsak fenyegetést jelentenek az USA hegemónájára. A globálisan képlékennyé váló szituáció sokkal nagyobb rugalmasságot és reagálóképességet követel meg. Erre a helyzetre született meg 2020-ban a Force Design 2030 koncepció, amely a tengerészgyalogság műveleti fókuszát jelentős részben a Csendes-óceáni (Kína) és Indiai óceáni térség irányába fókuszálja, s ennek megfelelően radikálisan átalakítja az alakulat doktrinális, haditechnikai és szervezeti hátterét, kicsit amolyan „Csendes-óceán” specialistává téve azt. Ez részben feleleveníti ’Advanced Force Base’ doktrínát, részben pedig a már az 1947-es törvényben is meghatározott feladatok közül a flotta műveleteinek támogatását helyezi előtérbe. [7,8]

2.1 Az haderőnemi reform vázlata

A tervezetnek megfelelően új haderőnem kisebb, mozgékonyabb, ezáltal kevésbé sebezhető elemekből áll össze. A kisebb méretű egységek és partaszállító hajók, nagyhatótávolságú precíziós eszközök, fejlett légvédelem és pilóta nélküli eszközök integrációja egy új szervezeti egység keretében valósul meg, ez a ’Littoral Warfare Regiment’. Az tervezet hadrendi lényegét az alábbi táblázat szemléleteti: [7]

1. táblázat Force Design vázlata

Alakulat	Force Design előtt	Force Design után
Harckocsi század	7	0
Gyalogzászlóalj	24	21 (200 fővel kisebb létszámmal zászlóaljanként)
Csöves tüzérségi üteg	21	5
Rakétatüzér-üteg	6	20
Könnyű páncélos felderítő század	9	12

A repülőcsapatoknál csökken a vadászrepülő, légiszállítási képesség, a harcihelikopterek száma, viszont növelik a légiutántöltőgépek és a drónok számát.

A 2020 óta eltelt időben apróbb változások következtek be, pl. a névből elhagyták a 2030 névelemet, így már csak Force Design néven fut a koncepció, de lényegi elemek megmaradtak. Az egyes Tengerészgyalogos Expedíciós Erőket (I., II., III. Marine Expeditionary Force) eltérő feladatokra optimalizálják. Az I. MEF, mint legnagyobb alakulat mind közül, az Indo-Pacific térségben való műveletek támogatása és a globális kríziskezelés feladatkörét kapta. A II. MEF a globális kríziskezelésre fókuszál, míg a legnagyobb változást a III. MEF alakultanál tapasztalható. [10,11]

Az utóbbi testesíti meg a választ a Csendes- és Indiai óceán térségében érzékelt kihívásokra. A III. MEF alárendeltésége a 3. tengerészgyalogos-hadosztályhoz tartozó tengerészgyalogos ezredek átszervezésével hozzák az említett Marine Littoral Regiment formációt. Ez a jelenlegi állapot szerint egy felállított (3. Marine Littoral Regiment) és egy szervezés alatt álló (12. Marine Littoral Regiment) ezredet jelent. Ezek speciális felépítésük révén legmarkánsabban testesítik a reform kulcselemeit. Az új ezredek hadrendi elemei a következők: ezred törzs és törzsszázad, híradó század, Littoral Combat Team (3 lövészszázad, 1 közepes rakétaüteg), Littoral Logistic Battalion (1 általános támogató század, 2 harci logisztikai század), Littoral Anit-Air Battalion (1 légiirányító üteg, 1 légvédelmi üteg). [9] Mint látható, elgondolás számos eleme nem idegen a tengerészgyalogság önálló expedíciós képességekkel rendelkező, korábban is létező vezetési szintjeitől. Ugyanakkor, s ez az új ezred megjelenése is mutatja, számos újdonságot is jelent. A Littoral Combat Team alapját egy megújult struktúrájú tengerészgyalogos zászlóalj képezi. Átszervezésre került a logisztikai és légihadviselési képesség is, melyek biztosítják az új ezred önálló működését. A korábbi ezredektől eltérő jelenség, hogy itt már ezredszinten megjelenik a saját távolsági csapásmérő (közepes rakétaüteg) és légi hadviselési képesség is, melynek újszerű megközelítését jelzi a légirányító üteg megjelenése, melynek nemcsak a légicsapások irányítása a feladata, hanem előretolt légibázis üzemeltetése is. [9]

Ez nemcsak hadrendi változást, hanem komoly haditechnikai és képességbeli transzformációt is jelent. Új partraszállító és kétéltű eszközök, könnyűpáncélosok, precíziós fegyverrendszerek, felderítő, csapásmérő és szállító drónok minden vezetési szinten, valamint alacsony észlelhetőségű harcirepülőgépek, légiszállító járművek hadrendbeállításának különböző szakaszait érzékelhetjük jelenünkben. Ez a jövőre nézve alapos mérlegelést, komoly katonai tervezési feladatot jelent, ugyanakkor a gyártás és műszaki tervezés anyagi szükségleteinek biztosítása is komoly erőforrásokat köt le hosszú időre.

A megszüntetett és létrehozott hadrendi elemek, valamint az újonnan beszerzett, kivont vagy csökkentett számban megmaradt fegyverrendszerek által generált hatások hosszú évekre meghatározzák majd a kétéltű fegyvernem képességeit és lehetőségeit, tehát egyáltalán nem mindegy, milyen eredménnyel valósul meg az eszközpark megújulása és integrálása. [9] A kiesett hadrendi elemek és kivont vagy csökkentett számban megmaradt fegyverrendszerek hosszú időre kiesnek, szükség szerinti újjászervezésük nem valósulhat meg, ’majd ha kell, akkor lesz’ alapon.

3. Konklúzió

Az átszervezés tehát jelenleg is képlékeny állapotban zajlik, különös tekintettel, hogy részben magát a koncepciót is folyamatosan tesztelni, vizsgálni kellett már a kialakuláskor is, akár a szervezeti, akár doktrinális, vagy akár csak a szükséges haditechnikai háttér megteremtése miatt is. Az utóbbi években lezajló nemzetközi, elsősorban katonai események azonban magát a Force Design koncepció velejét is kihívások elé állították.

Részben igazolták egyes elemeit, pl. drónok és mesterséges intelligencia alkalmazása,

légvédelem erősítése, nagy- és középhatótávolságú precíziós tűztámogatás és felderítés terén, vagy a kisméretű, mozgékony alegységek életképessége viszonylatában. Ugyanakkor kétségek is felmerültek.

Az orosz–ukrán háború jelentős részben megerősítette, hogy a hadviselés teljes spektrumában megváltoztak a feltételek. A légi hadviselés, a szárazföldi háború és tengeri hadviselés, a különleges hadviselés, valamint a multi-domain koncepció terén egyaránt hosszasan lehet sorolni, mit is jelent most a 'keleti front'-on zajló háború. Ugyancsak említendők a közel-keleti helyzet, Izrael háborúja Gázában, Irán megnövekedett aktivitása, a Vörös-tengeren zajló tengeri aszimmetrikus háború, Afrika feszült régiói, s végül, de nem utolsósorban a Távol-Kelet feszültséggócai (Kína, Tajvan, Észak-Korea) jelentette probléma. Látható, hogy a Egyesült Államokat – s ezen keresztül annak haderejét – ért kihívások sokrétűsége, térbeli és időbeli paraméterei, az ellenfelek (potenciális ellenségek) eltérő lehetőségei korábban (hidegháború vagy egypólusú világ idején) nem látott bonyolultságú és komplexitású műveleti környezetet generáltak. Ezzel együtt egyértelműnek tűnik, hogy további tesztelésre, finomításra lesz szükség. [12]

A jövőre vonakozó elképzelések egyik fontos kérdése mindenképpen az lehet, vajon egy ennyire specializáltabb feladatkör felé haladó haderőnem milyen feladatokat láthat el akkor, ha nem a számára optimális műveleti környezetben kerül alkalmazásra. A potenciális ellenfelek gazdaságilag, technológilag egyre magasabb szintet érnek el, ami a katonai képességeiket jelentősen javítja. Ezt elősegíti a Egyesült Államokkal szemben kialakult érdekközösségeken belüli haderők között már megvalósult különböző szintű kooperációk sora. Amennyiben a tengerészgyalogság átalakulása ebbe az irányba halad tovább, feltétlenül fel kell majd tenni a kérdést, az Egyesült Államok Haditengerészete mennyire tudja biztosíta az szükséges haditengerészeti fölényt, illetve, hogy más országok haditengerészeti és partvédelmi erői mennyiben tudják ellensúlyozni ezt a rendelkezésükre álló, már most is nagy számban bevetett nagy hatótávolságú, nagy pontosságú eszközeikkel, és egyéb, akár aszimetrikus hadviselési képességeikkel.

4. Hivatkozások

[1] Continental Congress (1775). Resolution Establishing the Continental-Marines. Congressional Act. 10 November 1775. https://www.usmcu.edu/Research/Marine-Corps-History-Division/Frequently-Requested-Topics/Historical-Documents-Orders-and-Speeches/Resolution-Establishing-the-Continental-Marines/

[2] U. S. Congress (1798). An Act for Establishing and Organizing a Marine Corps. 11 July 1798. https://www.usmcu.edu/Research/Marine-Corps-History-Division/Frequently-Requested-Topics/Historical-Documents-Orders-and-Speeches/An-Act-for-Establishing-and-Organizing-a-Marine-Corps/#:~:text=Be%20it%20enacted%20by%20the,sixteen%20first%20lieutenants%2C%20twelve%20second

[3] The National Security Act of 1947. Excerpts of Public Law 253-80th Congress, as amended by Public Law 36-81st Congress and Public Law 216-81st Congress pertaining to the Department of the Navy and the Marine Corps. https://www.usmcu.edu/Research/Marine-Corps-History-Division/Frequently-Requested-Topics/Historical-Documents-Orders-and-Speeches/The-National-Security-Act-of-1947/

[4] Parker, William D. (1970). A Concise History Of The United States Marine Corps 1775-1969. Washington D. C., Historical Division Headquarters United States Marines Corps.

[5] Reference Branch USMC History Division (2006). Brief history of the Corps.

https://www.usmcu.edu/Research/Marine-Corps-History-Division/Brief-Histories/

[6] Research Tools Facts and Figures. End Strengths: 1795 – 2015. https://www.usmcu.edu/Research/Marine-Corps-History-Division/Research-Tools-Facts-and-Figures/End-Strengths/

[7] Force Design 2030. Report Phase I and II. https://www.hqmc.marines.mil/Portals/142/Docs/CMC38%20Force%20Design%202030%20Report%20Phase%20I%20and%20II.pdf

[8] Berger, David H. (2019). Commandant Planning Guidance 2019. https://www.hqmc.marines.mil/Portals/142/Docs/%2038th%20Commandant%27s%20Planning%20Guidance_2019.pdf?ver=2019-07-16-200152-700

[9] Force Design. A snapshot. (2024). https://www.marines.mil/Portals/1/Docs/CMC/2024_Force-Design_Booklet.pdf

[10] Force Design 2030. Annul Update June 2023. (2023). https://www.marines.mil/Portals/1/Docs/Force_Design_2030_Annual_Update_June_2023.pdf

[11] Force Design 2030. Annul Update May 2022. (2022) https://www.marines.mil/Portals/1/Docs/Force_Design_2030_Annual_Update_May_2022.pdf

[12] C. Travis Reese, Ian Brown, Zach Ota, Travis Hord, Leo Spaeder, Brian Strom, (2024). Trends in Maritime Challenges Indicate Force Design 2030 is The Proper Path. https://warontherocks.com/2024/01/trends-in-maritime-challenges-indicate-force-design-2030-is-the-proper-path/

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)
ESB

Túlélési esélyek növelése potenciálisan gyors tűzterjedésnek kitett helyiségekben

Increasing survival chances in rooms potentially exposed to rapid fire progress

[1]Kós György, [2] Daruka Norbert, [3]Elek Barbara

[1] Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, doktorandusz hallgató, Budapest, Magyarország, kos.gyorgy@phd.uni-obuda.hu
[2] Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés, képzésvezető, Budapest, Magyarország, daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu
[3] Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, egyetemi docens, Budapest, Magyarország, elek.barbara@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A flashover jelenséggel kapcsolatos esemény során, noha a tűzbiztonsági előírások folyamatosan fejlődnek (hő- és füstelvezetés, beépített füstérzékelők és oltóberendezések stb.), a modern építkezési és épületgépészeti megoldások (például a hermetikusan záródó műanyag nyílászárók, valamint a műanyag alapú vagy vegyszerekkel kezelt fa bútorok) kedveznek az extrém tűzterjedésnek. Valójában a mai épületekben a flashover nyolcszor gyorsabban fejlődik ki, mint 50 évvel ezelőtt. Az American Underwriter Laboratories (UL) vizsgálatai alapján míg 50 évvel ezelőtt átlagosan 29 percbe telt elérni a teljes flashover állapotot, ma ez kevesebb mint 5 percet vesz igénybe.

Kulcsszavak: tűzoltóság, tűzoltás, hirtelen tűzterjedés, flashover, rfp.

Abstract

During an event related to the flashover phenomenon, although fire safety regulations are constantly evolving (heat and smoke venting, built-in smoke detectors, and extinguishing equipment, etc.), modern construction and building engineering solutions (such as hermetically sealing plastic doors and windows, as well as plastic-based or chemically treated wooden furniture) favor extreme fire spread. In fact, in today's buildings, flashover develops eight times faster than it did 50 years ago. According to studies by the American Underwriter Laboratories (UL), while it took an average of 29 minutes to reach complete flashover 50 years ago, today it takes less than 5 minutes.

Keywords: fire service, firefighting, rapid fire proggress, flashover, rfp.

1. A flashover fogalma

A tűzfejlődés azon szakasza, amikor a helységben lévő minden felület és tárgy a gyulladási hőmérsékletére felhevül és belőlük közel egyszerre tör fel láng. [1]

Másik megfogalmazás szerint a flashover az éghető anyagok meggyulladása a hősugárzás, a hőáramlás vagy mindkettő következtében, amikor a helységben található éghető anyagok gyulladási

hőmérsékletükre hevülnek és közel egyidejű meggyulladásuk következik be. [2]

A tűzfejlődés során a mennyezeti gázréteg hőmérséklete megközelíti a 900 ° F-et (kb. 480 °C) így növelve a hősugárzás intenzitását. a hősugárzásnak kitett éghető anyagoknak a szobában. Az éghető anyagok felületi hőmérséklete emelkedik, pirolízis gázok keletkeznek, és gyulladási hőmérsékletükig hevülnek. Amikor a felső réteg hőmérséklete eléri az 1100 ° F-et (kb. 590 °C) akkor az éghető anyagok pirolízis gázai meggyulladnak a mennyezeti gázréteg aljával együtt. Ez a flashover néven ismert jelenség.

2. Hirtelen tűzterjedés típusai

- **Hot rich flashover**

A hot rich flashover a klasszikus értelemben vett flashover a hazai szakirodalomban.
A helységben felgyülemlett füst és égési gázok gyors begyulladását jelenti. Miután a szoba felső része hővel telítődik, lefelé sugárzik a helység minden éghető anyagára, melynek következtében azok közel egyszerre érik el a gyulladási hőmérsékletüket. Ezt követően lángok törnek fel és a szoba teljes terjedelmében lángba borul.

- **Rich flashover**

A hazai szakirodalomban szúróláng vagy backdraft néven ismert. A szúróláng az égési gázok robbanásszerű vagy gyors égése, mely akkor alakul ki, ha oxigén jut be egy alulszellőztetett helyiségbe. A tűzfejlődés utóbbi szakaszában magas hőmérséklet mellett a helyiség oxigénben szegénnyé válik. Az ekkor bejutó friss levegő (oxigén) az égési gázokkal hirtelen elkeveredik és robbanásszerűen begyullad. [3]

- **Késleltetett flashover**

Késleltetett flashover akkor következik be, amikor a tűz kiindulási helyétől eltérő helységben, a már hűvösebb füst összegyűlik és meggyullad. Ez a jelenség gyakran igen hevesen, robbanásszerűen megy végbe, ezért füstrobbanásnak is nevezik. [4]

- **Lean flashover**

A hazai szakirodalomban rollover vagy gördülőtűz néven ismert. A rollover gyakran megelőzi a teljes lángba borulást. A mennyezeten a lángnyelvek mintha „végiggördülnének” a plafonon. Gyakran hasonlítják füstben tekergő kígyókhoz. Az ezt okozó jelenség nem más, mint tulajdonképpen lobbanáspontjukat elérő és ellobbanó égési gázok.

3. Beavatkozói biztonság flashover vonatkozásában

A flashovernek kitett civilek és tűzoltók túlélési esélyei gyakorlatilag nullák. Az egyetlen lehetséges megoldás, amivel túlélési esélyeinket növelhetjük az az, hogy még időben felismerjük és reagálunk a potenciális veszélyre. A kialakulóban lévő flashoverre utaló jelek lehetnek a magas hőmérséklet, a füst színe, denzitása, mozgása, valamint a gördülőtűz megjelenése. A következetesen végrehajtott behatolás a tűzzel érintett helységbe nagyban növeli a beavatkozók biztonságát. A mennyezeti gázrétegbe kötött sugárral való rövid „belövéssel” következtetéseket vonhatunk le. Ha a „belövés” teljes egészében azonnal gőzzé expandál, az rendkívül magas hőmérsékletre utal. Amennyiben vízcseppek hullnak vissza, a hőmérséklet 100 °C alatt van. A sűrű sárgásbarna, nyomással előtörő füst gyakran utal alulszellőzött tűzre. Ilyenkor a legnagyobb a szúróláng kialakulásának esélye. Mivel a hot rich flashover esetén a tűz oxigénellátása megfelelő, ezért itt a sűrű fekete, csavartan felfelé törő füst lehet árulkodó jel. Gyakran az épület nyílásain előtörő füstöt lángcsóvák követik. Mint azt már fentebb tárgyaltuk, a gördülőtűz gyakran megelőzi a teljes lángba borulást. A gördülőtűz megjelenését követően csak másodpercek vannak hátra a teljes lángba borulásig.

A tanulmányok szerint egy, a semleges sík alatt teljes védőfelszerelésben dolgozó tűzoltó kb.

0,5-1,0 m/s sebességgel képes mozogni. Ez azt jelenti, hogy ideális esetben 2 másodperccel a flashover kialakulás előtt felismeri a veszélyre utaló jeleket és visszavonul akkor is maximum 2 métert tud megtenni. Ebből kifolyólag megfelelő sugárfedezet nélkül a helyiség bejáratától maximum 1,5 méterre távolodhat el. Ezen a távolságon kívül valószínűleg nincs esélye a menekülésre!

Megfelelően alkalmazva vízsugárral késeltethetjük vagy teljesen megakadályozhatjuk a flashover kifejlődését. Ennek során hűtjük a falakat, a mennyezetet és lassítjuk a hősugárzást.

4. Agresszív gázhűtés technika

Agresszív gázhűtés során a mennyezeti gázréteget hűtjük és hígítjuk az égés megakadályozása érdekében. Ez az eljárás a tűzfészek megközelítésére való és nem elegendő a tűz eloltásához. Ezzel a technikával egyrészt vizet gőzölünk el, ami hőelvonással jár, másrészt a hőmérséklet vertikális rétegződést mutat zárt térben, ezért a különböző hőmérsékletű rétegeket összekeverjük, így csökkentve gyulladási hőmérséklet alá a teljes rendszert.

1. táblázat Egy liter vízre vonatkoztatott lehűthető füst mennyisége [5]

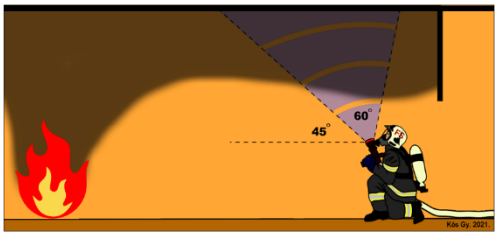
1 liter vízzel lehűthető füst mennyisége, a hőmérséklet függvényében		
Füst hőmérséklete (°C)	Egyensúlyi hőmérséklet (°C)	$V^{füst}/V^{víz}$ (m^3 /l)
400	99	2.26
400	101	16,62
400	200	26.84
600	99	1.76
600	101	12.9
600	200	17.40

A gőzképződés térfogat növekedéssel jár. 1 liter vízből 100 °C-on 1700 liter gőz fejlődik, ami 1,7 m^3-nek felel meg. 600 °C-on (ami a szén-monoxid gyulladási hőmérséklete, így a flashover veszély esetén közel ekkora hőmérséklettel kell számolnunk) viszont 1 liter vízből már 4200 liter, illetve 4,2 m^3 képződik. [6] Ezzel szemben a lehűlő gázok összehúzódnak, a térfogatuk kisebb lesz. Amennyiben helyesen választjuk meg a bejuttatandó víz mennyiségét, abban az esetben a lehűtött füst/gőz keverék kisebb térfogatú lesz, mint a kiinduló forró füst térfogata. (Lásd: 1-2. ábra)

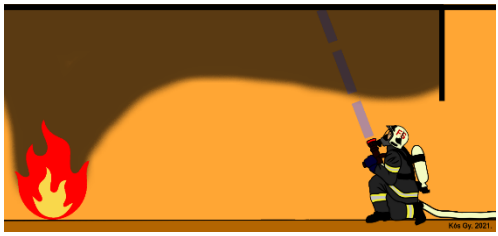
1. ábra Flashover megelőzésének elvi ábrája [Szerkesztette: Kós György]

Ellenkező esetben, ha túl sok vizet juttatunk be, felboríthatjuk a termikus egyensúlyt. Ennek következtében összeomolhat a semleges sík, rendkívül forró „gőzfürdővé" változtatva a helységet, nulla látótávolsággal. A beavatkozás során a sugárcsövet szórt sugárképre állítjuk kb. 60°-os kúpszöggel. Ez a szóráskép a talajjal lehetőleg 45°-os szöget zárjon be. (Lásd: 3. ábra) A tűz fészke felé haladva fontos, hogy a helységet teljes szélességében lefedjük a szórt sugár alkalmazásával.

(Lásd: 5. ábra) Ez azért fontos, mert a legtöbbször a füst a tűzoltók felé halad, így elérhetjük, hogy mellettünk ne tudjanak elhaladni lehűtetlen gázok.

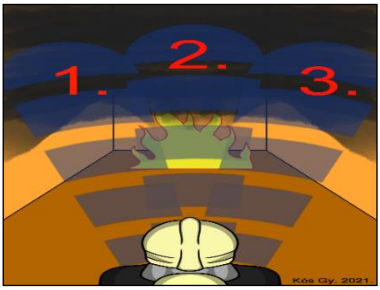


2. ábra Agresszív gázhűtés technika [Szerkesztette: Kós György]



3. ábra Felszúró technika [Szerkesztette: Kós György]

Rövid belövéseket alkalmazunk, amelyekkel nem borítjuk fel a termikus egyensúlyt. Célszerű az ajtót behatolás után becsukni, hogy a lehűtött gázok ne tudják elhagyni a helyiséget és pufferként funkcionáljanak. Laboratóriumi vizsgálatok azt bizonyítják, hogy a mennyezeti gázréteg kb. 5 másodperc elteltével újra eléri kezdeti hőmérsékletét. [7] Azzal, hogy a lehűtött füstöt ott tartjuk, ez a jelenség csökkenthető.



4. ábra A helyiséget teljes szélességében kontrolláljuk [Szerkesztette: Kós György]

5. Penciling technika

Az úgynevezett „penciling” technikával (szabad fordításban – felszúró technika) tovább növelhető a beavatkozók biztonsága. A helytelenül megválasztott szórt sugárképpel nem leszünk képesek megfelelő hűtőhatást elérni a forró gázrétegekben. Ennek következtében csak kavargó áramlást idézünk elő, ami növelheti a flashover bekövetkezésének esélyét. Ezt kiküszöbölendő alkalmazhatjuk a „penciling” eljárást. Ennek során rövid, kötött sugár belövéseket alkalmazunk. Ez a sugárkép alkalmas rá, hogy a különböző hőmérsékletű rétegeket átvágja és a legfelsőbb, legforróbb rétegben is hűtő hatást érjen el. Egymással kombinálva az agresszív gázhűtéssel és a felszúró, „penciling” technikákkal késleltetni lehet a flashover kialakulását, így biztonságos visszavonulást tesz lehetővé a beavatkozóknak. A fent említett irányelveket alkalmazva jelentősen csökkenthető a flashover bekövetkezésének esélye. Amennyiben az mégis bekövetkezik a tűzoltók túlélési esélyei drasztikusan csökkennek. Flashover esetén ha beavatkozóképes marad a tűzoltó maradjon minél lejjebb. Késlekedés nélkül nyissa ki teljesen a sugárcsövet, váltson köd állásba, tartsa a sugárcsövet a sisak felett és körkörös mozdulatokat tegyen, így törekedve a minél nagyobb területű hűtésre, (Lásd: 4. ábra) valamint azonnal vonuljon vissza. [8]

6. Beavatkozói biztonság backdraft vonatkozásában

Mint már tárgyaltuk a flashover és backdraft közötti különbség, hogy míg az előbbi egy hőmérsékletfüggő jelenség, ahol elegendő mennyiségű oxigén van jelen az égéshez, addig utóbbi oxigénfüggő jelenség, vagyis az oxigénhiány miatt nem tud befejeződni az égés. Ennek következtében nagy mennyiségben halmozódhatnak fel éghető gőzök/gázok. Backdraft-re utalhat a nagy volumenű, sűrű, az épület nyílásain nyomással előtörő sárgásbarna füst. További árulkodó jel lehet, ha az ablakok belülről elkormozódtak, repedeznek. [9] Viseljünk teljes védőfelszerelést. Behatolás előtt ellenőrizzük az ajtó hőmérsékletét. A forró ajtó, esetleg a rajta látható elszíneződés árulkodó jel lehet. Ilyenkor minden esetben tartsunk készenlétben beavatkozásra alkalmas sugarat, valamint ne álljunk az ajtó elé és azt (kifelé nyíló ajtó esetén) magunkra nyissuk pajzsként használva a kitörő lángokkal szemben. A beavatkozói biztonság a tűzoltói munkavégzés során kiemelt fontosságú, és az egyik legnagyobb veszély, amellyel a tűzoltók szembesülhetnek, a backdraft jelensége.

A backdraft főbb jellemzői:

– zárt térben történik,
– korlátozott oxigén hozzáférés,
– hőmérséklet és nyomás növekedés.

A beavatkozói biztonság szempontjából fontos, hogy a tűzoltók képesek legyenek felismerni a backdraft veszélyét még a beavatkozás előtt. Az alábbi jelek utalhatnak backdraft-ra:

– füst intenzitása,
– színváltozás,
– hangok,
– füst kiáramlás.

A beavatkozói biztonsági intézkedései a backdraft elkerülésére:

– környezeti felmérés,
– biztonsági távolság betartása,
– elővigyázatosság a nyílásokkal kapcsolatban,
– szellőztetés és kontrollált beavatkozás,
– csoportos beavatkozás és kommunikáció,
– tűzoltó védőeszközök használata. [10]

A backdraft és a tűzoltói biztonság szorosan összefonódik. A legfontosabb tényezők a helyszíni helyzet felmérése, az alapos előkészítés, és az beavatkozás közbeni körültekintés. A megfelelő elővigyázatosság és a megfelelő technikai ismeretek révén a tűzoltók minimalizálhatják a backdraft veszélyét. A backdraft elkerüléséhez a tűzoltóknak magas szintű szakértelemre és körültekintő taktikai megközelítésre van szükségük. A tűz viselkedésének alapos megértése, a megfelelő szellőztetési technikák alkalmazása, a megfelelő védőfelszerelés használata és a folyamatos kommunikáció mind kulcsfontosságúak a biztonságos beavatkozás érdekében.

7. Összegzés

Összességében elmondható tehát, hogy a hirtelen tűzterjedésekkel (RFP – Rapid Fire Progress) szemben a túlélési esélyeket elsősorban a veszélyes szituációkra utaló jelek korai felismerésével lehet növelni. A megfelelően használt egyéni védőeszközök és beavatkozásra előkészített sugarak a fent bemutatott eljárásokkal együtt alkalmazva jelentősen növelhetik a beavatkozói biztonságot. A tűzoltók felkészítése a flashover jelenségekre elengedhetetlen a tűzoltói munka hatékonyságának és a tűzoltók biztonságának növelésében. A flashover egy olyan kritikus állapot, amely során a tűz

hirtelen és drámai módon terjed el, amikor a környező anyagok hőmérséklete eléri azt a pontot, ahol azok gyulladásra képesek. Ez az esemény rendkívül veszélyes lehet, mivel szinte azonnali életveszélyt jelent mindazokra nézve, akik tűz esetén nem értesülnek időben arról, hogy az épületet el kell hagyni [11], vagy más okból, például életmentés céljából az égő épületben tartózkodnak. A flashover jelenség megértése és az arra való felkészülés nem csupán a tűzoltók szakmai kompetenciáját növeli, hanem alapvetően hozzájárulhat az életmentési műveletek sikerességéhez is. A megfelelő képzés révén a tűzoltók képesek lesznek felismerni a flashover előjeleit és alkalmazni azokat az eljárásokat, amelyekkel minimalizálhatják ennek kockázatát. Az ilyen jellegű felkészítés nemcsak technikai tudást igényel, hanem pszichológiai felkészültséget is, hiszen egy váratlan helyzetben szükség van gyors döntéshozatalra és hatékony cselekvésre. Ezen okok miatt fontos részletesen megvizsgálni a flashover jelenséget és annak hatását a tűzoltói felkészülésre, hogy biztosíthassuk a beavatkozó állomány biztonságát és a beavatkozás hatékonyságát.

8. Hivatkozások

[1] International Fire Service Training Association (IFSTA). Online: https://www.ifsta.org/

[2] National Fire Academy FESHE Model Curriculum Bachelor's (Non-Core) 2019. Online: https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/nfa/higher_ed/bachelor_curriculum_noncore.pdf

[3] Leitner M. – Elek B. – Daruka N. (2024): Consideration of technological operating conditions in explosion risk assessment. In: Rajnai, Zoltán (szerk.) Mérnöki Szimpózium a Bánkin Előadásai: Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki (ESB 2023) Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem (2024) 367 p. pp. 308–313.

[4] Fire Engineering website: https://www.fireengineering.com/firefighter-training/training-bulletin-flashover/

[5] Fire House website: https://www.firehouse.com/operations-training/hoselines-water-appliances/article/20994029/understanding-gas-cooling-matthias-van-de-veire

[6] International Exchange: Understanding Gas Cooling. Online: https://www.firehouse.com/operations-training/hoselines-water-appliances/article/20994029/understanding-gas-cooling-matthias-van-de-veire

[7] Fire House website: Van de veire, M. "Studiesontheimportance of firefighters' gascooling (report 5515)." 2016. Lund University: Department of FireSafetyEngineering. Online: https://www.firehouse.com/operations-training/hoselines-water-appliances/article/20994029/understanding-gas-cooling-matthias-van-de-veire

[8] Draeger Inc. USA – The Flashover Phenomenon: https://www.draeger.com/Content/Documents/Content/fire-flashover-wp-9108654-us-1912-1.pdf

[9] FireRescue1 - Signs of backdraft and how firefighters can identify them (2017), website: https://www.firerescue1.com/firefighter-safety/articles/signs-of-backdraft-and-how-firefighters-can-identify-them-OsPN3QF9mh7Gw2Lj/

[10] William Michael Kramer (2009): Disaster Planning and Control. Fire Engineering Books, 2009. ISBN 9781593701895; p. 462.

[11] Mohai Á. Zs. – Beda L. (2016): Gondolatok a tűzjelző berendezések hatékonyságáról, Védelem Tudomány I. évf., 4. szám, 2016. December, pp. 1–12.

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Lokális közgyűjteményi raktárak műtárgyvédelme

ArtWork Protection in Local Public Collection Storage

[1]Lőrincz László

[1]*Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország.*
lorincz.laszlo@uni-obuda.hu

Összefoglalás

Ez a kutatás a kisebb helyi múzeumok tárolási megoldásait és műtárgyvédelemi lehetőségeit vizsgálja, különös tekintettel a műtárgyvédelemre. Elemzi, hogy mely tárolási módszerek felelnek meg leginkább ezeknek az intézményeknek az igényeihez és erőforrásaihoz, miközben fenntartható tárolási megközelítéseket is kutat.
A tanulmány elsősorban személyes interjúkra és esettanulmányokra támaszkodik, hogy dokumentálja a helyi múzeumok tapasztalatait és kihívásait. A kisebb intézmények esetében a hangsúly azon van, hogy megértsük, miként kezelik az erőforráskorlátokat, és hogyan dolgoznak ki fenntartható stratégiákat gyűjteményeik hosszú távú megőrzésére.
A kutatás célja, hogy tárolási gyakorlatokra vonatkozó ajánlásokat nyújtson a helyi múzeumok számára, különös figyelmet fordítva a műtárgyvédelemre. Az elérni kívánt cél egy olyan jövőbeli keretrendszer kidolgozása, amely segítheti a magyarországi helyi múzeumokat hatékonyabb és fenntarthatóbb műtárgyvédelmi tárolási megoldások alkalmazásában.

Kulcsszavak: műtárgyvédelem, közgyűjteményi intézményrendszer, helyi (kis) raktár

Abstract

This research focuses on exploring storage solutions and ArtWork Protection in smaller local museums, with particular attention to ArtWork Protection. It examines which storage methods are most compatible with the needs and available resources of these institutions, while also investigating sustainable approaches to storage.
The study primarily relies on personal interviews and case studies to document the experiences and challenges faced by local museums. For smaller institutions, the focus is on understanding how they address resource constraints and strive for sustainable strategies to ensure the long-term preservation of their collections.
The aim of the research is to provide recommendations on storage practices for local museums, with a particular focus on ArtWork Protection. The ultimate goal is to develop a future framework that could assist Hungarian local museums in adopting more efficient and sustainable ArtWork Protection storage solutions.

Keywords: ArtWork Protection, Public Collection System, Local (small) Storages

1. Bevezetés

A helyi múzeumok és a hozzájuk tartozó helyi (kis) raktárak is kulcsfontosságú szerepet játszanak a nemzeti kulturális örökségünk megőrzésében, azonban jelentős kihívásokkal szembesülnek, például korlátozott pénzügyi és technikai, valamint humán erőforrásokkal. A közgyűjtemények tárolása és védelme alapvető része küldetésüknek, de ezek gyakran alulfinanszírozottak vagy nem megfelelően kezeltek. Publikációm célja azonosítani azokat a tárolási

gyakorlatokat, amelyek ezekre a problémákra választ adhatnak, különös tekintettel a kisebb múzeumok műtárgyvédelemmel kapcsolatos azonnali szükségleteire és hosszú távú fenntarthatóságára.

1.1 Műtárgyvédelem – ArtWork Protection

A Doktori kutatásom témája az *Intézményi műtárgyvédelem időszaki kiállítások vonatkozásában,* mely keretén belül a magyarországi és a nemzetközi intézmények tanulmányozása és összehasonlítása a célom, amely lehetőséget biztosít a komplett intézményi műtárgyvédelem, mind a vagyonvédelmi és mind az állományvédelmi protokollok megismerésére. [1]

Az intézményi műtárgyvédelem nem egy szokványos vagyonvédelmi terv vagy biztonsági protokoll meghatározása, hanem annál jóval több, mert egészen más kockázati tényezőkre, veszélyekre és környezeti feltételekre kell felkészülni egy kiállításnál, hiszen a művészek és a kurátorok sajátságos értelmezése szerint, nemcsak a kihelyezett műtárgy a kiállítás tárgya, hanem legtöbbször az a helyiség is az installáció, azaz, ahol a műtárgy elhelyezésre került, ennek megfelelően a projekt kezdetétől a zárásig, azaz ismételt raktározásig a kiépített védelmi rendszer struktúrájának megfelelően rugalmasnak kell lennie, illetve a fenyegetéssel arányosan kell annak elemeit meghatározni. [2]

1.2 Közgyűjtemény – közgyűjteményi intézményrenszer

A közgyűjtemény, mint gyűjtőfogalom magában foglalja az állam, a helyi önkormányzat, valamint a nemzetiségi önkormányzat, a köztestület és a közalapítvány tulajdonában (fenntartásában) működő, vagy általuk alapított könyvtárakat, levéltárakat, múzeális intézményeket és a kép-, illetve hangarchívumokat. [3]

1.3 Közgyűjteményi raktározás

A közgyűjteményi raktározás magában foglalja az értékes műtárgyak tárolását, gondozását és megőrzését. A raktárakban vagy depókban történő tárolás során gondoskodni kell a közgyűjtemények megfelelő környezeti feltételeiről, a megfelelő biztonsági intézkedésekről és az esetleges károk megelőzéséről. A közgyűjteményi raktározásnak magában kell foglalnia az állománykezelés, a rendszerezés és a dokumentáció szabályozását is. Az intézményeknek figyelemmel kell kísérniük az anyagok állapotát, és szükség esetén konzerváló vagy restauráló beavatkozásokat kell végrehajtaniuk az anyagok megőrzése érdekében. [4]

2. Lokális közgyűjteményi raktároás

A lokális közgyűjteményi raktározás a kisebb helyi múzeumok raktározási tevékenységét foglalja magában, amely a közgyűjtemények értékes műtárgyainak tárolását, gondozását és megőrzését célozza. A raktározás alapelvei a megfelelő környezeti feltételek biztosítását, a biztonsági intézkedések alkalmazását és az esetleges károk megelőzését követelik meg.

A közgyűjteményi raktározás fontos része az állománykezelés, a rendszerezés és a dokumentáció szabályozása, amelyhez gyakran üzleti szektorból átvett szabványok, például az ISO 27001, szolgálnak mintául. [5] A raktárbiztonság a tárolási helyek, műtárgyak és a dolgozók védelmét jelenti, célja pedig az értékes tárgyak megóvása a lopástól, károkozástól vagy más veszélyektől. A műtárgyak állapotát folyamatosan figyelemmel kell kísérni, és szükség esetén konzerváló vagy restauráló beavatkozásokat kell végezni. A biztonsági intézkedések kialakításában rendszerint műtárgyvédelmi és biztonsági szakemberek működnek közre, hogy a tárolási környezet minden szempontból megfeleljen a speciális igényeknek. [6,7,8]

3. Kutatásom

3.1 Aktualítása

A publikációm a kisebb, helyi múzeumok raktározási gyakorlataira és műtárgyvédelmi megoldásaira összpontosított, amelyek kiemelt jelentőséggel bírnak a tudományos közösségen belül, valamint nemzeti és térségi örökségünk megőrzésében. Mivel a műtárgyvédelem specializált és sok esetben még hiányos szabályozású terület, a kvalitatív kutatási módszereket részesítettem előnyben. Ez lehetővé tette a személyes adatgyűjtést, valamint a múzeumi szakemberek tapasztalatainak és véleményeinek mélyebb feltárását, szemben a statisztikai adatok vagy kérdőívek elemzésével.

A kutatás során félstrukturált interjúkat készítettem múzeumi vezetőkkel, kurátorokkal és raktármenedzserekkel, illetve fókuszcsoportos beszélgetéseket szerveztem, hogy összehasonlíthassam a kisebb múzeumok raktári gyakorlatát. Az így gyűjtött részletes információk lehetővé tették a raktározási állapotok és megoldások előnyeinek és hátrányainak feltérképezését, valamint kiindulópontot nyújtottak a műtárgyvédelemre vonatkozó általánosítható következtetések levonásához és javaslatok megfogalmazásához.

3.2 Célja

A kutatás célja, hogy a kisebb, helyi múzeumi raktárak jelenlegi állapotának és működési gyakorlatainak feltérképezésével javaslatokat dolgozzon ki a műtárgyak hosszú távú biztonságos és fenntartható tárolására. A kutatás során különös figyelmet kapnak a raktárak hiányosságai, korszerűsítési lehetőségei vagyonvédelmi szempontok alapján.

A kutatás eredményei többféle kimenetet biztosíthatnak, amelyek hozzájárulhatnak a kisebb lokális múzeumi raktárak fejlesztéséhez és a műtárgyvédelem átfogóbb megértéséhez. A helyszíni bejárások és a szakemberekkel folytatott interjúk összegzett eredményei feltárták a kisebb raktárak legfontosabb hiányosságait és kihívásait, mint például a biztonsági rendszerek hiányos kialakítása, a tárolási kapacitások korlátozottsága, valamint a fenntarthatósági szempontok mellőzése.

A kutatás végső célja, hogy hozzájáruljon a műtárgyvédelem szakirodalmának bővítéséhez, miközben konkrét és megalapozott irányelveket kínál a fenntartható tárolási megoldások megteremtéséhez. A kutatási kimenetek nemcsak a kisebb múzeumok működésének javítását segítik elő, hanem alapul szolgálhatnak a szabályozások egységesítéséhez és a műtárgyak megőrzésének hosszú távú biztosításához

3.3 Alkalmaztott vizsgálati módszere

Elsődlegesen igyekeztem empirikus megfigyelést, azaz személyes helyszíni bejárást és adatgyűjtést végezni, amely egy olyan kutatási módszertan, amely lehetővé teszi a műtárgyak tárolási körülményeinek alapos megismerését és dokumentálását. Ez a módszer különösen fontos, mert közvetlen tapasztalatok és megfigyelések révén pontos képet kapok a raktározás aktuális állapotáról és az esetleges hiányosságokról. Az így gyűjtött adatok alapján hatékonyabb javaslatokat tehetek a műtárgyvédelem javítására.

Másodsorban pedig a személyes egyeztetésekre és interjúkra koncentráltam, melyek során múzeumi biztonsági szakemberekkel beszélgettem. A célom az volt, hogy megtudjam, milyen normák és irányelvek alapján dolgoznak, és hogyan alkalmazzák ezeket a műtárgyvédelmi rendszerek kialakításánál, akár rövidebb, akár hosszabb távú raktározás esetén, vagy akár egy egyszeri betárolás alkalmával.

4. Kutatási eredmény

1. táblázat Lokális múzeumi raktárak adat [9]

		Lokális múzeumi raktárak				
		1	2	3	4	5
Biztonsági őr	fegyveres	-	-	-	-	-
	0 - 24	-	-	-	-	x
	nyitva	-	-	-	x	x
	kivonuló	-	-	x	x	-
Mechanikai védelem	rács, kerítés	x	x	x	x	x
	biztonsági ajtó	-	x	-	x	x
	biztonsági zár	x	x	x	x	x
Biztonságtechnika riasztó	alap	x	x	x	x	x
	több funkció	-	-	x	x	x
	távfelügyelet	-	-	x	x	-
Kamerarendszer	kamu	x	x	x	x	x
	alap	-	x	-	-	-
	rögzítés	-	-	x	x	x
	riasztóval kombinált	-	-	x	x	x
Adatvédelem	ISO 27001	-	-	-	-	-
	minimális	-	-	x	x	x
	nincs	x	x	-	-	-
Tűzvédelem	nincs	x	x	-	-	-
	jelzés	-	-	x	x	x
	oltás	-	-	x	-	-
Munkavédelem	oktatás	-	-	-	x	x

A kutatás során végzett helyszíni bejárások rávilágítottak arra, hogy a kisebb helyi raktárak jelentős eltéréseket mutatnak a biztonság, tárolás és fenntarthatóság szempontjából. A legtöbb esetben a meglévő biztonsági rendszerek alapvetőek, gyakran nem felelnek meg a műtárgyvédelmi szabványoknak. Tűzvédelmi rendszerek például ritkán találhatók, ami komoly kockázatot jelent. A klímavezérlés hiánya szintén gyakori, ami negatívan befolyásolja a műtárgyak állapotának megőrzését. A tárolási kapacitás korlátozott, a helyiségek gyakran túlzsúfoltak, ami akadályozza a hatékony és fenntartható raktározást.

Az interjúk és fókuszcsoportos egyeztetések során a szakemberek a költségvetési korlátokat és a helyi erőforrások szűkösségét emelték ki a legnagyobb akadályokként. Egyesek szerint a kisebb raktárak fenntartása költséghatékonyabb rövid távon, de a hosszú távú működtetés során jelentős problémák merülhetnek fel, különösen a biztonsági és tárolási kapacitás szempontjából. A beszélgetésekből az is kiderült, hogy a műtárgyvédelmi szabályozások gyakran hiányosak, és egyértelműen szükség van az egységesítésre.

5. Konklúzió

Az adatok részletes elemzése és rendszerezése lehetővé tette az aktuális gyakorlatok és problémák megértését. Az összegyűjtött információk alapján elvégzett összehasonlító elemzés rávilágított a kisebb lokális raktárak előnyeire és hátrányaira. A kisebb raktárak helyi elérhetősége és alacsonyabb költségeik kedvezőek lehetnek. E két megközelítés egymást kiegészítve hatékony tárolási struktúrát alakíthat ki – lokálisan.

A kutatás alapján rövid távon javasolt a kisebb raktárak alapvető biztonsági és fenntarthatósági szintjének javítása, például riasztórendszerek és tűzjelzők telepítésével, valamint klímavezérlés bevezetésével. Hosszú távú megoldásként egy hibrid modell kidolgozása lehet célszerű, amely ötvözi a kisebb raktárak korszerűsítését a regionális raktárak kiépítésével. Egy egységesített műtárgyvédelmi szabályozás létrehozása biztosítaná, hogy minden intézmény azonos szintű védelemmel és fenntarthatósági megoldásokkal rendelkezzen.

A kutatás egy konkrét ajánlásgyűjteményt is kínál a múzeumok számára, amely a műtárgyak biztonságos és fenntartható tárolásának fejlesztésére irányul. Ezek között szerepelnek a kisebb raktárak biztonságtechnikai korszerűsítései, a klímavezérlés bevezetése.

A kutatás végső következtetése, hogy a kisebb lokális raktárak fejlesztése elengedhetetlen a műtárgyak hosszú távú megőrzése érdekében. Ezek a raktárak továbbra is fontos szerepet töltenek be a helyi közösségek kulturális örökségének védelmében, ugyanakkor a regionális raktárak hatékony kiegészítőként szolgálhatnak, különösen nagyobb gyűjtemények esetében.

Köszönetnyilvánítás

Az EKÖP-24-KDP-4 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2024-2.1.2 – Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program – Kooperatív Doktori Program finanszírozásában valósult meg.

6. Hivatkozások

[1] László Lőrincz, Tamás Berek: The Role of Closed-Circuit Television in Institutional ArtWork Protection as a Subsystem of Smart City, Interdisciplinary Description of Complex Systems 21(4), pp 391. (2023).

[2] László Lőrincz, Tamás Berek: The Role of Closed-Circuit Television in Institutional ArtWork Protection as a Subsystem of Smart City, Interdisciplinary Description of Complex Systems 21(4), pp 394-395. (2023).

[3] 1997. évi CXL. törvény a muzeális intézményekről, a nyilvános könyvtári ellátásról és a közművelődésről 1. sz. mellékletének o.) pontja

[4] Lőrincz László: Intézményi műtárgyvédelem: bevezetés a közgyűjteményi raktározásba. Mérnöki Szimpózium a Bánkin ESB 2023. Budapest, Óbudai Egyetem pp 314-317. (2024)

[5] ISO standard 27001, Information security, cybersecurity and privacy protection Information security management systems. 2022.

[6] Z. László, Milyen szabályokat kell figyelembe venni az áruk raktári elhelyezésénél?, 2008. kiad. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet.

[7] N. Hofstra, B. Petkova, W. Dullaert, G. Reniers, és S. de Leeuw, „Assessing and facilitating warehouse safety”, Saf. Sci., köt. 105, o. 134–148, jún. 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2018.02.010.

[8] F. Halawa, H. Dauod, I. G. Lee, Y. Li, S. W. Yoon, és S. H. Chung, „Introduction of a real time location system to enhance the warehouse safety and operational efficiency”, Int. J. Prod. Econ., köt. 224, o. 107541, jún. 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107541.

[9] László, Lőrincz – Gábor, Kiss – Arnold Őszi: A Comparative Scopint Study of Local and Regional Museim Storage Solitions – 2024 IEEE International Workshop on Technologies for Defense and Securtiy. Napoli, Italy IEEE (2024) pp 108-113.

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Lakhatással a békéért – A Briggs-terv és a Strategic Hamlet Program összehasonlító elemzése

Accommodations for Peace – a comparative analysis of the Briggs Plan and the Strategic Hamlet Program

[1]Mezey Csaba Bence

[1]*Szegedi Tudományegyetem, Szeged, Magyarország, bencemezey@gmail.com*

Összefoglalás

Az 1945 utáni világban felgyorsultak a dekolonizációs folyamatok. A két általam vizsgált térségben, Malajziában és Indokínában sem volt ez másként. A britek, a franciák és a konfliktusba később bekapcsolódó amerikaiak is hasonló kihívásokkal néztek szembe. Ahhoz, hogy egy gerilla-felkelés leverése, vagy szerencsésebb esetben elhárítása sikeres legyen, a helyi lakossággal való jó viszony kialakítása kulcsfontosságú. A britek által Malajziában alkalmazott Briggs-terv roppant sikeresnek bizonyult e téren, az amerikaiak azonban, bár hasonló elgondolásokat dolgoztak ki, kudarcot vallottak. Munkámban ezt a két megoldási kísérletet vetem össze.

Kulcsszavak: civil-katonai együttműködés, gerilla-elhárítás, felkelésellenes műveletek

Abstract

In the post-1945 world, decolonisation processes have accelerated. This was no different in the two regions I have studied, Malaysia and Indochina. The British, the French and the Americans who later became involved in the conflict faced similar challenges. The key to successfully suppressing or, more fortunately, defeating a guerrilla insurgency is to build good relations with the local population. The British Briggs Plan in Malaysia proved highly successful in this respect, but the Americans, while developing similar ideas, failed. My work compares these two attempts.

Key words: civil-military cooperation, counter-insurgency, counter-insurgency operations

1. Bevezetés

Ahhoz, hogy megértsük, hogyan alakulhatott merőben másként e két megoldási kísérlet kimenetele, ismernünk kell a két gyarmattartó nagyhatalom módszereit és őslakosokhoz való hozzáállását, illetve az amerikai érdekeket a térségben. A két európai hatalom módszerei között szembetűnők voltak a különbségek. Anglia – bizonyos korlátok közé szorítva – fenntartotta az addig fennálló politikai-gazdasági rendszert, és a helyi uralkodó, vagy az elit bevonásával irányította területeit. Ezáltal az angol gyarmatok részleges autonómiát élveztek, lehetőségük volt becsatlakozni a világpiacot kínáló angol kereskedelembe, de semmiképp sem voltak egyenlő felek a britek szemében, akik minden felkelést kegyetlenül megtoroltak (lásd pl. az 1857-es szipolylázadást). [1] Ennek ellenére, mivel hajlandók voltak integrálni a korábbi hatalomgyakorlókat, a gyarmatok

helyzete viszonylag stabil volt. [2]

A franciák ezzel szemben teljesen beolvasztották az elfoglalt területeket. A gyarmati irányítás teljes mértékben központosított volt, a korábbi uralkodó elit csak névleges beleszólással rendelkezett saját országai belügyeibe. Gazdaságukat alá kellett vetniük a francia igényeknek, megvonták tőlük a szabad kereskedelem jogát is. A helyi lakosságot másodrendű állampolgároknak tekintették, szinte semmilyen döntési szabadsággal nem bírtak. A britekkel ellentétben a vallási intolerancia is nagyobb mértékeket öltött, a kereszténységen kívül minden mást tiltott a francia állam. [3]

1945 után az addig szilárdnak hitt gyarmati rendszerek egyre intenzívebben kezdték mutatni az összeomlás jeleit. A két világháború során Anglia és Franciaország jelentős létszámú gyarmati katonaságot vetett be, ezért cserébe pedig ígéreteket tettek arra vonatkozóan, hogy gyarmataiknak akár a függetlenséget is hajlandók megadni. Természetesen egyáltalán nem kívánták ezen ígéreteket betartani, így az elégedetlenkedők egyre sűrűbben nyilvánították ki nemtetszésüket, mely végül forradalmi hangulathoz és lázadásokhoz vezetett. [4] Az Egyesült Államokat nem gyarmati, hanem politikai és gazdasági érdekek vezérelték. A Domino-elv és az európai béke megőrzése érdekében jelentős támogatást nyújtottak a franciáknak az indokínai háború során, mely ennek ellenére 1954-ben csúfos francia vereséggel végződött.

2. Malajzia

A britek legnagyobb problémája az új polgári kormány felállítása körüli káosz volt, ezen belül is a japán megszállás utáni új alkotmány kiírása és ratifikálása. Ez lehetővé tette volna a szultánok hatalmának végleges eltörlését, illetve mindenkinek egyenlő jogon biztosította volna az állampolgárságot. A helyiek nagyon féltek attól, hogy hirtelen több millió kínai és indiai kívülállóból lesz egyenrangú versenypartner a munkaerőpiacon és a hatalomban. [5]

Az első nyílt kommunista akcióra 1948. június 16-a reggelén került sor, Perak tartományban. A továbbiakban egyre több fegyveres támadás és emberrablás történt; a kommunisták és aktivistáik a briteket és szimpatizánsaikat támadták. [6]

A brit hadvezetés eleinte nem tudta kezelni a kialakult válsághelyzetet. Nagy létszámú alakulatokat vezényeltek ki az esőerdőkbe, de ezek túl lassan mozogtak ahhoz, hogy a kis létszámú, gyors gerillacsapatokat megállítsák. Sir Henry Gurney, Malajzia katonai helytartója ezért taktikát váltott; napalm és vegyi anyagok bevetése mellett döntött. Ezektől azt remélte, hogy felfedik a lázadók rejtekhelyeit, melyek mélyen a dzsungelben voltak elrejtve. Mintegy 2000 hektár erdőt tüntettek el, mire – ideiglenesen – leállították az erdőirtási műveleteket. [7]

A káosz fokozódása, a civil lakosság egyre ellenségesebb viselkedése és Gurney 1951. október 6-án bekövetkezett halála miatt a brit főparancsnokság változtatások bevezetésére kényszerült. Az addig műveleti igazgatói (Director of Operations) pozíciót betöltő Sir Harold Briggs tábornokra bízták a hadszínteret. Ő már 1949-50 között kidolgozott egy tervet, melynek segítségével a válság viszonylag veszteségmentes megoldását remélte, de 1951-ben előrehaladott kora és rossz egészségi állapota miatt visszavonult, helyét Sir Gerald Templer vette át. Az ún. „Briggs-terv" lényege abban állt, hogy teljes körű együttműködést javasolt a helyi végrehajtó hatalommal és az erőszakszervezetekkel, melyekkel fokozatosan felválthatóvá tehető a brit katonaság. Ezen felül az „Új Falu" program keretében megerődített településeket hoztak létre, hogy a perifériára szorult, rossz anyagi helyzetben lévő civileket elszállásolhassák. [8] Mintegy félmillió embert, döntő többségükben kínaiakat költöztettek erővel úgynevezett „új falvakba". Ezzel el akarták érni a hajléktalanság megszűnését, de természetesen így nagyban meg is nehezítették a felkelők dolgát, hiszen a potenciális gerillák és támogatók egy helyen tartásával, megfigyelésével és biztosításával nagyban korlátozták a kommunisták erőforrásait és mozgásterét. Ezek az „új falvak" többnyire valóban teljesen újak voltak: a britek és a maláj kormány számtalan települést hozott létre a program

keretében, mely csak 1952-ben fejeződött be. Már Gurney is hozzákezdett a megvalósításához, de csak a Briggs-terv bevezetésekor kapott igazi lendületet. A falvakat szögesdróttal, rendőrségi ellenőrző pontokkal és nagyteljesítményű reflektorokkal biztosították. Egyesek ebből azt a következtetést vonhatnák le, hogy ezek tulajdonképpen koncentrációs táborok voltak, és valóban volt hasonlóság a kettő között. Itt viszont a (gyakran kényszer hatására) betelepülőket új lakóházak, iskolák, kórházak, üzletek és hatékony közműhálózat várta, valamint új munkahelyek is. Továbbá a védelmi rendszerek az ott élők biztonságát szavatolták a gerillákkal szemben. A britek mindenképpen el akarták kerülni az 1948-49-es fiaskót, mikor gyakorlatilag átengedték a kommunistáknak a nagyvárosokon kívüli területeket. Az így vonzóvá tett falvakban és városokban szinte minden hontalant sikerült elszállásolni. [9] A britek még az amnesztiát is felajánlották a magukat megadó kommunistáknak, ráadásul 1957-ben elismerték Malajzia függetlenségét is, így a mozgalomnak nem maradt sem politikai legitimációja, sem szélesebb társadalmi támogatottsága. Mindezek együttvéve 1953 és 1960 között a mozgalom felaprózásához, majd szinte teljes megsemmisüléséhez vezettek. [10]

3. Vietnam

A franciák veresége után az 1955-ben felosztott Indokínában továbbra sem volt béke. Az Egyesült Államok az újonnan létrehozott Dél-Vietnami Köztársaság segítségére sietett, hogy politikai és gazdasági érdekeit biztosítsa a Kelet-Ázsiai térségben. A Strategic Hamlet Program egy felkelésellenes kezdeményezés volt, amelyet a dél-vietnami kormány az Egyesült Államok támogatásával hajtott végre az 1960-as évek elején. Elsődleges célja az volt, hogy a vidéki lakosságot elszigetelje a Vietkong befolyásától azáltal, hogy „stratégiai falvak” néven ismert, megerősített falvakba telepítette őket. Ez a stratégia a kormányzati ellenőrzés megerősítését, a biztonság fokozását és a vidéki területek társadalmi-gazdasági fejlődésének előmozdítását célozta.

1961 végén John F. Kennedy amerikai elnök kiküldte Roger Hilsmant, a Külügyminisztérium Hírszerzési és Kutatási Hivatalának akkori igazgatóját, hogy értékelje a vietnami helyzetet. Látogatása során Hilsman találkozott Sir Robert Thompsonnal, a dél-vietnami brit tanácsadó misszió vezetőjével, aki a maláj vészhelyzet idején folytatott sikeres felkelésellenes erőfeszítések veteránja volt. Thompson olyan áttelepítési és lakosságbiztonsági rendszert javasolt, amely a vidéki lakosság feletti ellenőrzés megszerzését helyezte előtérbe ahelyett, hogy kizárólag a felkelők felszámolására összpontosított volna. Ez a megközelítés a rendőrség és a helyi biztonsági erők szerepét hangsúlyozta, kiegészítve a dél-vietnami hadsereg (ARVN) által végrehajtott lázadásellenes műveletekkel. [11]

Hilsman beépítette Thompson elképzeléseit a „Stratégiai koncepció Dél-Vietnam számára” című politikai dokumentumba, amelyet Kennedy elnök 1962. február 2-án jóváhagyott. A terv erősen megerősített stratégiai „falucskák” (a ’hamlet’ szó szó szerinti lefordítása) létrehozását javasolta, amelyeket árkok, szögesdrótkerítések és megfigyelőtornyok védtek. A környező területeket ki kellett volna tisztítani, hogy tűzteret biztosítsanak, a települések megközelítési útvonalait pedig el kellett volna látni aknamezőkkel és egyéb akadályokkal. A program célja az volt, hogy Dél-Vietnam mintegy 16 000 kistelepülését mintegy 12 000 stratégiai falucskává tömörítsék. [12] Végrehajtásának fő lépései a következők voltak. Népszámlálás és regisztráció - népszámlálás elvégzése a falusiak nyilvántartásba vétele és személyi igazolványok kiállítása, ezáltal a mozgásuk nyomon követése és ellenőrzése végett. Erődítések építése - a falusiaknak védműveket kellett építeniük, beleértve árkokat, kerítéseket és megfigyelőtornyokat, hogy védekezzenek a Vietkong támadások ellen. Önvédelmi képzés - önvédelmi csoportok létrehozása és kiképzése, amelyek 75-100 fegyveres falubeliből álltak, és amelyek feladata a kijárási tilalom betartatása, a személyi igazolványok ellenőrzése és a Vietkong beszivárgók azonosítása volt. Társadalmi-gazdasági fejlesztés és felzárkóztatás - a kormány célja az volt, hogy segítséget nyújtson az életkörülmények

javításához, beleértve az egészségügyi ellátást, az oktatást és a gazdasági lehetőségeket, a vidéki lakosság lojalitásának elősegítése érdekében. [13] Ngo Dinh Diem elnök egy 1962. áprilisi beszédében fogalmazta meg a program céljait, kijelentve, hogy a stratégiai falvak alapvető elemet jelentenek a kommunizmus, a belviszály és az elmaradottság elleni küzdelemben. Úgy képzelte el őket, mint a vietnami társadalom alapját, ahol a társadalmi, kulturális és gazdasági reformok a városoktól a legeldugottabb falvakig javítanák az életkörülményeket. [14]

Ambiciózus céljai ellenére a Strategic Hamlet Program jelentős kihívásokkal nézett szembe. A programot elhamarkodottan vezették be, ami nem megfelelő tervezéshez és forráselosztáshoz vezetett. [15] Kényszerített áttelepítések keretein belül sok falusi lakost kényszerítettek arra, hogy akarata ellenére elköltözzön, ami ellenérzéseket és ellenállást váltott ki. [16] Ezt tetézte az elégtelen biztonság: az önvédelmi erők gyakran alulképzettek és rosszul felszereltek voltak, így a falvak sebezhetővé váltak a vietkongok támadásaival szemben. [17] A korrupció és rossz gazdálkodás szintén nagy szerepet játszottak a program kudarcában; példának okáért a programért felelős fő tisztviselőről kiderült, hogy kettős ügynök volt, aki a kommunista Észak-Vietnam szolgálatában mindent megtett a terv elszabotálása érdekében. A falvak fejlesztésére szánt forrásokat gyakran eltulajdonították, ami aláásta a program hatékonyságát. [18]

Ezek a problémák széles körű elégedetlenséghez vezettek a vidéki lakosság körében, sokan a programot zavarónak és kényszerítőnek tekintették. Ahelyett, hogy elszigetelte volna a Vietkongot, a program gyakran elidegenítette a falusiakat, és akaratlanul a felkelők felé terelte őket. Diem elnök 1963-as megbuktatását követően a programról nagyrészt lemondtak, mivel nem érte el a kitűzött célokat. Visszatekintve a Stratégiai Hamlet Programot elrettentő példának tekintik a felkelés elleni erőfeszítésekre, amelyek a jó szándékú célok ellenére a rossz végrehajtás, a kulturális érzékenység hiánya és az érintett lakosság valódi támogatásának elmaradása miatt kudarcot vallottak.

4. Összefoglaló táblázat

1. táblázat Összefoglaló táblázat

	Új Falu Program	**Strategic Hamlet Program**
Települések száma	450	~ 14 000
Lakosság	~ 470 000	~ 4 300 000
Célok	A gazdasági problémák megoldása, társadalmi nehézségek felszámolása	A lakosság izolálása, a gerillák esélyeinek csökkentése
Kormányzati kapcsolat	Erős	Gyenge
Biztonsági személyzet	Eleinte brit, később helyi lakosok	Amerikai/ARVN
Helyi irányítás	Önálló és önfenntartó	Központilag vezérelt / nem létező
Eredmény	Stabil társadalmi rend kialakulása	Teljes kudarc

5. Hivatkozások

[1] Forrest, G. W. (1893). Selections from the letters, despatches and other state papers preserved in the Military department of the government of India, 1857–58.

[2] Anthony Reid (1993). Southeast Asia in the Early Modern Era: Trade, Power, and Belief. Cornell University Press.

[3] Tarling, Nicholas (2001). Imperialism in Southeast Asia: "A Fleeting, Passing Phase". Routledge, London and New York.

[4] Tarling, Nicholas (1999). The Cambridge History of Southeast Asia. Cambridge University Press.

[5] Slight, John (2015). The British Empire and the Hajj, 1865-1956. Harvard University Press, Cambridge.

[6] Kheng, Cheah Boon (2012). Red Star Over Malaya. Resistance and Social Conflict during and after the Japanese Occupation of Malaya, 1941-46. NUS Press, Singapore.

[7] McGrath, John J. (2006). Boots on the Ground: Troop Density in Contingency Operations. Army Combined Arms Center, Combat Studies Institute, Fort Leavenworth, KS,66027.

[8] Sunderland, Riley (1964). Army Operations in Malaya, 1947-60. RAND Corporation, California.

[9] Tay, Francis (2015). Making Malaysian Chinese: War Memory, Histories and Identities. A thesis submitted to the University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Humanities.

[10] W. Pye, Lucian (1985). Asian Power and Politics. The Cultural Dimensions of Authority. Harward University Press, Cambridge.

[11] Krepinevich, Jr., Andrew F. (1986), The Army and Vietnam, Baltimore: Johns Hopkins University Press, p. 67–68

[12] Latham, Michael (2006). "Redirecting the Revolution? The USA and the Failure of Nation Building in South Vietnam". Third World Quarterly. 27 (1): 34.

[13] Osborne, Milton E. (1965). Strategic Hamlets in South Viet-nam: A Survey and Comparison. Ithaca, NY: Cornell University, p. 35-36.

[14] Osborne, Milton E. Strategic Hamlets in South Viet-nam: A Survey and Comparison, p. 33.

[15] Sheehan, Neil (1988). A Bright Shining Lie: John Paul Vann and America in Vietnam, New York: Random House, p. 309–310;

[16] Foreign Relations of the United States: 1961–1963: Vietnam, 4 vols. (Washington D.C.: Government Printing Office, 1991.)

[17] Sheehan, Neil, Bright Shining Lie, p. 310.

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Munkahely-ergonómiai vizsgálat a pamutfonás technológiai fejlődésének aspektusaiban

Workplace ergonomics study on aspects of technological development in cotton spinning

[1]Nagy Rudolf

[1]*Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary, nagy.rudolf@bgk.uni-obuda.hu*

Összefoglalás

A textilszövés ősi, máig ható hagyománya egyúttal észrevétlen módon kikövezte az utat az ergonómia tudománya megszületésének is. Hisz már a kezdetleges szövés is egy ugyan nagyon egyszerű, mégiscsak az ember-gép kapcsolatának első így értelmezhető példázatát adta. A kezdetekben szükségleti cikket képező kézműves szövetek, mostanság már az egyre nagyobb teret hódító, a divatot lekövető termelési ág végtermékeként jelenik meg. Az ezt kiszolgáló alapanyaggyártás meghatározó bázisa a könnyűiparnak. Azonban itt is, mint sok más iparágban a jelenleg domináns műanyagokkal szemben a fenntarthatóság mindinkább megköveteli a természetes, és köztük egyebek mellett a pamutfonalak ismételt előtérbe helyezését. Az igények determinálta gyártókapacitásokkal párhuzamosan az itt foglalkoztatottak munkakörnyezeti és ergonómiai kockázatai ugyancsak fokozódnak a nagyfokú gépesítésnek ellenére is.

Kulcsszavak: fonás, pamut, munkakörnyezet, ergonómia, kockázat

Abstract

The ancient tradition of textile weaving, which is still going strong today, has also paved the way for the birth of the science of ergonomics. Even primitive weaving was the first example of a very simple, but nevertheless understandable, human-machine relationship. Handicraft fabrics, which were initially a necessity, are now the end product of an increasingly widespread branch of production that is following fashion. The production of the raw materials that serve it is a key base for the light industry. However, here as in many other industries, sustainability increasingly requires a renewed emphasis on natural yarns, including cotton yarns, as opposed to the currently dominant plastics. In parallel with the increasing production capacity, the risks to the working environment and ergonomics of the workers are also increasing, despite the high degree of mechanisation.

Keywords: spinning, cotton, working environment, ergonomics, risk

1. Bevezetés

Édesanyám évtizedeket töltött el az egyik egykori hazai textilipari gyár fésüsfonó üzemében. Az ott vézett munka terhei még évtizedekkel később is megmutatkoznak, alapvetően befolyásolva fizikai és egészségi állápotát. Ez a gyermeki szemnek még fel nem tűnő, de sok személyes kihívással járó és folymatosan kibontakozó élethelyzet később szakemberként tudatosította bennem a „könnyű” fizikai munka árnyoldalait.

Bár a textilszövés és a hozzá kapcsolódó fonás kézműves hagyományainak évezredekre visszanyúló története még korátsem idézte ezt a végkifejletet, hiszen a ránk maradt - igaz igen kevés számú - ősi szövetmaradványok egy merőben más munkafolyamatról mesélnek.

A kézi szövés egyszerű technikája ugyanis olyan meglehetősen monoton ismétlődő ritmikus mozdulatsorokon alapul, amely legalább részben helyhez kötött életmód mellett képzelhető csak el. Ráadásul nagy erőkifejtést nem igénylő könnyű fizikai munka, amelyet szükség szerint félbe lehet szakítani és folytatni lehet bármiféle illesztő munkafázis beiktatása nélkül is. Vagyis a családi kötelékekre épülve kialakult közösségekben a munkamegosztás ezen szférája egyértelműen a lakhelyül választott hajlék körül foglalatoskodó és gyermeket gondozó nőkre juthatott. Az esetlegesen az egyes alaptevékenységek között felszabaduló időben folytatható munkaként volt végezhető számukra. [1]

Az egyik ilyen módon elkészített „foszlánya" a múltnak, az 1. ábrán látható ritka lelet Svájcban, 1853 nyarán került elő a Zürichi-tó melletti Obermerlen település lakói jóvoltából. A leapadt tó medrének iszapjából korai rézkori tárgyak társaságában bukkant a felszínre a szövetmaradvány. Ez a szövetdarabka mintegy 5000-6000 évvel ezelőttről származik. [2]

1. ábra A Zürichi-tó iszapjában talált szövetmaradvány [1]
(Fotó: Antoinette Rast-Eicher, Berni Egyetem)

Érthető, hogy még mielőtt a szövet elkészítéséhez fogtak volna, előbb fonalra volt szükségük. Ez tehát még régebbi eredetre vezethető vissza. Hiszen elég csak az ennek alapjait alkalmazó természeti népek íjaihoz használni kívánt húrok sodrását megfigyelni, máris láthatjuk a szövéshez használt szálak kiképzésének alapmozzanatait. [2]

A növényi rostokból képzett szálak titkát feltáró teória alátámasztását vélhetjük a sokezer évvel ezelőttről származó ásatások egyik meglepő tárgyi leleteiből. A Kaukázus térségében, egy grúziai ásatáson sodrott lenszálakat fedeztek fel. A szálak pigmentekkel való festett kezelése igazolja, hogy szövetek alapanyagául szolgálhattak a Dzudzuana-barlangban talált sodrott szálak. [3]

a. Az ergonómia kezdetei

Az elmondottakon kívül még egy nagyon fontos szempontja van a korai szövési technikák generációkról-generációkra való áthagyományozódásának. Jelesül maga az eszköz, amely kézi szövőkeretként megteremtette a gép és ember kölcsönhatásának kezdetleges formáját.

Ennek ember által történő működtetéséhez az eszköznek idomulnia kellett a használója antómiai jegyeihez és a működési fázisokat kísérő mozdulatsorokhoz. A szálak sokaságából szőtt szövet sok ezer ismétlését csak olyan eszközzel lehetett elvégezni, amely nem keletkeztet gyors fáradást előídéző terheket. Vagyis úgy kellett ezeket megkonstruálni, hogy ha még oly egyszerű is mint a

2. ábrán látható, közel-keletről előkerült lelet, akkor is az akkori szemléletet idézve „kézre álljon” alkalmazójának és ne igényelje a figyelem káros koncentrációját a monoton ismétlődő munkafolyamatok ellenére sem.

2. ábra A kézi szövéshez használt feszítőbot [4] (Forrás: Jeruzsálemi Izrael Múzeum)

Mindezek ellenére a szövés ezen ősi formája korántsem volt kényelmesnek mondható, ugyanis a láncfonalak feszítéséhez használt botot lábbal megtartani csak ülő pozícióban lehetett, ami miatt a gerinc így is terhelésnek volt kitéve. Jól kivehető ez a mai a Hainan-szigeten élő Li-nemzetség máig létező kézműves szövési hagyományait ábrázoló 3. ábrán is.

3. ábra A kézi szövés ősi hagyományának formája Hainan-szigetén [5] (Forrás: CGTN)

A növényi színezékkel megfestett tradícionális szövetek alapanyaga pamutfonal, amelyet szintén kézi fonással állítanak elő. [5]

1.1 Textilszövés és gépesítést megelőzően

A későbbi korok textilgyártása sokkáig manufakturális szinten maradt az időközben kidolgozott technikai módosítások ellenére is. A szövőkeret és a vetélő, valamint a lábítós szövőszék, stb. csak a textíliák kidolgozottságában jelentett számottevő minőségi változást. Ellenben a látványos mennyiségi léptékváltás még váratott magára; különösen az alapanyag, a fonál készítés technológiai elmaradottsága okán. A rokka és más szükséges eszközök lényegi technikai változtatás nélküli felhasználása nem tették lehetővé a tömeggyártást. Komoly lendületet emiatt is csak az ipari forradalom hozott, melynek épp ezen árucikk iránti keresletnövekedés volt az egyik hajtómotorja. [6]

1.2 Több és erőssebb fonal

A szükséges megújulás a James Hargreaves által feltalált többorsós fonókeret megjelenésével vette kezdetét. Az ezzel feldolgozható alapanyag teljesítmény ugrást eredményezett a pamutfonalak gyártásában, melyet később a gőzgépek munkába állításával tovább tökélesítettek. A tartósabb és a technológiai felhasználás szempontjából is jobban kezelhető, minőségi termék alapot szolgáltatott az ipari léptékű textilgyártáshoz. Erre a kihívásra reagálva Edmund Cartwright 1785-ben szabadalmaztatta a mechanikus szövőgépét. Ráadásul alig egy évtizeddel később amerikában a gyapottisztító gépet is szabadalmaztatták. Mindezek a technikai vívmányok végleg utat nyitottak a gyárak és egyben a textilipar világának. [7]

1.3 Gyári munka árnyoldalai

A technikai forradalom valóban nagy előretörést hozott a műszaki fejlődés terén. Ugyanakkor ez a társadalom széles rétegei számára nem hozott semmiféle érzékelhető javulást az egyéni egzistenciáls helyzetükben. Attól eltekintve, hogy az addig jellemzően feudális berendezkedésű világban többségében röghözkötötten élő vidéki népesség ezt követően már a korábbi nehéz fizikai munkát igénylő mezőgazdasági ágazatot elhagyva, az iparban kellet, hogy megkeresse a megélhetését. Sőt, ez a társadalmi átalakulás inkább csak rontott a helyzetükön. Hiszen a gyári munka óriási munkaerőt igényelt és persze a profitéhes tőkések a nincstelen és kiszolgáltatott munkástömegek éhbérért foglalkoztatása révén fokozni is tudta az elszegényedés mértékét; különösen az egyéb diszkriminatív megkülönböztetésnek kitett nők foglalkoztatásával és a gyermekmunka előtérbe helyezésével.

Az alacsony bérek és a munkakörülmények siralmas volta miatt, főként a textiliparban volt az egyik legsúlyosabb kizsákmányolás. Az ez elleni szélsőségesen durva fellépés első megnyílvánulásai az angliai Notthingam-ben kitört, textilipari munkáslázadás volt. Az egymás utáni géprombolásoknak a súlyos megtorlások vetettek véget. Ez az éveken át tartó mozgalom is jelezte, hogy milyen súlyos volt a helyzete a gyári munkásoknak. Az úgynevezett Luddita mozgalmat pont a foglalkoztatás sulyosan megterhelő körülményei és a széleskörben terjedő megélhetési válság indította el.

Technológiai oldalról a szakadatlanul működtetett hosszú gépsorok jelentettek kihívást, ami a heti 6 napos munkarendben és nagy zajban végzett 12-14 órás műszakok miatt a munka biztonságát jelentősen rontotta. Nem is beszélve a gépek kifejezetten veszélyes konstrukciójáról, amely nélkülözött bármiféle, a kezelők védelmét szolgáló biztonsági berendezést. A rendszeresen bekövetkezett balesetek nem sok jóval kecsegtettek a gépeket kezelő munkások számára. [8]

2. A pamutfonó-ipar munkakörnyezeti jellemzése

A pamutfonó-ipari tevékenység mára jelentősen átalakult munkakörnyezetben folyik, amelyet a nagyfokú automatizálás és tömeggyártás jellemez. Azonban a továbbfejlesztett technológiai berendezések kiszolgálása, továbbra is hosszú technológiai sorok mentén végzendő munkát eredményeznek.

Bár a munka ergonómiai szempontokat is érvényesítő, korszerű gépeken folyik, számos munkavédelmi szempontott kell beépíteni a pamutfonás munkafolyamataiba. A modern fonógépeknél alkalmazott biztonságtechnikai követelmények ezért, még felsorolásszerűen is áttekintve őket, terjedelmesnek mondható szempontot jelenítenek meg.

2.1 Biztonságtechnikai alapvetések

A fonodai berendezéseken alkalmazott biztonságtechnikai megoldások az alábbi általános

technológiai műveletek köré csoportosíthatók:

- pamutalapanyag kannábból történő továbbítása,
- szálképzés előkészítése,
- fonásra alkalmas állapot kialakítása,
- végfonás,
- orsóra csévélés.

A felsorolt gépi funkciók nagysebességgel követik egymást, egy géplécsőben valósulnak mag.

2.2 Fizikai kockázatok áttekintése

A gépek okozta mechanikai hatások jelentős mennyiségű szálló pamutrost képződésével jár, amelyek elszívása a munkahelyi légállapotok megtartása - köztük a porrobbanás veszélye - miatt is elengedhetetlen. A munkakörnyezet kialakítása a veszélyesgépeknél szokásos megfontolásokon túl a szálszakadások és biztonságos kötözésük vizuális érzékelése végett is jól deffiniált világítástechnikai kritériumokkal kell rendelkezzen, amint azt a 4-es ábra is jól tükrözi.

4. ábra Fonóüzem munkakörnyezeti kialakítása [9]

A nagy sebességgel mozgó és az azokat gyorsan lefékező mechanikai alkatrészek okozta fizikai sérülések elkerülése, a fonodai gépeknél a benyúlás elleni védelem érdekében, védőburkolatok széleskörű alkalmazását teszik szükségessé. A gépkezelés megkönnyítésére több, gépi kiszolgálási lehetőséget integráltak a gépsorokba. Ilyen például az automata kannaváltás vagy tekercsváltás. A technológiai sorok gyors áttekinthetőségét és az egyes elemek működési állapotának azonosítását teszik lehetővé az egyes technológiai sorok végére telepített, képi megjelenítővel rendelkező operátori platformok.

Fontos megemlíteni, hogy a folyamatos üzemű technológiai sorok tetemes számú gépegységei egyidejűleg gyorsan mozgó, forgó alkatrészei a beépített csillapítás ellenére is relatíve magas zajszintet eredményeznek.

Mint villamos berendezések, a fonógépek érintésvédelméről és vészleállításának beépítéséről is gondoskodni kell a gyártmányok tervezésénél. [10]

2.3 Általánosítható pszichoszociális kockázatok

A fonóüzemi munka szempontjából a legjelentősebb kockázatot a folyamatos termelés igényelte 3 műszakos váltásos munkarend, a monotónia és a folyamatos fizikai igénybevételt jelentő gépsorok lejárása jelenti. A kutatások szerint, a fáradság és az ezekhez köthető munkabalesetek bekövetkezése

főként az egyéni alkalmazkodóképesség és a különböző munkaműveletek okozta eltérő terhelésekhez köthetők. Ezek többnyire a munkaközi szünetek rendjének helyes megválasztásával, valamint az alkalmassági vizsgálatokon megállapítható monotónia tűrés alapján történő munkakör-megválasztással orvosolhatók. [11]

3. Kockázatok a gépsorok mellett

3.1 Ergonómiai kockázatok áttekintése

A folyamatos üzemű fonógépek kiszolgálása jelentős terhelést ró az alsó végtagokra és az alsó lábszár érhálózatára. Emellett a gerinc és a karok jelentősebb mértékű, gyakran ismétlődő terhelésével is számolni kell.

A gépek kiszolgálása során egyre nagyobb számú fonógépet kell egy-egy munkavállalónak kezelnie. Ez személyenként sokszáz szál pamutfonalat gyártó gépegységet jelent. Ezért nagyfokú fizikai terheléssel számolhatunk. A közel 15 kg-os pamut alapanyaggal teli fonókannák kézi emelése komoly terhelést eredményezhetne. Bár a rakodási magasság nem jelentős a padlószinttől mérve, azonban a szállítási távolság a gépsorok hosszától függően elérheti az akár 50 m-t is. Az anyagmozgatás jelentette kockázatok kiküszöbölésére ezért hidraulikus kézi raklapemelőt alkalmaznak. A szállító platform mérete nem engedi nagy mennyiségű fonókanna felhelyezését. A gépek alapanyaggal történő kiszolgálásának megkönnyítése érdekében a kannák cseréjét automata kannaváltók végzik.

A másik ergonómiai kockázatot hordozó mozzanat az elszakadó szálak újrakötözéséhez, illetőleg a szálbefűzés folyamatához kapcsolódik, amit az 5-ös ábra szemléltet. A kötözés magasságának optimális megválasztásával a dolgozónak nem kell a kezét kockázatot jelentő tartományokban mozgatnia.

5. ábra Szálfűzé mozzanata [12]

Az alacsonyan, a gépek alsó harmadában elhelyezkedő fonókannákhoz történő lehajlás kiküszöbölésére egyfelől horizontálisan megnövelt méretű, hengeres kiképzésű fonókannákat alkalmaznak. Másfelől ezek aljzatát rugós szerkezettel látták el, amely a pamut mennyisége fogyásának ütemében fokozatosan feljebb-feljebb emeli a kannában lévő maradék alapanyagot. A pamut szalag egy, a gépsor alatt elhelyezkedő, mintegy 15 kg-os össztömegű kannából fut a fonóegységbe. [13]

A pneumatikus fonógéppel megfont pamutszálak lentről felfelé haladva kerülnek felcsévélésre. Ez ergonómiailag optimálisabb a fonónők számára, mert nem kell a szálkötözéshez kényelmetlen testtartásba lehajolniuk. Azonban így lentről felfelé haladó szálakból felgombolyított tekercsek a gépsor tetején helyezkednek el. A viszonylag nagy méretű és jó néhány kilógramos termékek

leemelése fárasztó és a karok ideális tartományból kieső mozgását követelné meg. A gép ezen részén a kiszolgálást már a 6-os ábrán bemutatott, a technológiai soron oda-vissza automatikusan végigfutó orsóváltó végzi a cserével egyetemben.

6. ábra Automata orsóváltó [12]

A fonókamrában a szennyeződések eltávolítását és az elemi szálképzés műveletét követően, a megfont szál percenkénti közel 200 méter feletti sebességgel fut. Az elemi szálak képzése és több lépcsős szálfonás után az orsóra csévélik a fonalat. Az eközben keletkező gyártási maradékok porelszívókon keresztül, porleválsztó ciklonokba jut.

Amennyiben szálszakadás következik be, úgy a gép azonnal leáll és kigyullad egy szakadást jelző lámpa. A gyártósor előírt sorrendben történő folyamatos lejárása során az odaérkező fonónő lenyitja a fonókamra ajtaját és egy kis ecsettel kitisztítja a hengerek kártoló felületére tapadt szennyeződéseket. A fonalvégeket 2-3 másodperces időtartam alatt összeköti és a helyére illesztést követően visszazárja a fonókamra ajtaját. Ezután ismételten elindítja a berendezést.

A technológiai előírások szerinti fonal minőségének függvényében, az alapanyagok a fonókannákból a technológiai egységekre osztott gépsor egyes részegységeiben folyamatosan ürülnek. Vastagabb szálminőség esetén ez természetszerűleg gyorsabban következik be. A fonókannák cseréjét a kiszolgáló műszaki személyzet az előírt technológiai rendben kézi emelőgépek segítségével végzi; ők viszik a fonókannákat közvetlenül a gépekhez.

3.2 Fizikai megterhelés

Testhelyzet, testtartás

A szálkötözési munkához kialakított kezelőállás a fonónőnek a gép előtt egyhelyben, a felső test megdöntése nélkül teszi lehetővé a szálszakadás okozta leállás miatti beavatkozást. Egyedül a régebbi, automata orsóváltó nélküli géptípusoknál kell a kész felcsévélt fonalat leemelni. Ennél a munkafázisnál jelentkezik rövid idejű kartartás nem megfelelő tartományban. Ennek egy műszakon belüli ismétlődése azonban nem nagy gyakoriságú.

Testmozgás

A fonógép kezelője a gépek közötti állandó gyaloglás mellett, rövid megállásokkal megszakítva végzi a munkáját. Így a fonógép kezelője számára ideálisabbak lehetnek a munkavégzés körülményei, mint az egyhelyben folyamatosan állva, a gyártósor mellett dolgozók esetében.

Ugyanakkor a hosszú évekig ilyen munkakörben foglalkoztatott fonónőknél az alsó végtagok folyamatos izommunkája igazolhatóan érrendszeri elváltozásokat idéznek elő.

Erőkifejtés

Egyes régebbi géptípusok kiszolgálásakor a munkavállaló rövid idejű, közepes megterheléssel járó erőkifejtést igénylő műveletet végez a felcsévélt orsók és a fonókannák kis magasságba történő, kedvezőtlen tartományban való megemelésével.

Kezelőelemek

A tevékenység során a gépen alacsonyan elhelyezett kezelőszervek a végtagok igénybevételében kényelmes kiszolgálást tesznek lehetővé. A gyártási folyamatból szálszakadás miatt kieső gépeken az elvégzendő szálkötözéshez a hozzáférést biztosító fonókamra burkolata optimális magasságban található. A kart és a kézfejeket rövid időre, elfogadható ergonómiai helyzetben véve igénybe kell a munkamozzanatot végrehajtani. Azonban az aprólékosan elvégzendő mozzanatok folyamatos figyelemösszpontosítást igényelnek.

Kijelzők, jelzések

Az egy-egy gépsorhoz tartozó kezelő panelen az üzemállapot aktuális helyzetét mutató, jól elkülönülő színű és optimalizált színdinamikával kialakított fényű kijelzőnek köszönhetően a gépsor felügyeletéhez szükséges körüljárás üteme optimálisabban hajtható végre; valamint a szemfáradást és az ebből eredeztethető koncentrációvesztést is ki lehet küszöbölni. Másfelől ez csökkentheti a járás okozta terhelést az alsó végtagon.

3.3 További pszichés megterhelések

A személyes intetjú alatt a megkérdezettek elmondták, hogy gépkezelő fonónők heti 40 órát dolgoznak zárt helyen, hétfőtől-péntekig változó munkarendben az üzem munkarendjéhez igazodva. Emiatt előfordulhat a többműszakos munkavégzés, melynek következménye lehet az esti munkavégzés is. Munkája során esetenként – például egy-egy elhúzódó javítás miatt, a rendelések nagyságától függően a szállítási határidők betartása érdekében – túlóra is szükséges.

Ugyancsak beszámoltak arról, hogy a teljes műszak egészére jellemző monotonitás, mellett a viszonylag gyakran ismétlődő fonalszakadás üzemzavar elhárítása gyakran jelentkező figyelemösszpontosítást igényel. Ezen monoton feladatok végzése fokozott szubjektív fáradtságérzéssel, a koncentráció csökkenésével jár, ami a munkaidő végének közeledtével fokozódik.

4. Konklúzió

A testhelyzet vizsgálata során megállapításra került, hogy a felcsévélt orsók leemelésekor magas kockázatú helyzetbe kerül a felkar, bár ennek ismétlődése kis gyakorisággal jelentkezik a műszak során. A erőkifejtés ellenőrzése alapján, a technológiai folyamat fenntartása érdekében, szükséges intenzív mozgások miatt fokozott fáradtság jelentkezik az alsó végtagokban. Ugyan a kedvezőtlen tartományba eső, az ismétlésszám miatt kritikusnak nevezhető, azonban annak intenzitásában jelentkező kisérték miatt, az ergonómiai terhelési mutatók elfogadhatóra minősítik a vizsgált mozdulatsorokat. [14]

A fizikai terhelés mértékének meghatározása alapján közepes mértékű a fonógép kezelőket érő ergonómiai hatás. A fonónők a munkahelyi hatások részeként jellemzően alsó lábszárban érezhető izomfáradtságra panaszkodtak. Célszerű ezeket valamennyi géptervezői tevékenységben figyelembe venni. Ebből eredően a gépsorok megjelenítő monitorokkal támogatott felügyelete csökkenti a műszak során indokolatlanul lejárandó úthosszt.

5. Hivatkozások

[1] Wayland Barber E. (1994). The First 20,000 Years - Women, Cloth, and Society in Early Times. W. W. Norton & Company, Inc., New York, ISBN 0-393-03506-0,

[2] Rosivall Z. (1966). Pamutfonás. Budapest, Műszaki Könyvkiadó

[3] Bar-Yosef O, Belfer-Cohen A, Mesheviliani T, et al. Dzudzuana: an Upper Palaeolithic cave site in the Caucasus foothills (Georgia). Antiquity. 2011;85(328):331-349. doi:10.1017/S0003598X0006779X

[4] witness2fashion blog (2014). Very Old Clothes: Fabric and Sandals circa 4000 BC. https://witness2fashion.wordpress.com/2014/09/18/very-old-clothes-fabric-and-sandals-circa-4000-bc/, (letöltve: 2024. 12. 05.)

[5] CGTN Kína csábereje (2020). A li nemzetiség hagyományos textilkészítő technikája: fonás, szövés, festés és hímzés. *Facebook*, 2020. január 30. Online: https://www.facebook.com/watch/?ref=search&v=2728759417210481&external_log_id=146dea57-e8c5-4df6-bd27-0230d2276900&q=2019%C3%BAtjelz%C5%91kaselyem%C3%BAton

[6] Szabó R., Szabó L. (2023). Szövőgépek mechatronikai fejlődése. Magyar Textiltechnika LXXVI. évf. (1)

[7] Hahner P. (2017). Az ipari forradalom problémájáról. Árkádia Szakmódszertani portal, Pécsi Tudományegyetem. http://arkadiafolyoirat.hu/images/000_tortenelem/TOR008_TAN_hahner.pdf.

[8] BAĞÇECİ, Y., (2020) İngiltere'de Sanayi Devrimi ve Luddist Başkaldırı (1811-1813). The Journal of Academic Social Science Studies , no.79, 355-373. DOI: http://dx.doi.org/10.29228/JASSS.40591.

[9] Compass Estate Pusula Emlak (2022): İç Anadolu bölgesine kurulu iplik üretimi fabrikası. *Internet,* Online: https://compassestate.com/ilan/ic-anadolu-bolgesi-nde-220-donum-arsa-uzerinde-satilik-iplik-fabrikasi/39439.

[10] Rőder I. – Vass Gy. (1981). Technológia II. – (Pamutfonás). Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

[11] Molnár I. (1982) Munkapszichológia az iparban. Népszava Lap- és Könyvkiadó, Budapest.

[12] Saurer Spinning Solution GmbH (2024) BD 8 Product brochure ES.pdf, https://saurer.com/media/6052/download/BD%208%20Product%20brochure%20ES.pdf?v=1&inline=true.

[13] Gál F. (1984). Textilipari gépek biztonságtechnikai zsebkönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

[14] Metgud, D. C., Khatri, S., Mokashi, M. G., & Saha, P. N. (2008). An ergonomic study of women workers in a woolen textile factory for identification of health-related problems. Indian journal of occupational and environmental medicine, 12(1), 14–19. https://doi.org/10.4103/0019-5278.40810.

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Katonai innovációk polgári alapokon, az információs eszközök új korszaka

Military innovations based on civilian foundations, the new era of information tools

[1]Nyikes Zoltán, [2]Tóth László

[1]Milton Friedman Egyetem. Budapest, Magyarország, nyikes.zoltan@uni-milton.hu
[2]Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, toth.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Az információs eszközök az életünk részévé váltak. A fejlődés magas léptéket öltött, mely részint öngerjesztő folyamat része. A polgári mellett, a katonai vonatkozásban is megfigyelhető a rohamos fejlődés. Ezen eszközök bizonyos esetekben megjelennek ugyanúgy a polgári és a katonai felhasználás során is, hiszen az alkalmazásuk felgyorsíthatja, költséghatékonyabbá teheti az elkészítésüket, fejlesztésüket. A cikk bemutatja azoknak a lehetőségeknek és eszközöknek egy részét, amelyeknek a polgári alkalmazása mellett létezik katonai alkalmazása is.

Kulcsszavak: Információs eszközök, Drón, Felhő technológia, Költséghatékonyság, Polgári eszközök, Katonai eszközök.

Abstract

The IT equipment is part of our life. The evolution has reached a high level, partly self-sustaining progress. Besides the civil life, this rapid development is also noticeable in military terms. Under specific circumstances, the equipment appears in civil and military usage too, because the application may speed up or may result in a cost-effective completion, and development. This article describes some of the possibilities and tools that have military applications in addition to their civilian applications.

Keywords: IT equipment, Drone, Cloud technolgie, Cost-effectiveness, Civilian equipment, Military equipment,

1. Bevezetés

Napjainkban az információs technológia szerves részét képezi az életünknek. A katonai terepen sincs ez másképp. Ezen eszközök gyakran célirányosan, szigorú katonai minőségbiztosítási folyamatok alkalmazásával készülnek el. A tesztelés és a sztenderdeknek való megfelelés is marginális része egy fejlesztésnek, de bizonyos eljárások újragondolásával lehetőség mutatkozik az idő és a költség dimenzióinak szűkítésére.

Feltételezésem szerint ezen fejlesztések időben – bizonyos szinten – lerövidíthetők és költségekben is gazdaságosabbak lehetnek némely elemek civil területen is megtalálható alternatívájuk alkalmazásával, esetleg polgári célokra is elérhető technológiák felhasználásával.

Fontos kiemelni, hogy egy katonai felhasználású eszközre minden esetben külön szabványok vonatkoznak. A MIL-STD-810H szabvány célja az Amerikai Egyesült Államok (USA) Department of Defense által közzétett környezettechnikai és laboratóriumi vizsgálatokra vonatkozó iránymutatás [1].

2. Az információs eszközök fejlődése

Az információs eszközök rohamos fejlődése jól jellemzi a 21. századot. Ez a fejlődés részint öngerjesztő folyamat eredménye. Az eszközökön futó alkalmazások újabb verziói – az esetek túlnyomó többségében – könnyebb használatot, szebb felhasználói felületet és új funkciókat hoznak. Ezek az újítások gyakran komplexebb megoldások eredményei, viszont a komplexebb megoldások, nagyobb számítási igényt kívánnak meg. Minél nagyobb ez az igény, annál jobban érződik a negatív hatása a felhasználói élményben ugyanarra az eszközre vonatkoztatva.

Magas interakciójú eszközökön (például telefonokon, számítógépeken) a rendszer válaszideje erősen befolyásolja a felhasználói élményt [2].

Amennyiben a válaszidőkre vonatkoztatott felhasználói elvárások nem teljesülnek hosszú távon, a felhasználók frusztrálttá válnak, az eszköz kezelése kényelmetlenné válik. Ebben az esetben egy újabb, erősebb eszközre váltanak, hogy visszatérjenek a korábbi kényelmes használathoz.

Az újabb eszközök természetesen nemcsak teljesítményben nyújtanak többet, hanem funkcionalitásban, külsőségekben, vagy biztonság terén is. Ha egy másik aspektusként a biztonságot vesszük szemügyre, a régebbi eszközök egy idő után alul fognak teljesíteni a frissítések hiánya miatt. Ez bizonyos esetekben pedig oda vezet, hogy alkalmazásokat, esetleg meghatározott funkcionalitásokat nem fognak tudni használni. Ez pedig rákötelezi őket az eszköz cseréjére.

3. Polgári eszközök a katonai alkalmazásban

Joggal merülhet fel a kérdés, hogy az információs eszközök pusztán a burkolatokban és extrém körülményeknek való megfelelésben különböznek-e a katonai és a polgári piacon egymástól [3]. A válasz korántsem egyértelmű, hiszen a megfelelő kontextusba kell helyezni a kérdést. A következő példákkal szeretnék rámutatni néhány átfedésre a két terület között.

3.1 Raspberry PI

A Raspberry PI (a továbbiakban: RPI) napjaink egyik legnépszerűbb, egyetlen áramköri kártyából álló mini számítógépe. Az Egyesült Királyságban fejlesztették ki, elsősorban oktatási célokra. A kis méretének és az ehhez mért kiemelkedő teljesítményének köszönhetően rengeteg projektnek kínál lehetőséget [4]. Amint a fenti specifikációból is kitűnik, az eszköz teljesítménye alapján elegendően erős egy átlagos feladatokra szánt számítógép kiváltásához. A felhasználási terület és egyedi igények függvényében választható meg hozzá a megfelelő ház, amibe a lap integrálható. Ezen burkolat megválasztása után, a kijelző és a perifériák preferenciái felől döntve, egy kész számítógépet kapunk [5].

Polgári célokra számtalan megvásárolható burkolat létezik, ezek az egyéni igények és követelmények, valamint az ár tükrében megválaszthatók.

A költséghatékony katonai felhasználást leginkább a 3D nyomtatási technológia teheti lehetővé. A korábban már említett MIL-STD-810H szabvány teljesítésének feltételeit a tervező környezetben figyelembe véve egy kompakt, könnyű és – nem utolsó sorban – meggyőző teljesítményű számítógépet eredményezhet. Fontos kiemelni, hogy a fenti esetben önmagában egy számítógépet kapunk. Amennyiben szükséges, lehetőség van integrálható kijelző, érintő kijelző és egyéb perifériák használatára is. Ezen eszközökkel történő bővítése és a számítógép környezethez igazítása

a 3D nyomtatás keretein belül megtehető [6].

3.2 Drónok

A drónok alkalmazása katonai szempontból mindenképp a 21. századi hadviselés lényeges eleme. Az Unmanned Aerial Vehicle (UAV), vagy ahogyan a köznyelvben alkalmazzuk Drón – a repülőgépekhez és a helikopterekhez viszonyítva – olcsó, jól manőverezhető, távolról irányítható és leginkább széles körben alkalmazható eszköz. Akár a tűzszerész feladatokban is kiválóan bevethető a tűzszerészeti felderítés, a megsemmisítési, hatástalanítási, valamint robbantási feladatok során [7]. Ezen a téren történő alkalmazásuknak alapjában véve a követelményeik a következők:

- minimum néhány kilométeres távolságról irányíthatók;
- nagy felbontású, nagyításra képes, éjjellátó funkcióval rendelkező, esetleg hőkameraként is funkcionáló optikával rendelkezik;
- akkumulátora könnyen cserélhető, vagy kellően nagy kapacitású, mely lehetővé teszi a hosszú repülési időt.

Természetesen a drónok megválasztását az elvégzendő feladat körülményei, követelményei határozzák meg. Bizonyos bonyolult esetekben a fenti követelmények kibővülhetnek. Egy esetleges missziós szerepvállalás során jogos igényként merülhet fel a védett frekvenciatartomány, a csökkentett karbantartásigény, fokozottabb időjárásállóság, vagy akár a moduláris platform is. A fentieknek megfelelő technikai eszközök hordozására már egy nagyobb méretű eszköz képes, melynek ára is költségesebb a kisebb társaikhoz viszonyítva. [7]

Emellett a polgári felhasználású mini drónok alkalmazásának is megvan a létjogosultsága ezen a területen. Az Amerikai Egyesült Államok a közelmúltban több ezer mini drónt szerzett be haderejének technikai fejlesztése során. [7] A harctéren történő alkalmazása mindenképpen logikus lépés lehet, hiszen légvédelmi szempontból komoly fenyegetést hordoz magában. Egy drón képes magával vinni megfelelő mennyiségű robbanószert, mellyel komoly pusztításra képes egy stratégiai szempontból fontos objektumban, ezzel komoly fenyegetést képvisel. A légvédelmi rakéták ára viszont sokszorosa egy ilyen eszköznek, ezért felmerülhet a kétség a harctéren történő gazdaságos elhárításukkal kapcsolatban.

3.3 Szerverek a polgári repülésben – Airbus A350

A mai modern repülőgépek korszerű repüléssegítő rendszereinek támogatását és sok esetben a repülőgép alapvető rendszereinek támogatását is számítógépek végzik. Az avionika szolgálja ki a villamosenergia-ellátást, világítást, hírközlő és navigációs eszközöket, a hajtóműveket, repülésvezérlést, vagy akár a futómű villamos vezérlő és jelzőrendszerét [8]. Ezen rendszerek működése során nem megengedhető a szoftveres hibák felmerülése, ami bizonytalanságot, rosszabb esetben szerencsétlenséget okozna. Ennek megfelelően a rendszereket nagyon szigorú teszteknek vetik alá, a minőségbiztosítási eljárások is a legmagasabb minőségi követelményeket kell, hogy biztosítsák [9]. Az eszközök redundanciájára is nagy hangsúlyt kell fektetni, mint minden kritikus rendszerben [10]. De hol is helyezkedhetnek el ezek az eszközök egy repülőgépen?

Björn Lundström, a Scandinavian Airlines (SAS) pilótája által megismerkedhetünk a repülőgépek egy másik oldalával is. Interneten közzétett videójában látható, hogy egy korszerű Airbus A350 repülőgépen egy saját szerverterem van kialakítva az információtechnológiai eszközök számára.

3.4 Szerverek a katonai repülésben - F35 Lightning II.

A fentiekben láthattuk, hogy egy modern repülőgép mennyire függ az információs technológiai eszközöktől. Nincs ez másképp a légi hadviselésben megtalálható eszközök esetében sem. A modern harci repülőgépek is fel vannak vértezve számítógépekkel.

Az F35 Lightning II fejlesztése során avionikai szempontból más elveket követtek a korábbiaknál (mint akár az F22-nél) [11]. A vadászgép központi eleme az Integrated Core Processor (ICP), melyet – költségcsökkentési okokból fakadóan és a fejlesztés felgyorsítása érdekében – a kereskedelemben kapható alkatrészekből állították elő [12]. A számítógép egy MIL STD 1394B szabványú adatbuszon keresztül csatlakozik a gép többi részéhez [13].

3.5 A felhő technológia alkalmazása a hadseregben

A modern hadviselés egyre nagyobb mértékben támaszkodik a technológiai fejlesztésekre, amelyek célja a harctéri hatékonyság növelése, a kommunikáció fejlesztése és a gyorsabb, megalapozottabb döntéshozatal támogatása. Az egyik legjelentősebb technológiai áttörés a felhő alapú számítástechnika elterjedése, amely lehetővé teszi az azonnali adatmegosztást, a központi irányítás erősítését és a rugalmas biztonsági protokollok kialakítását [14].

A felhő alapú infrastruktúra előnyei kiemelkedően fontosak a hadseregek számára, különösen a nagy adatforgalmat igénylő műveletek során. A katonai döntéshozók valós idejű adatokhoz férhetnek hozzá, amelyek révén gyors és hatékony stratégiai és taktikai lépéseket tehetnek. Az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma például már több mint egy évtizede dolgozik azon, hogy a felhő technológiát integrálja a katonai műveletekbe. Ennek eredményeképpen létrejött a cARMY nevű infrastruktúra, amely biztosítja az adatkommunikációt, a katonai eszközök hálózatba kapcsolását, valamint az érzékelő rendszerekből származó adatok feldolgozását. Ezáltal a harctéri parancsnokok tiszta, digitális képet kapnak a harctérről, amely segíti őket a gyors döntéshozatalban [15].

A felhő technológia bevezetését számos tényező indokolja. Elsősorban a fokozott információbiztonság, amely csökkenti a kibertámadások kockázatát és lehetővé teszi a minősített és szolgálati érdekű adatok biztonságos tárolását. Ezen kívül a gyorsabb és rugalmasabb adattárolás, amely segít a harctéri és logisztikai műveletek optimalizálásában. A globális adatcsere szintén kiemelt szerepet kap, hiszen a modern hadviselésben a különböző haderőnemek közötti együttműködés elengedhetetlen. A felhő alapú megoldások révén a katonai vezetés hatékonyabban oszthat meg információkat a különböző egységek és szövetségesek között, ami javítja az interoperabilitást és a stratégiai koordinációt.

A mesterséges intelligencia és az adatelemzés integrálása szintén kulcsfontosságú szerepet játszik a hadsereg felhő alapú infrastruktúrájában. A gépi tanulás és a prediktív analitika segíthet az ellenséges mozgások előrejelzésében, a konstruktív szimulációban, a harctéri környezet valós idejű elemzésében, a valós szimulációban és az automatikus döntéshozatal támogatásában, azaz a wargamingban. Ezzel együtt a távoli kommunikáció és az autonóm rendszerek, például drónok és önjáró járművek hálózatba kapcsolása is növeli a katonai műveletek hatékonyságát [16].

A felhő technológia fontosságára az orosz-ukrán háború is rávilágított. Az ukrán védelmi rendszerek nagymértékben támaszkodtak a felhő alapú megoldásokra az adatok védelme és a központi irányítás fenntartása érdekében. Ugyanakkor a kiberbűnöző és államilag támogatott hackercsoportok is egyre nagyobb mértékben használják a felhőszolgáltatásokat támadásaik végrehajtására. Az ukrán infrastruktúra elleni kiberhadviselés során számos támadás a felhő alapú rendszerek sebezhetőségeit próbálta kihasználni, rávilágítva arra, hogy a felhő biztonságának folyamatos fejlesztése elengedhetetlen [17].

Összegzésként elmondható, hogy a felhő technológia forradalmasítja a katonai műveleteket. A

gyorsabb és biztonságosabb adatkezelés, a fejlett operatív koordináció és a megnövekedett stratégiai rugalmasság révén a hadseregek hatékonyabban működhetnek. Ugyanakkor a kiberbiztonsági kihívások is egyre nagyobb szerepet kapnak, ezért a védelmi szektor számára elengedhetetlen a folyamatos fejlesztés és az adaptív biztonsági stratégiák kidolgozása. A jövő hadviselése egyre inkább a felhő alapú technológiákra épül majd, amely jelentős előnyöket biztosít mind a harctéri műveletek, mind a katonai logisztika és stratégiai döntéshozatal terén.

4. Konklúzió

A tanulmány arra világít rá, hogy a polgári szektorban kifejlesztett technológiai újítások egyre nagyobb hatással vannak a katonai alkalmazások fejlődésére. Az információs eszközök új generációja lehetőséget ad arra, hogy a katonai műveletek hatékonysága és sebessége radikálisan javuljon. Az adatalapú döntéshozatal, a mesterséges intelligencia és az autonóm rendszerek alkalmazása új megközelítéseket tesz lehetővé a hadviselésben, amely precízebbé és gyorsabbá válik. A polgári innovációk nemcsak a katonai, hanem a polgári szférában is jelentős hatással bírnak, különösen az ipari és gazdasági szektorokban, amelyek közvetlenül profitálnak a fejlesztésekből.

A tanulmány bemutatja, hogy a polgári alapú innovációk, például az információs technológia és az automatizálás terén elért áttörések hogyan épülnek be a katonai stratégiákba. Az autonóm járművek, drónok és kibervédelmi eszközök mind olyan területek, ahol a polgári és katonai szektorok közötti szinergia új lehetőségeket kínál. Az új technológiai eszközök alkalmazása egyre inkább elengedhetetlenné válik a biztonság és a hadviselés modernizálása érdekében.

Összességében elmondható, hogy a polgári és katonai szektorok közötti határvonalak egyre inkább elmosódnak, és az információs eszközök fejlődése mindkét területen előnyöket biztosít. A jövőben várható, hogy a polgári alapú innovációk és a modern technológia elősegítik a globális stabilitást, a társadalmi jólétet és a gazdasági fejlődést.

5. Hivatkozások

[1] Department of Defense Test Method Standard: Environmental engineering considerations and laboratory tests (MIL-STD-810H w/Change 1). Online: https://quicksearch.dla.mil/Transient/9A0C9C50C1244F8585891223AF374844.pdf

[2] Doherty, R. A., Sorenson, P. (2015) Keeping users in the flow: Mapping system responsiveness with user experience, Procedia Manufacturing 3 4384 – 4391

[3] Jaber, H., Kónya, J., Kovács, T. A. (2021) Selective Laser Melting of Ti6Al4V-2%Hydroxyapatite Composites: Manufacturing Behavior and Microstructure Evolution. Metals. 2021; 11(8):1295. https://doi.org/10.3390/met11081295

[4] Shbanah, M., Kovács, T. A. (2022) The Effects of Electromagnetic Waves on Human Health. In: Kovács, T.A., Nyikes, Z., Fürstner, I. (eds) Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht., https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_14

[5] Raspberry PI hivatalos weboldal. Online: https://www.raspberrypi.com/about/ Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC. Physics Letters B, 716(1), 1-29.

[6] Kónya, J., Hargitai, H., Jaber, H., Pinke, P., Kovács. T. A. (2023) Effect of Surface Modifications on Surface Roughness of Ti6Al4V Alloy Manufactured by 3D Printing, Casting, and Wrought. Materials. 16(11):3989. https://doi.org/10.3390/ma16113989

[7] Daruka, N. (2013) Quadrocopter as a potential reconnaissance tool, or the flying octopus is back. Aeronautical Science Publications Online Journal XXV, Vol. XXV, 2013/2, 2013, EN ISSN 1789-770X

[8] Daruka N., Szalkai, L. (2022) The dangers of unmanned aircraft systems. Blasting and drilling international simposium 2022, Velence, Hungary, pp.: 247-257., ISBN 978–615–01–6009–2.

[9] Kovács, T. A., Pinke, P., Bitay, E. (2018) Experimental Study of the Technology Parameters Affect in the Laser Welded Joints, Published under licence by IOP Publishing Ltd, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 613, 5th International Conference on Competitive Materials and Technology Processes 8–12 October 2018, Miskolc-Lillafüred, Hungary, DOI 10.1088/1757-899X/613/1/012038

[10] Kertész, J., Kovács, T.A. (2023) Effect of the Radial Constrain for the Impact Energy-Absorbing Behaviour of the Closed-Cell Metal Foam. In: Jármai, K., Cservenák, Á. (eds) Vehicle and Automotive Engineering 4. VAE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham., https://doi.org/10.1007/978-3-031-15211-5_12

[11] Wilson J. R. F-22 avionics designers rely on obsolescent electronics, but plan for future upgrades Online: https://www.militaryaerospace.com/computers/article/16710716/f22-avionics-designers-rely-on-obsolescent-electronics-but-plan-for-future-upgrades, o.n.

[12] Lynx Software Technologies: LYNX MOSA.IC™ SELECTED FOR F-35 LIGHTNING II MISSION SYSTEM AVIONICS. Online: https://www.lynx.com/press-releases/lynx-mosa.ictm-selected-for-f-35-lightning-ii-mission-system-avionics.

[13] Goebel, G. Lockheed Martin F-35 Lightning II. Online: http://www.airvectors.net/avf35.html.

[14] Lebeda, F. J., Zalatoris, J. J., & Scheerer, J. B. (2018). Government cloud computing policies: Potential opportunities for advancing military biomedical research. Military medicine, *183*(11-12), e438-e447.

[15] Ţigănuş, D. (2023). Cloud Technologies and the Need for Hybrid Cloud Implementation in the Military Environment. Romanian Military Thinking, (2), 46-59.

[16] Boaru, G., & Iorga, B. (2014, September). Cloud Technology-The Evolution of Military Networking. In “International Scientific Conference" Strategies XXI" (Vol. 3, p. 37). " Carol I" National Defence University.

[17] Zaerens, K. (2011, December). Enabling the benefits of cloud computing in a military context. In 2011 IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference (pp. 166-173). IEEE.

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

A magyar légierő Héja vadászrepülőgépei a doni fronton

Héja Fighter Planes of the Hungarian Air Force on the Don Front

[1]Olasz Lajos

[1]Szegedi Tudományegyetem, Juhász Gyula Pedagógusképző Kar – Magyar Hadtudományi Társaság Szegedi Tagozat – Szeged, Magyarország
olasz.lajos55@gmail.com

Összefoglalás

A doni frontra kivezényelt magyar vadászrepülők olasz Re–2000 Héja gépekkel voltak felszerelve. A típusnál számos tervezési és gyártási probléma jelentkezett. A nehezen vezethető, (bepördülésre hajlamos) gép rossz üzemanyagrendszerrel, gyenge fegyverzettel és gyenge futóművel volt felszerelve. A pilótaülés páncélozása még rosszabbá tette a gép repülési tulajdonságait. A doni frontra 23 Héja érkezett, de nagy részük állandó javításra szorult, egyszerre csak 10 gép volt bevethető állapotban. Héja géppel zuhant le augusztus 20-án Horthy István kormányzóhelyettes. A Héják mérlege így is pozitív volt: 18 légigyőzelem mellett 9 repülőgép veszteség (6 harcban és 3 balesetben). Az 1943. januári szovjet áttörés után azonban 9 további üzemképtelen gépet a saját személyzet felrobbantott.

Kulcsszavak: magyar légierő, Héja vadászrepülőgép, a 2. hadsereg a Donnál. légiharcok a keleti fronton

Abstract

The Hungarian fighters deployed to the Don Front were equipped with Italian Re–2000 Héja aircraft. The type presented numerous design and manufacturing problems. The aircraft, which was difficult to control (prone to stall and spin) had a poor fuel system, weak armament, and weak landing gear. The armouring of the pilot's seat made the plane's flight characteristics even worse. 23 Héja arrived at the Don front, but most of them needed constant repairs, only 10 machines could be used at a time. Vice-regent István Horthy crashed with Héja plane on August 20th. Combat record of the Héjas was still positive:18 aerial victories with 9 aircraft losses (6 in combat and 3 in accidents). However, after the Soviet breakthrough in January 1943, 9 more inoperable planes were blown up by the own crew.

Keywords: Hungarian Air Force, Héja fighter aircraft, 2nd Army at the Don, air battles on the Eastern Front

1. Re–2000 Héja vadászrepülőgép a magyar légierő szolgálatában

A második világháború kirobbanásának időszakában az alig egy éve nyílt fejlesztés alatt álló magyar légierő krónikus repülőgép-hiánnyal küzdött. Nyugat-európai gépbeszerzéssel nem lehetett számolni. Németország sem adott el Magyarországnak korszerű haditechnikát, részben a Luftwaffe megnövekedett igénye miatt, részben, mert Berlin elégedetlen volt a háborús együttműködés terén tartózkodó magatartást tanúsító magyar kormánnyal. Így maradt az olaszországi repülőgépvásárlás.

Az olaszok számos típust kínáltak eladásra, és felajánlottak 1939-ben 300 millió lírás, majd 1940 nyarán újabb 300 milliós hadianyag-beszerzési hitelkeretet (4%-os kamattal, 20 éves törlesztésre). Ennek a 76%-át (457 293 907 líra) repülőgép-importra használta fel Magyarország. A vadászrepülő egységek felszereléséhez a Reggiane Re–2000 típust választotta a Honvédelmi Minisztérium (HM). A gép az amerikai Seversky P–35 alapján, korszerű elvek szerint épült, tiszta fémhéjszerkezettel, zárt kabinnal, behúzható futóművel. Közel 1000 LE-s csillagmotorja 5000 m-en 530 km/h sebességre volt képes. A prototípus 1939. május 24-én repült. A Re–2000 modernebb konstrukció volt minden, korábban a magyar légierő által használt típusnál, és felülmúlta a vele párhuzamosan fejlesztett többi olasz vadászgépet (Macchi C–200, Fiat G–50) is. Az olasz légierő még kiforratlannak tartotta, ezért nem kötött le belőle nagyobb szériát. Ez lehetővé tette a külföldi megrendelések gyors teljesítését, ami Magyarország számára is lényeges szempont volt [1, 2].

A Re–2000 gépek megvásárlásáról rekord gyorsasággal döntött a magyar kormány. Az Olaszországba kiutazó szakmai bizottság 1939. december 16-án készítette el a jelentését, melyben a típust alkalmasnak ítélte a hazai rendszeresítésre. A Legfelső Honvédelmi Tanács december 19-én jóváhagyta 70 gép beszerzését. December 22-re elkészült a szerződés tervezete és december 27-én már alá is írták a megállapodást. Magyarország egyúttal megvásárolta a Re–2000 sárkányának licencgyártási jogát is, amit később magyar motorral és fegyverzettel kívánt felszerelni. Az új vadászgép a M. Kir. Honvéd Légierőben a Héja típusnevet kapta. A Héja gépek leszállítása azonban az olasz ígéretek ellenére elhúzódott. Az eredeti határidő 1940. július 31. volt, a sorozatgyártás viszont 1940. április közepéig nyersanyaghiány miatt még meg sem kezdődött. Az első gép 1940. május 21-én érkezett meg, és az év végéig csak 6 további Héja került Magyarországra. Ennek az alapanyaghiány mellett az volt az oka, hogy az olasz légierő lefoglalt 12 gépet a magyar szériából és póttartályok felszerelésével távolsági vadászgépként alkalmazta, illetve 2 géppel különböző kísérleteket végzett (hajófedélzeti katapult-indítás), valamint további két Héját mintagépként Svédországnak adtak át, majd a magyar gyártással párhuzamosan megkezdték a 60 db-os svéd megrendelés kiszolgálását is. 1941. június 21-ig csak 48 gép érkezett Magyarországra, az év hátralévő részében további 10. A 69. Héját 1942. augusztus 5-én, a 70. gépet pedig csak 1943. május 29-én szállították le [3, 4, 5].

1. ábra Az 1940 májusában érkezett első Héja (V.401)

2. ábra Egy 1941 májusában leszállított Héja (V.465)

A típus magyarországi alkalmazása során a konstrukció kiforratlansága, az alkalmazott gyenge minőségű alapanyagok és az alacsony színvonalú kivitelezés következtében számos probléma jelentkezett. Nem volt megfelelő a gázrudazat kialakítása, ami miatt 1941. június 4-én a leszállásnál egy gép balesetet szenvedett és elégett. A berendezés kicseréléséhez német alkatrészekre volt szükség, amelyeket csak hosszabb idő után sikerült beszerezni. A szárnyközépben elhelyezett nagy üzemanyagtartályokból a gyenge minőségű, gyorsan öregedő és zsugorodó tömítőanyag használata miatt szinte folyamatosan szivárgott, csepegett a benzin, ami különösen kényszerleszálláskor

tűzveszélyt okozott, és több gép kigyulladásához vezetett. A szivárgást csak folyamatos ellenőrzéssel és bonyolult javítási procedúrával lehetett kézben tartani, amire tábori körülmények között nem mindig nyílt lehetőség. Az üzemanyagellátó rendszer gyakran meghibásodott, repülés közben csökkent a benzinnyomás, ami a teljesítmény visszaesésével járt. Ilyenkor a pilótának a kéziszivattyú működtetésével kellett helyreállítania a nyomást, ami harci helyzetben komoly nehézséget jelentett [6].

Nagyobb igénybevételnél az olaj gyakran túlmelegedett, több alkalommal porlasztótűz keletkezett. A légcsavar elektromos állítómechanizmusa megbízhatatlanul működött. Esetenként túlpörgött, vagy a lapátok nagy szögállásban blokkolódtak, amely lehetetlenné tette a siklórepülést vagy a zuhanást. Az erős motorhoz és a nagy tömeghez képest nem volt elég masszív a futómű. A behúzható főfutók merevítői sok esetben deformálódtak, a futómű nem nyílt ki teljesen, ami leszállásnál, főként tábori reptereken megnövelte az átvágódás esélyét. Ez volt ez egyik leggyakoribb baleseti ok. Nagyobb igénybevételnél, a gyenge alapanyagok és a pontatlan illesztések miatt a gépek szárnyborítása felgyüremkedett, illetve a héjszerkezet szegecselése felszakadt. Több probléma akadt a műszerekkel, az üzemanyag jelzővel és az iránytűvel, ami téves navigációhoz vezetett [7,8].

Gyenge volt a gépek fegyverzete. A 2 db 12,7 mm-es közepes tűzgyorsaságú (300 lövés/perc) Breda-SAFAT nehézgéppuska az 1930-as években még hatékony fegyvernek számított a vászonborítású repülőgépek ellen, az 1940-es évek elejének fémépítésű, esetenként páncélozott konstrukcióival szemben azonban elégtelennek bizonyult. Az angol, amerikai, német vagy szovjet vadászgépeknél a géppuskák számának növelésével (6–8 gpu.) vagy gépágyú(k) beszerelésével biztosítottak nagyobb tűzerőt. Számos esetben meghibásodott a Breda fegyverek elektromos vezérlőberendezése, előfordult, hogy a géppuska átlőtte a saját légcsavart. A rosszul kialakított, szűk hüvelykidobó torok hajlamos volt eldugulni. Hosszú sorozatoknál, tartós tüzelés esetén a fegyver gyakran elakadt. A leszállított gépeken a fegyverek nem voltak beállítva és belőve, ezt utólag kellett elvégezni. A Héják beépített rádió adóvevő nélkül érkeztek, mert a HM az egységesítés érdekében sajátfejlesztésű R.13 készülékeket kívánt beszereltetni. Az adóvevő és a szükséges áramátalakító (a Héja elektromos rendszere 24 V, a rádió 12 V) azonban nagy méretei miatt csak nehezen fért el, beépítésük hosszabb időt igénylő, bonyolult feladatnak bizonyult, amihez a géptörzs szerkezetét is meg kellett bontani. Az első rádióval felszerelt Héja 1941. július 7-én szállt fel. 1942 nyaráig csak a század- és rajparancsnoki gépekbe építettek be adóvevőt [3, 9].

A Héja repülőtulajdonságai 320 km/h alatti sebességnél jelentős mértékben romlottak. A gép instabillá, nehezen kormányozhatóvá vált és sok esetben motorrázás jelentkezett. A típus legnagyobb hibája az volt, hogy az erős motor és az erőteljes légcsavar keltette nagy giroszkópikus hatást a gép viszonylag kicsi kormányfelületei nem tudták kellően ellensúlyozni – szűk fordulóban, alacsonyabb sebességnél a Héja hajlamos volt a dugóhúzóba esésre. Ilyen helyzetben a pilóták csak 4–500 m magasságvesztés árán tudták stabilizálni a gépet. A típussal kapcsolatban felmerülő technikai és gyártási hibák kivizsgálására 1940 júniusában olasz–magyar műszaki vegyesbizottságot állítottak fel. A bizottság jelentését június 26-án külön értekezleten tárgyalta meg a légügyi vezetés, hogy a gépek mielőbb a csapatokhoz kerüljenek. A légierő vezetése 1941-ben egy kézikönyvet állíttatott össze a pilóták számára, melyben felhívták a figyelmet a leggyakoribb problémákra és az azokkal kapcsolatos eljárásra. A pilóták ismétlődő kritikái miatt, 1942 tavaszán a Repülő Kísérleti Intézet képviselői, Dóczy Lóránd hadiműszaki törzskari százados vezetésével újra megvizsgálták a Héják műszaki állapotát és repülőtulajdonságait, és megfelelőnek ítélték a típust a fronton való alkalmazásra [5, 8].

Külön problémát jelentett az üléspáncélzat kérdése. A Magyarországnak gyártott Héjáknál a pilóta hátát és fejét védő páncélzat nem volt szériatartozék. Az első harci alkalmazás (1941. augusztus–szeptember) után azonban világossá vált, hogy szükség van a páncéllemezek beépítésére.

A típus továbbfejlesztett változatához (Re-2001), már megindult Olaszországban egy kiváló, 8 mm-es (72 kg tömegű) üléspáncél gyártása, amely az alaptípusba is könnyen beépíthető volt. A légierő vezetése 1941 októberében tájékozódott az olasz szállítás lehetőségéről, anyagi megfontolásokból azonban, mivel a magyar repülők frontszereplése éppen befejeződött, nem adott megrendelést. 1942 tavaszán, amikor a német nyomásra döntés született, hogy a frontra kerülő 2 hadsereg állományában Héja gépeket is a hadszíntérre vezényelnek. Ezért 1942 májusában a HM megrendelt a hazai WM gyárban 40 üléspáncélt (15 mm, 94 kg). A tervezés és kivitelés különböző okok miatt elhúzódott, ezért a minisztérium júniusban 75 üléspáncélt rendelt Olaszországból 25 db-nál július 15-i, a további 30 db-nál augusztus 15-i szállítási határidővel. Mivel azonban egyre sürgetőbbé vált a magyar vadászok frontra küldése, a csepeli WM gyárban ideiglenes megoldásként a Turán harckocsi számára készült páncéllemezből vágtak ki megfelelő méretű darabokat és ezeket szerelték a gépekbe. Ez a 25 mm-es páncélzat azonban egyes mérések szerint 149 kg-ot nyomott [3, 4].

Egyelőre a 26 frontra szánt gépbe és 12 tartalékgépbe építettek páncélt. Bár az olasz megrendelés első 25 darabját másfél hónapos késéssel, augusztus végére leszállították, a várható magyar fejlesztésre tekintettel a HM törölte az olaszországi vásárlást. A beszerelt páncél okozta jelentős túlsúly megváltoztatta a gépek súlypontját, rontotta a repülési tulajdonságokat, a stabilitást és a manőverezési képességet. Vízszintes repülés során a Héja előre-hátra imbolygott („bólogatott”), az alacsony sebességgel végrehajtott fordulónál pedig tovább nőtt a dugóhúzóba esési hajlam. Csökkent a gép teljesítménye, a maximális sebesség 480–485 km/h-ra esett vissza. Ráadásul az üléspáncélzat beszerelésére június második felében került sor, így a frontra induló pilóták itthon csak néhány felszállást végezhettek a megváltozott repülőtulajdonságú gépekkel [10, 11].

A vadászrepülő századoknál a Héját, korszerű kialakítása és viszonylag nagy teljesítménye ellenére nehezen kezelhető (rosszindulatú) és nagy karbantartási igényű (kényes) gépnek tartották. A típus első harci alkalmazására a Szovjetunió elleni hadba lépést követően 1941. augusztus 7. és október 19. között került sor. Gyenes László százados vezetésével 7 Héját vezényeltek ki a hadműveleti területre. A gépek fölényben voltak a szovjet repülőkkel (I–16) szemben, és 1 saját veszteség mellett 3 ellenséges gépet megsemmisítettek. A típus műszaki kiszolgálása azonban komoly erőfeszítést igényelt. A hazatérés során pedig 2 Héja lezuhant, a pilóták életüket vesztették. Balesetek tarkították a Héják hazai repüléseit is. 1942 nyarán 3 gép semmisült meg, két pilóta meghalt. Közülük két gép pusztulásában valószínűleg szerepe volt az üléspáncél okozta túlsúlynak is [9, 12].

2. Héja gépek a Donnál, 1942 nyarán és Horthy István frontszolgálata

1942 tavaszán a 2. hadsereg légi támogatására egy ideiglenes légi alakulatot állítottak fel, az 1. repülőcsoportot, melynek vezetését András Sándor vk. alezredes látta el. Az egység 1-1 távol- és közelfelderítő századból, 1 megerősített bombázó századból és 2 vadászrepülő századból állt. A magyar légierő ekkor csak 2 harci vadászszázaddal rendelkezett (5/1–2. szd.), melyekre az ország légi védelméhez volt szükség. Ezért a szolnoki 1. és a kolozsvári 2. vadászgyakorló osztály 1-1 századát jelölték ki a frontszolgálatra. Ezek összevonásával létrehozták az 1. vadászrepülő osztályt, melynek parancsnoki posztjára Csukás Kálmán vk. őrnagy került. Az 1/1. századot Szabó Mátyás, a 2/1. Keresztes Béla százados vezette. A frontra kijelölt egységek pilótái 1942 tavaszától Héja átképzést folytattak. A gépek üzemeltetésének biztosítására szintén a frontra vezényelték az 1/1. és a 2/1. vadászrepülő üzemi századot (Kiss Zoltán és Prónavölgyi István százados) [13].

3. ábra A szolnoki 1. vadászrepülő-osztály Héja gépei (1942. május)

A tervek szerint az 1. vadászosztály első részlege június közepén érkezett volna a hadműveleti területre, de különböző okok, köztük az üléspáncélzat elhúzódó beszerelése késleltette az indulást. Az első kötelék (12 Héja, 3 futárgép) július 2-án érkezett meg, a Debrecen–Kolomija–Kijev–Konotop közbülső leszállásokkal. A Kolomiján történő landoláskor Irányi Pál főhadnagy gépe átvágódott és összetört. Két Héja kisebb javítások miatt egy napot Kijevben töltött. A kötelék (11 Héja) július 3-án rendezkedett be a paninoi hadireptéren (Kurksz D, 25 km). Az érkezéskor Rőmer József zászlós gépe a futómű becsuklása miatt hasra szállt és megrongálódott. Július 4-én a vadászok tájékozódó repüléseket végeztek, majd a következő naptól már harci bevetéseket hajtottak végre: légtérbiztosítást folytattak és közelfelderítő gépeket oltalmaztak, július 6-án, 8-án és 10-én pedig bombázókat kísértek. 1942. július 10-én a 2. hadsereg kijutott a Don folyóhoz. Az 1. vadászosztály gépei július 10-én áttelepültek Tyim közelébe, a szlaszovajai reptérre. Ennek rendkívül rossz volt a talaja, így a leszállások során több gép is megsérült. Július 14-én az osztály megkezdte az átköltözést a Sztarij Oszkol melletti Uglira. Ezen a napon 11 Héjából csak 6 gép volt üzemképes. Július 17-én egy korábban megrongálódott gépet repült vissza a javítás után Rőmer zászlós Uglira, a leszállásnál azonban átvágódott és a gép 25%-os törést szenvedett [9, 14].

Július 18-án magyar támadás indult az urivi szovjet hídfő felszámolására. A Héják előbb 4 tüzérhelyesbítő közelfelderítőket biztosítottak 1-1 géppárral, majd bombázókat kísértek és alacsonytámadásokat hajtottak végre. Csukás őrnagy gépe a folyón átkelő szovjet pontonok támadása közben találatot kapott és saját területen kényszerleszállást végzett. Július 27-én újabb támadás indult az urivi hídfő elfoglalására. A következő 3 nap során napi 3–4 közelfelderítő bevetésre került sor, melyeket Héja géppárok biztosítottak. Július 29-én megérkezett Sztarij Oszkolba Szabó százados vezetésével az 1. vadászosztály második részlege (11 Héja, 3 futárgép). A kötelék egyik gépe motorhiba miatt még magyar terület felett visszafordult, egy másik gép a leszállásnál átvágódott és megrongálódott. Az erősítésre nagy szükség volt, mert naponta csak 5–6 Héja volt üzemképes. Augusztus 3-án a 2/1. vadászszázad előre települt az ilovszkojei reptérre, 5-én megérkezett oda az 1/1. vadászszázad is [15, 16].

Augusztus 6-án nagyarányú szovjet átkelési művelet kezdődött a 2. hadsereg szakaszán, és megélénkült a szovjet légitevékenység is. A következő napok során Héják nagyszámú bevetést hajtottak végre, a magyar csapatok légterét védték, bombázókat kísértek, közelfelderítőket biztosítottak, illetve szabad vadászatot folytattak. Ekkor került sor az első légiharcokra. A nagy

igénybevétel miatt azonban a vadászgépek többségét folyamatosan javítani kellett, augusztus 6-án összesen csak 10 gép, 7-én és 8-án 6-6 gép, 9-én 11 gép volt bevethető. A helyzet a későbbiekben sem javult, 15-én ugyan 15 Héja volt repülésre alkalmas, 18-án azonban ismét csak 10 gép. Augusztus 6-án a Héják 3, 9-én 4 légigyőzelmet arattak, majd 10-én egy újabbat. A harcok azonban veszteségekkel is jártak. Augusztus 7-én egy légiharc után Péterffy Andor hdp. őrmester gépének szárnya levált, a Héja lezuhant, a pilóta életét vesztette. Augusztus 9-én Takács László hadnagy gépe légiharcban megrongálódott, a pilóta súlyosan megsebesült, de sikerült saját területen kényszerleszállást végrehajtania. Augusztus 11-én Gémes Kálmán őrmester gépét lelőtte a szovjet légvédelem, a pilóta ejtőernyővel kiugrott és hadifogságba esett. Augusztus 20-án Baltai István szakaszvezető légiharcban megrongált géppel kényszerleszállást kísérelt meg, de a Héja összetört és a pilóta életét vesztette. Ezen a napon zuhant le Horthy István kormányzóhelyettes is [12, 17].

4. ábra Horthy István Héja gépe (V.421) a „Dongó” századjelvénnyel az oldalán

Horthy István t. főhadnagy a mátyásföldi 5/I. vadászosztály állományába tartozott. Amikor azonban megtudta, hogy a szolnoki 1. vadászosztályt küldik ki a Donhoz, kérte az átvezénylését, mert nem akarta kivonni magát a frontszolgálat alól. Május 1-jén vonult be Szolnokra Héja átképzésre. Az általa repült V.421-es gép páncélozása igen későn, csak június 25-re készült el, így nem tudott vele sokat gyakorolni. Az osztály első részlegével, július 2-án érkezett a frontra. Július 10-én a szlaszovajai áttelepüléskor a landolásnál a gépe átvágódott. Horthy nem sérült meg, a gép azonban hosszabb javításra szorult, csak július 18-án került ismét bevetésre. Augusztus 6-án kora reggel Horthy és kísérője, Nemeslaki Zoltán őrmester egy közelfelderítő gépet biztosított, majd szabad vadászatot folytatott. Anoskino–Davidovka térségében észrevettek egy 36 db Il-2 csatarepülőből és Lagg-3 vadászgépből álló szovjet köteléket. Horthy megtámadta az alakzat végén repülő vadászgépet, amely füstölve zuhanni kezdett. A két magyar gépre több szovjet vadász is tüzet nyitott, alig tudtak elmenekülni. Mindkét Héját 3-3 találat érte. Nemeslaki életét csak az üléspáncél mentette meg. Bár a Horthy által támadott gép földbe csapódását a magyar pilóták nem látták, az 1. repülőcsoport vezetése igazoltnak tekintette Horthy légigyőzelmét és kitüntetésre terjesztette fel. A repülőcsoport jelentése nyomán a hadseregparancsnokság augusztus 18-án megküldte a HM részére a kitüntetési javaslatot (Magyar Érdemrend lovagkeresztje hadiszalagon a kardokkal) [8, 18].

Augusztus 9-én Davidovka felett a Horthy–Nemeslaki géppár újabb légiharcot vívott 6 szovjet vadászgéppel. A Héják ezúttal is találatokat kaptak, de mindketten vissza tudtak térni. Augusztus 12-től Horthy nem repült, egy hasfájással, heveny lázzal járó betegség ment keresztül rajta, amit a magyar csapatok körében csak „ukrainka” néven emlegettek. Augusztus 14-én megtudta, hogy felesége önkéntes ápolónőként Kijevbe érkezik, és engedélyt kért a meglátogatására. Augusztus 15-

én maga vezette Ar–96 futárgéppel Kijevbe repült, ahonnan 18-án tért vissza. Közben Kállay Miklós miniszterelnök, értesülve az augusztus 6-i légiharcról, 11-én minisztertanácsi határozattal elrendelte a kormányzóhelyettes csapatszolgálatának beszüntetését, és utasítást adott, hogy a Horthy István néhány alakulat meglátogatása után térjen haza. Augusztus 19-én Horthy engedélyt kért a 2. hadsereg parancsnokától, Jány Gusztáv vezérezredestől még egy bevetésre, a 25.-re, amit Jány jóváhagyott [9, 19].

Augusztus 20-án 4.55-kor 4 Héja szállt fel 2 közelfelderítő gép biztosítására. A Horthy–Nemeslaki géppár indult másodikként. A felderítők repteréhez érve Horthy csökkentette a sebességet, és szűkített fordulóba kezdett, hogy be tudjon sorolni a lassú közelfelderítő gép mögé. A túl szűk fordulóban azonban a Héja dugóhúzóba esett. A szemtanúk szerint néhány fordulat után a pilóta visszanyerte az uralmát a gép felett és megpróbálta felhúzni Héját, de már nem volt elég magassága ahhoz, hogy a földnek ütközést elkerülhesse, és egy kisebb dombvonulat oldalába csapódott. A pilóta azonnal meghalt, a gép kiégett. Horthy István I. a. (kiválóan hadra fogható) pilóta-minősítéssel rendelkezett. Repült ideje 345 óra 27 perc volt (ebből 1942-ben 109 óra 35 perc). Héjával azonban csak 75 óra 15 percet repült. A hadműveleti területen 58 óra 40 percet töltött a levegőben, 39 felszállást, közte 25 harci bevetést hajtott végre. A V.421 számú gépen augusztus 18-án átfogó karbantartást hajtottak végre, a Héja jó műszaki állapotban volt. A baleset okait előbb az 1. vadászosztály bizottsága (Keresztes Béla százados), majd az 1. repülőcsoporttól kiküldött központi testület (Keksz Edgár alezredes.) vizsgálta. Mindkét bizottság hasonló következtetésre jutott, hogy az esemény részben a Héja rossz repülési tulajdonságai (alacsony sebességnél dugóhúzóba esési hajlam), részben a pilóta téves helyzetmegítélése (túlszűkített forduló) miatt következett be [20].

A kormányzóhelyettes lezuhanásában jelentős szerepet játszott maga a kiadott harci feladat is. A bombázók és a közelfelderítők gyakran kritizálták a vadászokat, hogy nem kísérik őket közvetlen közelről, hogy már a jelenlétükkel is elriasszák a szovjet vadászokat. Héják azonban nehezen tudtak a náluk jóval kisebb sebességű gépek közelében repülni. A maximum 320–340 km/h sebességre képes He-46E közelfelderítők közvetlen kísérése már komoly stabilitási problémákat okozott a vadászgépeknél. Horthy azonban utolsó bevetésén megpróbálta pontosan teljesíteni a tőle elvártakat, és a szűk forduló során 320 km/h-ra csökkentette a sebességét, hogy a 300 m magasságban várakozó felderítő mögé sorolhasson. Az alacsony sebesség azonban dugóhúzóba esést idézett elő, a kis magasság pedig lehetetlenné tette, hogy a pilóta még fel tudja emelni a gépet [21, 22].

3. Az 1942. őszi-téli harcok és a Héják frontszereplésének mérlege

Az augusztus 28-án kezdődő magyar támadás során sikeresen felszámolták a korotojaki szovjet hídfőt. A Héja pilóták szeptember 2-án Korotojak térségében 3 szovjet gépet is lelőttek. Szeptember 9-én az urivi hídfő elfoglalására indult újabb német–magyar hadművelet, ez azonban csak részleges eredményt ért el. A vadászrepülők ez alkalommal is számos felszállást hajtottak végre, de kis számuk miatt nem tudták a bombázók és közelfelderítők kísérete mellett a földi csapatok oltalmazását is ellátni, ehhez német légi segítséget kellett kérni. Szeptember 15-én a szovjet erők támadást indítottak Voronyezs elfoglalására, ami a magyar repülőket is fokozottan igénybe vette. A hónap végéig az 1. vadászosztály 58 bevetést hajtott végre. Szeptember 28-tól a harcok alább hagytak, a légitevékenység jelentősen csökkent. Megromlott az időjárás, kevesebb volt repülésre alkalmas nap. A vadászegységek kisebb igénybevétele lehetővé tette, hogy október 7-én az 1/1. vadászszázad 6 és a 2/1. század 2 pilótáját Bánlaky György főhadnagy vezetésével Sztarij Oszkolba vezényeljék, Bf–109 átképzésre. A típusismeretet 2 Bf–109E géppel szerezték meg, majd a 2./JG 52 német század Bf–109F vadászbombázó gépeivel gyakoroltak. Október második felétől már harci bevetéseket teljesítettek. Az 1. vadászosztály vezetését már augusztus végétől Szabó szds. látta el. Csukás őrnagy hazautazott Horthy István temetésére, majd visszatérve a frontra az 1. repülőcsoport

törzsénél tartózkodott. Nehezen tudott megbirkózni a kormányzóhelyettes halála miatti felelősségérzettel. Októberben Bf–109 átképzésen vett részt [7, 10].

Október 15-én az 1. repülőcsoport-parancsnokság megszűnt, a fronton harcoló magyar légiegységek irányítását átvette az október 1-jén Fráter Tibor ezredes vezetésével felállított 2. repülődandár. Az 1. vadászosztálynak ekkora már csak 15 Héja gépe maradt. A vadászok elsősorban légtérbiztosítást végeztek és a földi csapatokat oltalmazták. Október második felében megkezdődött a repülő alakulatok részbeni leépítése. Szabó és Keresztes százados, valamint az 1/1. és 2/1. század állományából 12 pilóta hazatért. Pótlásukra a Horváth Gyula százados vezette 5/2. vadászszázad, illetve az 5/1. század egy részlege (Ujszászy György százados és 5 pilóta) frontra küldését tervezték. Az 5/2. század Héja átképzése azonban még nem fejeződött be, a hiányzó gyakorlatot a frontra érkezés után kellett pótolniuk. A 2/1. század Ilovszkojén maradt részlege, melynek vezetését Irányi főhadnagy vette át, harci bevetéseket végzett, és várta a felváltó 5/2. századot, hogy közreműködjön annak Héja átképzésében, majd hazatérjen. Október 31-én Pánczél Imre hadnagy vezetésével 4 Héja volt bevetésen, melyek 8 szovjet csatarepülővel és 8 vadászgéppel találkoztak. A Héják 4 szovjet gépet lelőttek, Takács István őrmester azonban súlyosan megsebesült, kényszerleszállást hajtott végre, de sérüléseibe később belehalt. Az 1/1. század fronton maradt állománya Bánlaky főhadnagy vezetésével 8 BF–109F gépet kapott a németektől és ezekkel végeztek vadászbombázó bevetéseket Sztarij Oszkolból [23].

5. ábra Az ilovszkojei reptér szélén, fák közé rejtett Héja (V.424), 1942. október

November 1-jén újabb 5 Héja pilóta (2 fő az 1/1. és 3 fő a 2/1. századból) csatlakozott Bánlaky részlegéhez, és vett részt Bf–109F átképzésen. Szabó százados hazatérésével az 1. vadászosztály parancsnoksága gyakorlatilag megyszűnt, az osztály-segédtiszt, Pálos Géza főhadnagy és a fronton maradt néhány írnok csupán adminisztrációs feladatokat látott el. Csukás őrnagy, akit november 1-jén vk. alezredessé léptettek elő a 2. repülődandár törzsénél tartózkodott. Amikor az 1. vadászosztály felváltására kijelölt 5/I. osztály parancsnoka, Heppes Aladár százados november 28-án előzetes tájékozódásra kirepült a frontra, áldatlan állapotokat talált. A téli szállások előkészítésére, a téli felszerelés beszerzésére, a gépkocsik, műszaki anyagok karbantartására senki sem intézkedett [23, 24].

December 6-án a németek kérésére az 1/1. század a 2. hadsereg sávjától délre lévő bázisra,

Rosszosra települt. Vele tartott az 1/1. vadászrepülő üzemi század egy részlege is. Itt a németek további 4 gépet adtak át. A magyar század így már 12 Bf-109F vadászbombázóval rendelkezett, és az I/JG 52 német vadászosztállyal hajtott végre közös bevetéseket. Ezzel azonban a 2. hadsereg légterének védelmére mindössze egyetlen Héja (fél)század maradt (Irányi főhadnagy és a 2/1. század 6 pilótája), melyre nehéz feladatok hárultak, mert a sztálingrádi harcok miatt a voronyezsi szakaszról több német vadász egységet is délre vezényeltek. December 23-án érkezett meg a Donhoz Heppes százados vezetésével az 5/I. vadászrepülő-osztály törzse, amely december 25-én hivatalosan is átvette a vadászok irányítását. December 26-án Ujszászy századost nevezték ki az 1/1. század élére és a vele érkező 5 fő (5/1. század) is ennek az egységnek az állományába került. Ők még nem kaptak Bf–109 átképzést, ezért az 1/1. század harcoló részlegét továbbra is Bánlaky főhadnagy vezette, míg Ujszászy és pilótái Sztarij Oszkolban átképző tanfolyamon vettek részt, Kőhalmy János hadnagy és egy német oktató irányításával [9, 16].

Az 5/I. vadászosztály törzse Ilovszkojén rendezkedett be. Az 1/1. vadászszázad (Bánlaky-csoport) Bf–109F gépekkel Rosszoson állomásozott. Az 1/1. vadászrepülő üzemi század egy részlege a rosszosi század, a másik a sztarij oszkoli átképző tanfolyam műszaki feladatait látta el. Az 5/2. vadászszázad január 2-re fejezte be Ilovszkojén a Héja átképzést, a 2/1. század Irányi főhadnagy vezette részlege segítségével. Irányi és pilótái egyúttal a harci tevékenységet is befejezték, feladataikat, gépeiket átadták az 5/2. századnak, és január 5-én hazaindultak. Az ilovszkojei gépek üzemeltetését még mindig a 2/1. vadászrepülő üzemi század biztosította, mert az 5/2. üzemi század csak január 7-én érkezett meg. A feladatok és a felszerelés átadása napokig húzódott, utána pedig a német szállításvezetőség nem biztosított vasúti szerelvényt a 2/1. üzemi század számára, így a január 12-i szovjet offenzíva a kolozsvári századot is a fronton érte. A műszaki hibák, leszállási balesetek, illetve a rossz időjárási körülmények, a nagy igénybevétel és a karbantartási nehézségek miatt egyre több Héja esett ki a sorból. Egy gépet hazaszállítottak javításra, 4 további gépet pedig átadtak a javító műhelyeknek. Az 5/I. vadászosztálynak január 5-én már csak 10 Héja gép állt a rendelkezésére, melyből napi átlagban 3–5 gép volt bevethető [9, 16].

Az 5/2. század első harci bevetését január 5-én repülte, 2 Héja, Bejczy József főhadnagy osztály-segédtiszt és kísérője légtérbiztosítást és szabad vadászatot folytatott a magyar csapatok felett. Január 10-én reggel a rossz időjárás ellenére Pávai-Vajna György zászlós vezetésével 3 gép szabad vadászaton volt. Másnap újabb 3 Héja került bevetésre, légtérbiztosítást végeztek Uriv–Sztorozsevoje térségében. A Pávai-Vajna zászlós vezette köteléket 4 szovjet vadászgép támadta meg. Tízperces légiharc után 2 Héjának is elakadt a géppuskája, szerencsére a szovjet gépek kiváltak a harcból. A magyar pilóták leszállás után 1 vadász valószínű megrongálásáról számoltak be, de légigyőzelmet nem jelentettek. Január 12-én 12 órakor 2 Héja szállt fel. Bejczy József hadnagy és kísérője az urivi hídfő felett szabad vadászatot folytatott és a légtérben megjelenő német bombázókat biztosította. A mintegy 1000 m-en repülő gépekre 2 szovjet vadász csapott le. A kísérő, Domján Pál őrmester szembefordult a támadókkal, mire azok harc nélkül eltávoztak. Hazafelé Bejczy gépének motorja meghibásodott, álló motorral, füstölgő géppel szállt le a reptéren. Január 15-én 2 Héja felderítő repülést végzett, a V.435 jelzésű gépben Heppes Aladár százados, az 5/I. vadászosztály parancsnoka repült [24, 25].

6. ábra Ilovszkojén hátrahagyott üzemképtelen Héja (V.470)

Január 16-án, mivel a szovjet csapatok már megközelítették az ilovszkojei repteret, az üzemképes 4 Héját átrepülték Urazovora. A leszállásnál 1 gép összetört. Az Ilovszkojén maradt 6 Héja közül néhány javíthatatlan gépet felrobbantottak, a többi üzembe helyezésével még próbálkoztak. Január 17-én az Urazovon lévő 3 Héja légtérbiztosítást végzett a két repülőtér térségében. Ez volt a típus utolsó harci tevékenysége a keleti fronton. Január 18-án Ilovszkojén a még meglévő gépeket is megsemmisítették, vagy sorsukra hagyták. Mivel ekkorra a szovjet erők már Urazovot is közvetlenül veszélyeztették, és nem állt rendelkezésre kellő üzemanyag az utolsó 3 Héja átrepüléshez, ezeket a gépeket is felrobbantották. Ezzel a javítóműhelyekben lévő gépek kivételével a frontra kivitt Héják mind megsemmisültek [26, 27].

7. ábra Az ilovszkojei reptéren felrobbantott Héja – hiányzó motorral és kabinnal (V.410)

A frontra kerülő 23 Héja gépből 4 db 100%, 6 db 50%, 4 db 25% törést szenvedett. Ellenséges behatás következtében azonban csak 6 gép semmisült meg, a többi baleset miatt lett üzemképtelen. További 8–9 gépet a saját személyzet robbantotta fel. Négy Héja pilóta hősi halált halt, 1 fő hadifogságba esett, 2 fő súlyosan megsebesült. A légiharcok során a magyar vadászok 18 szovjet gépet lőttek le. A frontra vezényelt 2 Héja század a gépek kis száma miatt nem tudta kellően ellátni a rá háruló légtérvédelmi, illetve bombázó és közelfelderítő biztosítási feladatokat. Az 1942 második felében már korszerűtlennek számító Héják mind teljesítményben, mind tűzerőben jelentősen elmaradtak a német (Bf–109F, G), illetve a szovjet (Mig–3, Lagg–3, La–5, P–39) vadászok mögött. A motor, a fegyverzet gyakori hibái nehezítették a hatékony alkalmazást, a gyenge futómű sok

balesetet okozott. A tábori körülmények között a Héja nagy karbantartási igényét nem lehetett megfelelően kiszolgálni. Ennek ellenére a Héják alapvetően sikeresen szerepeltek, ami a gépek kiváló fordulékonyságának és jó emelkedőképességének, illetve a pilóták felkészültségének volt köszönhető [10].

1943-tól a Héja gépeket már csak vadászgyakorlóként alkalmazták. Helyüket a harci egységeknél egyelőre hazai gyártású MÁVAG Héja II. gépek vették át. A licencgyártásban készülő gépeket magyar motorral (WM K–14B), fegyverzettel (Gebauer gpu.) és légcsavarral (Hamilton licenc) szerelték fel, módosították a vezérsíkot, áttervezték az üzemanyagrendszert, megerősítették a futóművet és könnyített üléspáncélt alkalmaztak. Az első sériagépet (V.471) 1942. október 30-án adták át. Ezekből a légierő 200 db-ot rendelt, amiből mintegy 185 gépet gyártottak le. Hadigépnek azonban az alaptípusnál valamivel nagyobb teljesítményű és sokkal megbízhatóbb Héja II. is korszerűtlennek számított, inkább csak gyakorló feladatra volt megfelelő. 1944 elejétől, amikor már ezt a hazai gyártás lehetővé tette, a vadászrepülő egységeket Messerschmitt Bf–109G gépekkel szerelték fel.

4. Hivatkozások

[1] Kovács Béla (2017): A MÁVAG Héja vadászrepülőgép konstrukciós előzményei és korszerűsítésének lehetőségei az olasz Reggiane vadászprogram tükrébe. I. rész. Haditechnika, 51. (6), 53–57.

[2] Erszény István (1994): A Reggiane Re–2000 és a Mávag Héja vadászrepülőgép. Haditechnika, 28. (3), 52.

[3] Kováts Lajos (1990): Sólymok, Héják, Nebulók. MAHIR. Budapest. 39–46., 67–75.

[4] Sisa András (2002): A Magyar Királyi Honvéd Légierő olaszországi repülőgép-beszerzései. Hadtörténelmi Közlemények, 115. (4), 1050–1085.

[5] Plakolm Frigyes (1995): Reggiane Re–2000 „Héja" vadászrepülőgép. Magyar Szárnyak, 23. (23), 182–185.

[6] Kovács Béla (2018): A MÁVAG Héja vadászrepülőgép konstrukciós előzményei és korszerűsítésének lehetőségei az olasz Reggiane vadászprogram tükrébe. II. rész. Haditechnika,52. (1), 52–54.

[7] Emlékeztető a Héja típusú repülőgéphez pilóták számára. (é. n.) M. kir. Honvéd Légierők Parancsnoksága. Budapest.

[8] Szabó Mátyás (1999): Horthy István repülőtiszt halála. Zrínyi. Budapest. 32–37., 52–56.

[9] M. Szabó Miklós (1999): A Magyar Királyi Honvéd Légierő, 1938–1945. Zrínyi. Budapest, 1999, Zrínyi. 164–173., 190–211.

[10] Irányi Pál (1993/94): Sóstótól Pockingig. Magyar Szárnyak, 22. (22), 111–122.

[11] Szepesi József (2002): Hatvan évvel ezelőtt indult a keleti frontra az 1. repülőcsoport. Magyar Szárnyak, 30. (30), 35–40.

[12] Punka György (1995): A „Messzer". OMIKK. Budapest. 1995. 8–10.

[13] Tobak Tibor (1999): A „Dongó" sztori, II. TOP GUN, 10. (6), 22–25.

[14] Farkas György (2001): Harctéri napló, 1942. július 5. – augusztus 21. In: Horthy István repülő főhadnagy tragikus halála. Közread.: Horthy Istvánné. Szerk.: Antal László. Auktor.

Budapest. 13–71.

[15] Winkler László (1995): Krónika. A magyar repülés története. I–IV. köt. III/19. rész. Kézirat. Hadtörténeti Intézet és Múzeum Hadtörténelmi Levéltára. Tanulmánygyűjtemény. 3327. sz.

[16] Gaál Gyula (1988): Vadászok a nagy kanyar felett. Magyar Szárnyak, 17. (17), 9–14.

[17] Kádár Gyula (1943): Sasok harca. Magyar Repülő Sajtóvállalat. Budapest. 88–90.

[18] Becze Csaba (2000): Repülőmozaikok, 1942. Magyar Szárnyak, 28. (28) 73–75.

[19] Ortutay Tivadar (é. n.) Két világháború sodrában. Pannon Ny. Veszprém. 173–175.

[20] Olasz Lajos (2007): A kormányzóhelyettesi intézmény története, 1941–1944. Akadémiai. Budapest. 298–305.

[21] Ormay József (1978): A kormányzóhelyettes úr halálával kapcsolatos adatgyűjtés eredménye. Magyar Szárnyak, 7. (7), 20.

[22] Császár Ottó (1994): Élet – halál a levegőben. MALÉV. Budapest. 89–91.

[23] Gaál Gyula (1989): Egy elpusztíthatatlan vadászegység. Magyar Szárnyak, 18. (18), 54–65.

[24] Becze Csaba (2006): Elfelejtett hősök. A Magyar Királyi Honvéd Légierő ászai a II. világháborúban. Puedlo. Budapest. 119., 139.

[25] Kovács Béla (2013): Az utolsó légiharc a Donnál. Haditechnika, 47. (2) 57–59.

[26] Gaál Gyula (1979): Ilovszkoje. Magyar Szárnyak, 8. (8), 19–30.

[27] B. Stenge Csaba (2014): Kiegészítés az „Utolsó Héja-légiharc a Donnál” című cikkhez. Haditechnika, 48. (3) 73–74.

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

SLM technológiával gyártott EOS Maraging MS1 alkatrészek termodinamikai elemzése konstans hevítési sebesség mellett végzett DSC vizsgálattal

[1]Olesnyovicsné Szabadi Zsuzsa, [2]Marosné Berkes Mária, [2]Réger Mihály, [2]Horváth Richárd

[1]Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest, szabadi.zsuzsa@phd.uni-obuda.hu
[2]Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Kari Kutatásszervező Központ, maros.maria@obuda.hu, reger.mihaly@uni-obuda.hu, horvath.richard@uni-obuda.hu

Összefoglalás

A nagyszilárdságú ötvözetek csoportjába tartozó maraging acélok kiváló mechanikai tulajdonságegyüttese egy oldó izzításból és az azt követő kiválásos keményítésből álló hőkezeléssel érhető el. Az ipari gyakorlatban a maraging acélok hőkezelése során nem tesznek különbséget a hagyományos olvadékeljárásos technológiával gyártott tömbi, valamint az SLM technológiával gyártott, fémnyomtatott állapotú anyagok között. Ebben a kutatásban a két különböző állapotú mintán végzett DSC vizsgálattal arra keressük a választ, hogy a fémnyomtatási technológia teremthet-e olyan viszonyokat, amely termodinamikailag megfeleltethető az oldott állapotnak, ezáltal az oldó izzítás folyamata elhagyható.

Kulcsszavak**:** SLM technológia, maraging acél, hőkezelés, DSC vizsgálat

1. Bevezetés

Az additív gyártástechnológiák (AM - Additive Manufacturing) az utóbbi években különös figyelmet kaptak, mivel lehetővé teszik olyan bonyolult geometriájú alkatrészek gyártását, melyek elkészítése hagyományos módszerekkel nem megoldható. A különféle AM-technológiák közül az egyik legismertebb eljárás a szelektív lézerolvasztás (SLM - Selectiv Laser Melting), melyet a nagy alakítási pontosság és tervezési szabadság, valamint a gyártási költségek csökkentésének lehetősége jellemez [1,2]. Széles körben alkalmazzák a repülőgépiparban, a hadiiparban, orvosi eszközök vagy bonyolult geometriájú szerszámok gyártása esetén [3,4]. Az SLM technológia alkalmas többek között olyan alkatrészek gyártására, ahol a megmunkálás nem lehetséges, vagy a nagy terhelés miatt a megmunkálás során az anyagban ébredő feszültségek az alkatrész szerkezeti integritását veszélyeztetnék.

A továbbfejlesztett nagyszilárdságú acélok speciális osztályát alkotó maraging acélok olyan kimagasló mechanikai tulajdonságegyüttessel bírnak, mint a nagy szilárdság és szívósság, jó hegeszthetőség, korrózióállóság, kiváló méretstabilitás. Martenzites mátrixuk miatt ezeket az anyagokat gyors hűtéssel a martenzit kiindulási hőmérséklete (M_s) alá kell hűteni, ami által különösen alkalmassá válnak az SLM technológiákkal való gyártásra [3]. Kiemelkedő mechanikai tulajdonságaik a kémiai összetételüknek, valamint a sajátos hőkezelésüknek köszönhető. Kis mennyiségben tartalmaznak karbont, fő összetevőjük a nikkel 15-25% mennyiségben, továbbá tartalmaznak változó mennyiségű molibdént, kobaltot, titánt és alumíniumot. Széles körben alkalmazzák a repülőgépiparban, a nukleáris iparban, az autóiparban és a szerszámiparban, például

rakéták burkolatának anyagaként, helikopter futóművekben, nyomásos öntőformákhoz és műanyag fröccsöntő szerszámok alapanyagaként [5]. Az ipari gyakorlatban nem tesznek különbséget a hagyományos olvadékeljárásos technológiával készült tömbi- és a fémnyomtatott maraging ötvözetek hőkezelése között, azonban Campanelli és mtsai. [6] kutatásuk során azt találták, hogy a nyomtatott állapotú anyagok kiválási kinetikája eltérhet a tömbi anyagokétól.

A maraging acélok hőkezelése egy 820-900 °C közötti oldó izzításból és az azt követő 450-500 °C közötti hőmérsékleten végzett öregítésből áll. A hagyományos technológiával készült ötvözetek esetén az oldó izzítás mindenképpen szükséges, a nyomtatási technológia azonban teremthet olyan viszonyokat, amelyek miatt a kialakuló anyagszerkezet állapota termodinamikailag megfeleltethető az oldott állapotnak, ezáltal az oldó izzítás folyamata elhagyható. A cikkben bemutatott kutatás fókuszában a nyomtatott állapotú maraging ötvözet termodinamikai állapotának részletes megismerése áll.

2. Kísérleti munka

2.1 A kísérlethez használt anyagok

A nyomtatott állapotú maraging acélok hőkezelési kísérleteihez EOS Maraging MS1 minőségű alapanyagból SLM technológiával készített próbatesteket használtak. Referencia anyagként a Böhler cég W720 minőségű Ø30 mm-es rúdanyagát (melegen hengerelt, húzott, lágyított) választották, mely hagyományos olvadékeljárásos technológiával készült. Az alapanyagok kémiai összetételét az 1. számú táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A kísérlet során használt anyagok kémiai összetétele

Névleges összetétel, tömeg%					
Ötvözet	Ni	Co	Ti	Mo	Al
EOS MS1	18,0	9,0	0,7	4,8	0,1
Böhler W720	18,5	9,0	0,7	5,0	0,1

Az összetétel, ezen belül is elsősorban a titán tartalom alapján mindkét minőség a 18Ni(300) hagyományos márkajelű maraging acélminőségnek felel meg. A kísérletekhez a rendelkezésre álló z irányban nyomtatott, Ø25 mm Jominy próbatestből 1,5 mm vastagságú körlap keresztmetszetű darabok lettek kimunkálva. A tömbi anyag esetében is ehhez hasonló módon, forgácsolással történt a próbatestek gyártása.

2.2 A DSC mérési technika és berendezés

A differenciális pásztázó kaloriméter (DSC) a termoanalízis során használt berendezés, ami az anyagokban hűtés és hevítés hatására jelentkező hőfolyamatok mérésére, az anyagok jellemzésére, azonosítására vagy összehasonlítására szolgál. Alkalmas a hőkapacitás és a fázisátmenetek entalpiaváltozásának, a hőáramnak a meghatározására az idő vagy a hőmérséklet függvényében. A DSC méréssel meghatározható, hogy az anyagokban zajló fázisátalakulások, kristálymódosulat-változások milyen hőmérsékleten következnek be. A mérési módszer elnevezésében a differenciális szó arra utal, hogy a hőeffektusok mérése a vizsgált mintán és az etalonon párhuzamosan történik, és e két mérés különbsége kerül kiértékelésre.

A vizsgálathoz a rendelkezésre álló anyagból ø4,9 × 1,5 mm-es próbadarabok lettek kimunkálva párhuzamos felületekkel a stabilabb hőátadás, valamint a vizsgálat előtti és utáni keménységmérés érdekében.

A DSC mérések a PerkinElmer cég DSC 8000 típusjelű berendezésén történtek (1. ábra).

1. ábra: A PerkinElmer 8000 típusú DSC berendezés

2.3 Konstans hevítési sebességgel végzett vizsgálat

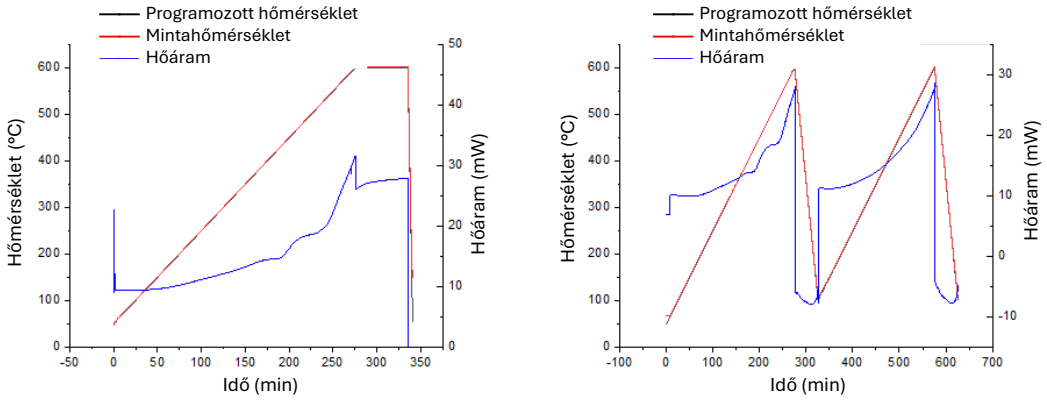
A kísérlet célja a nyomtatott (as built) és a nyomtatott és lágyított állapotú minták közötti különbség meghatározása volt. A lágyított állapot elérésére a nyomtatott mintán levegőatmoszférán 830 °C-on, 60 min időtartamú oldó izzítást végeztek. Az így kapott mintákat állandó sebességgel 600 °C-ig melegítve a hevítés során lezajló átalakulások hőeffektusait vizsgálták. A konstans hevítési sebességgel elvégzett kísérletsorozat paramétereit a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: Konstans hevítési sebességgel elvégzett kísérletsorozat paraméterei

Minta sorszáma	Anyag-minőség	Állapot	Hevítési sebesség, K/min	Minta tömege, mg	Nitrogén, ml/min
3	MS1	nyomt	2	379.2	20
9	MS1	nyomt_lágyított	2	331.6	40
2	MS1	nyomt	5	371.9	20
10	MS1	nyomt_lágyított	5	344.9	40
6	MS1	nyomt	10	375.3	20
7	MS1	nyomt_lágyított	10	343.4	40
5	MS1	nyomt	30	387.6	20
8	MS1	nyomt_lágyított	30	362.4	40
4	MS1	nyomt	50	378.3	20
11	MS1	nyomt_lágyított	50	349.7	40

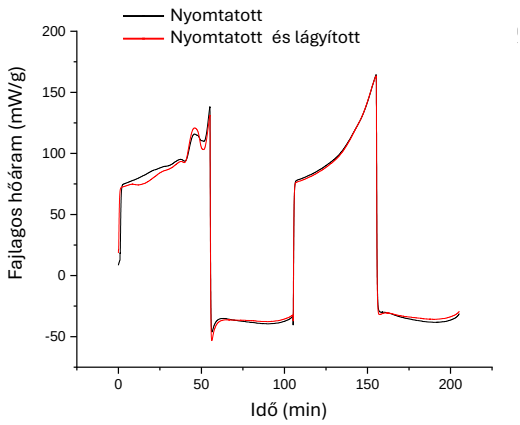
Annak megítélésére, hogy a kiválási folyamatok egy hevítési és hűtési ciklus alatt teljes egészében lejátszódnak-e, a hevítést bizonyos esetekben egy 600 °C-os hőntartás követte, bizonyos kísérletekben pedig az első hevítést követően ugyanezen paraméterek alkalmazásával a teljes hevítési ciklus meg lett ismételve (2. ábra).

Az ábrán látható mérési eredmények szerint a mintahőmérséklet függvény szigorúan követi a programozott hőmérséklet értékét, vagyis a szabályozás megfelelőnek mondható. A hőáram görbéken látható pozítív csúcsok endoterm, a negatív csúcsok exoterm folyamatot jelölnek. A baloldali ábrán a 600 °C elérését követő szakasz jellege arra utal, hogy a reakció az izoterm szakaszon még folytatódik. A jobb oldali ábrán a második hevítés teljesen kisimult görbéje pedig azt jelzi, hogy az első hevítés közben a 600 °C eléréséig minden energetikailag lehetséges folyamat már lezajlott.



2. ábra: Nyomtatott (balra), valamint nyomtatott és lágyított (jobbra) állapotban a hőmérséklet program és a közben fellépő hőeffektus 2 K/min hevítési sebesség esetén

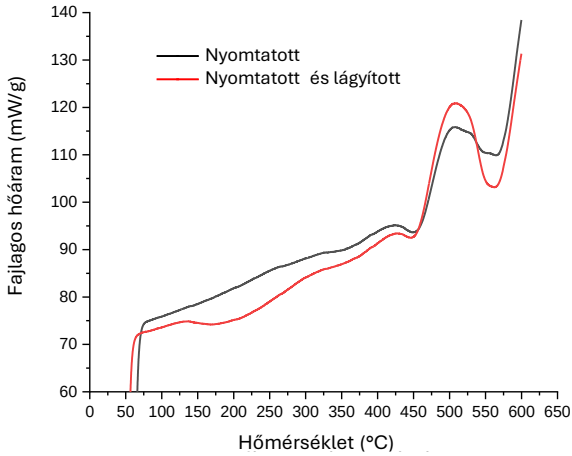
A 3. ábra a 10 K/min sebességgel hevített nyomtatott, valamint a nyomtatott és lágyított minták esetében mért hőáramokat mutatja. A mért hőáramok különbsége jellemzi a két minta termodinamikai különbözőségének mértékét.



3. ábra: A nyomtatott, valamint a nyomtatott és lágyított mintákon mérhető hőeffektus 10 K/min hevítési sebesség esetén (a fajlagos, egységnyi tömegre vetített hőáram függvények szerint)

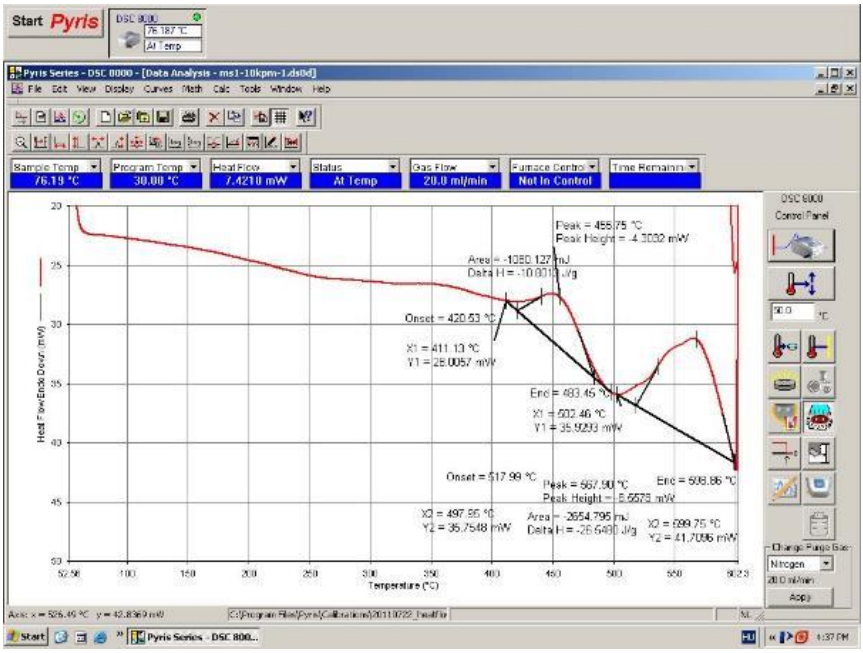
A fajlagos hőteljesítmény adatok a hőeffektust nem mutató mérési tartományban szinte teljesen megegyeznek, de igen hasonló a görbék lefutása a minták első hevítése során is. Az első hevítés során jelentkező hőeffektusokat a hőmérséklet függvényében vizsgálva (4. ábra) 200 °C környékén, illetve a kiválási hőmérséklettartományban (350-600 °C) a hőeffektusok csúcsértékeiben látható különbség.

A DSC mérési eredmények értékelése az endoterm és exoterm csúcsok azonosításán, a csúcshoz tartozó függvényrész hőmérséklet határainak kijelölésén, a maximumhoz tartozó hőmérséklet meghatározásán alapul. Ennek alapján számítható a hőeffektushoz tartozó energiaérték, entalpia, valamint a Kissinger módszer [7] alkalmazásával meghatározható a folyamat aktiválási energiája is.



4. ábra: A nyomtatott, illetve a nyomtatott és lágyított állapotban mért egységnyi tömegre vetített fajlagos hőteljesítmény értékek a hőmérséklet függvényében 10 K/min sebességű hevítés során

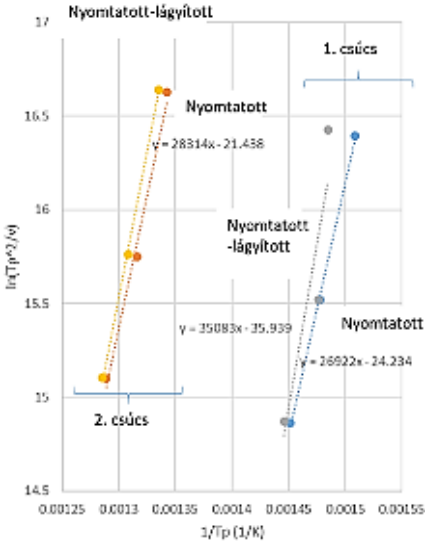
A csúcsok pozíciójának meghatározása a Pyris szoftver segítségével történt, amelynek alkalmazásakor a diagramokon az exoterm reakciók csúcsa felfelé, az endoterm reakciók csúcsa lefelé módosítja az alapvonalat. A diagramokon (*5. ábra*) két exoterm csúcs azonosítható.



5. ábra: A PerkinElmer 8000 DSC berendezéshez tartozó Pyris szoftverrel kiértékelt mérési eredmények

Összhangban a szakirodalmi adatokkal [8],[9],**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**,[11] a z első 390-450 °C között mérhető hőeffektus kisebb részben a martenzitben zajló megújulással,

nagyobb részben a koherens intermetallikus fázisok kialakulásával hozható kapcsolatba. A második 470-530 °C között azonosítható hőeffektus részben az intermetallikus fázisok durvulására, részben a martenzit ausztenitté alakulására vezethető vissza. A fenti hőmérsékleti értékek alapján a Kissinger által kidolgozott módszerrel meghatározható a két csúcsot okozó komplex folyamat aktiválási energiája.



6. ábra: Az aktiválási energia meghatározása a csúcsokat jellemző hőmérsékleti adatokból

Az első csúcs aktiválási energiája nyomtatott állapotban 216-223 kJ/mol, ami egyezést mutat a tömbi állapotra vonatkozó szakirodalmi adatokkal. A nyomtatott és lágyított állapotban az aktiválási energia lényegesen magasabb, ennek magyarázata további kutatásokat igényel majd. A második csúcsra meghatározott 230-250 kJ/mol aktiválási energia némileg meghaladja a szakirodalomban található adatokat, de közel esik azokhoz.

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a nyomtatott állapotú maraging ötvözet a kiválási folyamatok hőmérséklettartománya és ezen folyamatok aktiválási energiája szempontjából lényegében azonosnak tekinthető a hasonló minőségű tömbi, oldó izzításon átesett maraging ötvözetekkel.

3. Összegzés

A cikkben bemutatott eredmények egy olyan kutatás részeredményei, melynek alapvető célja a fémnyomtatott állapotú maraging ötvözetek sajátosságaihoz jól illeszkedő felület bevonatolási lehetőségek definiálása volt. Ehhez kapcsolódóan olyan előkísérletekre is szükség volt, amelyek alapján eldönthető, hogy az SLM fémnyomtatási technológia teremthet-e olyan viszonyokat, ami termodinamikailag az oldott állapotnak feleltethető meg, és ily módon az oldó izzítás lépése ezeknél a fémnyomtatott alkatrészeknél elhagyhatóvá válik.

A kísérlet során vizsgált anyag az EOS Maraging MS1 acél volt, amelyből por állapotban SLM technológiával készültek a kísérleti próbatestek. Referencia anyagként pedig a Böhler cég hagyományos olvadékeljárásos technológiával készült, melegen hengerelt, húzott, lágyított, 30 mm átmérőjű W720 rúdanyaga szolgált.

Az állandó sebességű hevítés mellett végzett DSC vizsgálatok eredménye alapján az alábbi

megállapítások tehetők:

- Az EOS Maraging MS1 porból az alkalmazott SLM technológiával megfelelő tömörségű, hőkezelésre és felületkezelésre alkalmas alkatrészek gyárthatók;
- A DSC mérési technika alkalmas a nyomtatott állapotú anyagok hőkezelésének modellezésére, alkalmazásával a kiválási folyamatok jól nyomonkövethetők;
- Az MS1 minőségű porból nyomtatott minta hőkezelési állapota termodinamikailag megfeleltethető a lágyított állapotnak, vagyis oldó izzítás nélkül végzett öregítés során is elérhetőek az előírt szilárdsági tulajdonságok.

A kutatás további iránya a Böhler cég W720 minőségű maraging acéljának két különböző állapotú – fémporból SLM technológiával, valamint a hagyományos olvadékeljárásos technológiával gyártott tömbi – mintájának összehasonlító vizsgálata, különös tekintettel arra, hogy a szimultán hőkezelést mennyiben befolyásolja az alapanyag kiindulási állapota.

4. Felhasznált irodalom

[1] Funch, C.V., Christiansen, T. L. & Somers, M. A. J. (2022). Gaseous nitriding of additively manufactured maraging steel; nitriding kinetics and microstructure evolution. *Surface & Coatings Technology*, 432, 128055.

[2] Tekin, T., Ischia, G., Naclerio, F., Ipek, R., & Molinari, A. (2025). Tensile ductility of duplex surface treated maraging steel produced by Laser Powder Bed Fusion: interaction between the inhomogeneous microstructure and transformation induced plasticity. *Surface & Coatings Technology*, 496, 131603.

[3] Zhang, L., Wang, M., Li, H., Li, Q. & Liu, J. (2024). Influence of layer thickness and heat treatment on microstructure and properties of selective laser melted maraging stainless steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 33, 3911-3927.

[4] Marciniak, Z., Branco, R., Macek, W. & Malca, C. (2024) Fatigue behaviour of SLM maraging steel under variable-amplitude loading. *Procedia Structural Integrity*, 56, 131-137.

[5] Zhao, M., Shen, S., Wang, H., Niu, L., Shi, J., Chen, Z., Lu, B. (2024). Effect of heat treatment on microstructure and hydrogen embrittlement of additively manufactured and cast 18Ni300 maraging steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 33, 9566-9579.

[6] Campanelli, S. L., Contuzzi, N., Posa, P., & Angelastro, A. (2019). Study of the aging treatment on selective laser melted maraging 300 steel. Materials Research Express, 6(6), 066580.

[7] Kissinger, H. E. (1957). Reaction kinetics in differential thermal analysis. *Analytical chemistry*, 1957. 29(11), 1702-1706.

[8] Floreen, S. (1968). The physical metallurgy of maraging steels. *Metallurgical Reviews*, 13(1), 115-128.

[9] Weiss, B. Z. (1983). Maraging Steels—Structure, Properties and Applications. In *Specialty Steels and Hard Materials*. (pp. 35-54). Pergamon.

[10] Tewari, R., Mazumder, S., Batra, I. S., Dey, G. K., & Banerjee, S. (2000). Precipitation in 18 wt% Ni maraging steel of grade 350. *Acta Materialia*, 48(5), 1187-1200.

[11] Masneri, C. (2015), Microstructural and mechanical properties of maraging steel parts produced by selective laser melting. Thesis work, Politecnico Milano.

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Pneumatikus terhelésvizsgáló berendezés modellezése

Modeling of pneumatic load testing equipment

[1]Pintér Péter

[1]*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, MEI, Budapest, Magyarország, pinter.peterm@bgk.uni-obuda.hu*

Összefoglalás

A projekt célja, hogy egy pneumatikus rendszer működését szimulálja, lehetővé téve ezzel a működési jellemzők, például a működési ciklusok számának meghatározását egy adott nyomású és térfogatú tartály esetében. A szimulációs eredmények segítségével olyan információkat nyerhetünk, mint a löketek száma, a gyorsulás, a működési idő, és más fontos statisztikai adatok, amelyek segítik a rendszer tervezését és optimalizálását. Mivel a pneumatikus rendszereket nagyon sok helyen alkalmazzák, és nagyon sokféleképpen, ezért egy olyan program elkészítése ami olcsón és egyszerűen használható, nagymértékű költségmegatakarítást eredményezthet új rendszerek tervezése és kialakítása során.

Kulcsszavak: pneumatika, optimalizálás, szimuláció

Abstract

The purpose of the project is to simulate the operation of a given pneumatic system, thereby enabling the determination of operational characteristics, such as the number of operating cycles, for a given pressure and volume tank. With the help of the simulation results, we can obtain information such as the number of strokes, acceleration, operating time, and other important statistical data that help in the design and optimization of the system. Since pneumatic systems are used in many places and in many ways, creating a program that is cheap and easy to use can result in large cost savings during the design and development of new systems.

Keywords: pneumatic, simulation, optimization

1. Bevezetés

Pneumatikus rendszereket az élet és az ipar számos területén alkalmaznak, kihasználva az ilyen típusú rendszerek legfőbb előnyét, hogy segítségükkel hatékony mozgatás és vezérlés érhető el. Ipari automatizálásban, szerelési folyamtokban, logisztika és anyagkezelésben, élelmiszeriparban, orvosi berendezéseknél, az alacsonyabb karbantartási igényük és a gyorsaságuk miatt sokszor ezt a megoldást választják az elektromechanikai megvalósítással szemben. Ennek a tanulmánynak a célja az ilyen típusú folyamatok számítógépes modellezése, aminek köszönhetően lehetővé válik egy lényegesen kisebb költségű tesztelési folyamat és ezáltal a rendszer optimalizálása.

2. Alkalmazott módszerek

Egy egyszerűbb pneumatikus rendszer szimulációjához, jelen esetben a konkrét rendszerhez, szükséges egy sűrített levegővel töltött tartály, legalább egy vezérlő szelep, egy munkahenger, valamint csővezetékek. Ebben az általunk felépített egyszerűsített rendszerben a szelep csak a

levegő útját szabályozza, veszteségeit elhanyagoljuk. A jelentősebb egyszerűsítés azonban a munkahengerre és a tartályra nem vonatkozik.

1. táblázat Tartály adatai

Tárolt gáz térfogata [m^3]	0,02
Tárolt gáz nyomása [MPa]	20
Kimenő nyomás szabályozási határa [MPa]	1
Tárolt gáz hőmérséklete [K]	293,15

A kiindulási értékek a gáz térfogata és nyomása, a kimenő nyomás értéke, valamint a gáz hőmérséklete. A megadott értékek alapján számoljuk ki a hiányzó változókat, jelen esetben a gáz moláris tömegét, az ideális gáztörvény alapján:

$$\mathrm{p} \cdot \mathrm{V} = \mathrm{n} \cdot \mathrm{R} \cdot \mathrm{T} \tag{1}$$

Átrendezés után a következőt kapjuk a keresett mennyiségre:

$$n = \frac{\mathrm{p} \cdot \mathrm{V}}{\mathrm{R} \cdot \mathrm{T}} \tag{2}$$

(***n***: mol mennyiség, ***p***: gáz nyomás, ***V***: gáz térfogat, ***R***: univerzális gázállandó, ***T***: gáz hőmérséklet)

A tartályban lévő gáz felhasználásához ugyanezt a képletet alkalmazzuk, ekkor azonban a felhasznált gáz nyomásából és térfogatából számolt mol mennyiséget levonjuk a tankban tárolt mennyiségből, majd a nyomást újra számoljuk:

A következő és utolsó elemünk a munkahenger (***PneuCylinderObj***), ahol a következő adatokat vesszük figyelembe:

2. táblázat Munkahenger adatai

Belső átmérő [mm]	50
Tengely átmérő [mm]	20
Tengely tömeg [kg]	0,4
Lökethossz [mm]	250

Minden más adat ezekből számolható.

3. A szimulációs program felépítése

A rendszer működésének modellezésével lehet az optimalizációt megvalósítani. A távolabbi célja, hogy a rendszer önnállóan ki tudja optimalizálni az adott energia felhasználását. A vizsgálat során nem egy hagyományos pneumatikus rendszerrel dolgoztunk, hanem egy pneumatikus munkahengerekkel hajtott jármű működését modelleztük. A jármű hajtása a munkahengerek miatt nem optimális ez már eleve nagyon sok veszteséget okoz. Ezen veszteségeknek a csökkentését tűztük ki célul, nemcsak éles tesztek segítségével, hanem egy programmal, ahol a megfelelő értékek megadása után megkapjuk a számunkra fontosnak tartott értékeket. A modellezés legnagyobb előnye, hogy nem kell legyártani egy bonyolult eszközt a tesztek elvégzéséhez, ennek köszönhetően

olcsón, gyorsan lehet a megváltoztatott értékekre pontos végeredményeket kapni.

3.1 Szimulációs program

A program működéséhez fontos a munkahengerek, csővezetékek, egyéb szerelvények pontos értékeinek a megadása pl. löket, gyorsulás, nyomás, veszteségek. Ehhez az egyik kézenfekvő megoldási lehetőséget a MATLAB, azon belül is a Simulink szimulációs része adta volna. Azonban több probléma is felmerült, ami miatt nem tudott a rendszer jól működni:

- Abban az esetben, ha valamilyen szenzor–kör adatai alapján érzékeljük a munkahenger pozícióját és az alapján dönti el a program, hogy a vezérlő szelep hogyan legyen vezérelve, ezzel folyamotos ciklusban tartva a munkahengert, a Simulink futása nagymértékben lelassult, használhatatlanná vált, ha nem adtunk meg különböző konstansokat.
- Pneumatikus (azaz gáz alapú) rendszereknél a levegőfogyasztást rosszul számolta munkahengereknél, pl. a munkahenger lökethosszának változtatása esetén nem változik, a gáz mennyisége, ami egyértelműen hibás eredményt ad. Emellett a megadott tartály kezdő nyomása szimuláció elején sosem egyezik a megadott értékekkel.

A fentiekben részletezett és még több hasonló probléma miatt nem ebben a környezetben készült el a modellezés, azonban a fenti megoldás javításán is tovább dolgozunk.

3.2 Általános célú programozási nyelv

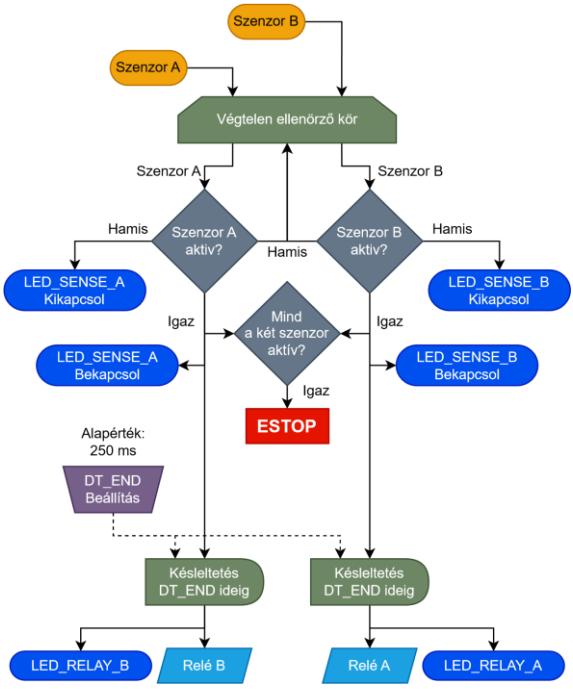
A problémák miatt Visual Studio fejlesztői környezetben egy általános programozási nyelvet C#-ot használva, a programozás eszköztárára építve fizikai léptékes szimuláció segítségével számítottuk ki az adatokat. A C# egy objektum orientált nyelv, nagy előnye, hogy platformfüggetlen és nagy teljesítményű kódok írhatók benne. A problémát analitikus módszerekkel is meg lehetett volna oldani, azonban ez egy nagyobb, komplexebb rendszer esetén a számítások és egyenletek számát drasztikusan megnövelte volna.

4. Szimuláció felépítése

A teljes szimuláció két részből áll: alkatrészek létrehozása és összekötése, majd az alkatrészek együttes, időléptékes szimulációja.
A létrehozás során minden egyes alkatrészt objektumként kezelünk, melyben a következő adatokat tároljuk:

- 5/2-es vezérlő szelep
- 20L-es 200Bar palack (10 Bar nyomás határral)
- minden további jellemzőt a 2. táblázat tartalmaz.

Következő lépés az alkatrészek összekötése, amely úgynevezett eseménykezelőn keresztül történik. Ez azt eredményezi, hogy az eseménykezelő tulajdonosa létrehozza és előre definiálja a szükséges paramétereket egy objektumban, majd szükség esetén minden olyan program, amit alárendeltünk, meghívásra kerül az adott paraméterekkel. Ez a hívás azonnal lefut, függetlenül attól, hogy éppen hol tart a program, így jól alkalmazható szimuláció során bekövetkező azonnali adatfrissítésekre.



1. ábra Szenzorok működésének folyamatábrája

A fenti folyamatábrán a szükséges szenzorok kapcsolatait lehet leolvasni.

Legvégül, az időléptékes szimuláció következik. Itt van definiálva minden vezérlés (Pl. ha teljesen ki van tolva a munkahenger akkor a szeleppel húzzuk vissza stb.), a frissítések sorrendje és a statisztika gyűjtése. A szimuláció addig fut míg a működési nyomás határát el nem érjük a palackban, ami ez esetben 10 Bar.

5. Működő mérőkör

2. ábra A modell

Ahhoz, hogy a szimulció minél nagyobb pontossággal tudjon működni, szükség van egy működő modellre is. Ami egy egyszerű pneumatikus munkahenger vezérléssel. Kijelző, felprogramozott vezérlő elektronika, adja a fő részét. Nagyban megkönnyítve számunkra a mérést, ugyanis nem kell folyamatos felügyelet alatt tartani a rendszert, egy palack felhasználása alatt. Automatikusan le tud futni egy mérés. A végeredménye, a löketek száma a kijelzőről leolvasható.

6. Teszt

Teszt során az alábbi paramétereket kell a számoláshoz szükséges bejövő adatoknak tekinteni.

3. táblázat Teszt adatai

Bejövő paraméterek	**Számolás során a kapott paraméterek**
Munkahenger adatai (lökethossz, dugattyú átmérő, rúd tömege, csatlakozó átmérője)	A palack nyomásának változása
Tartály (nyomás, gáz térfogata, csatlakozó átmérője)	A palackban lévő levegő mennyiségének a változása
Szelepek adatai (3/2, 5/2, csatlakozó átmérők, veszteségek)	A munkahenger által megtett löketek száma

7. Konklúzió

A pneumatikus rendszerek levegőfogyasztásának optimalizációja nagyon fontos, mivel jelentős költségmegtakarítást lehet vele elérni. Jelen rendszerre ez fokozottan igaz, mivel működés szempontjából már eleve egy veszteséges szerkezet. Célunk, hogy az adott energiát (200bar-os palack) megfelelően optimalizálva tudjuk felhasználni. Ennek az első lépése egy szimulációs program létrehozása, ami egy működő modellt is képes lehet kiváltani, a mérések minél gyorsabb elvégzése érdekében. Ezzel időt és pénzt lehet megspórolni. Fontos szempont volt a szimulációs modell megalkotásakor annak minél általánosabb felhasználhatósága annak érdekében, hogy más pneumatikus rendszerekre is alkalmazható legyen.

A modellel kapcsolatos továbbfejlesztési tervek között szerepel a súrlódás és a térfogat áram figyelembevétele. Ehhez szükséges lesz a fizikai modellen végrehajtott teszt.

8. Hivatkozások

[1] Dr. Szlivka F. Irányítástechnika, Hidraulika, Pneumatika ÓE-BGK 3058

[2] Biagio R. T. D'Auria, Giuseppe R. T. S. R. D'Auria, "Optimization of Pneumatic Systems" 2019

[3] Milos G. D. Tyas D. Sofija, "Modeling and Optimization of Pneumatic Actuators" 2021

[4] Farkas P., Tóth A. "Intelligens pneumatikus rendszerek fejlesztése" 2020

[5] Szabó G., Nagy I. "Pneumatikus hajtások energiatakarékos működtetése" 2019

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Betétedzett DLC bevonattal rendelkező darabok vizsgálata Daimler-Benz eljárással

Daimler-Benz testing of case-hardened and DLC coated parts

[1]Pócsik György, [2]Oláh Ferenc, [1]Havasréti Kristóf, [1]Horváth Richárd

[1]Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, pocsik.gyorgy@uni-obuda.hu; havasreti@gmail.com, horvath.richard@uni-obuda.hu;
[2]Óbudai Egyetem Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, olah.ferenc@uni-obuda.hu

Összefoglalás

Jelen kutatás célja az iparban előszeretettel használt felületkezelő módszer vizsgálata. A betétedzés és a PVD eljárások együttes alkalmazása igen elterjedt, így elemzésük, és kölcsönös viselkedésük megismerése kiemelt fontosságú célt jelent. A kutatásban a már ismertetett duplex felületkezelési eljárás Daimler-Benz eljárással való vizsgálata valósul meg, mely segítségével megismerhetővé válik a támaszréteg és a DLC bevonat együttes viselkedése, illetve az ezek közti összefüggések.

Kulcsszavak: Daimler-Benz vizsgálat, betétedzés, DLC, duplex felületkezelési eljárások

Abstract

The aim of the research is to investigate a surface treatment method that is commonly used in the industry. The combined use of case-hardening and PVD processes is widespread, so their analysis and understanding of their mutual behaviour is a high priority. In this research, the duplex surface treatment process described above will be investigated using the Daimler-Benz method, which will provide insight into the joint behaviour of the support layer and the DLC coating and the interrelationships between them.

Keywords: Daimler-Benz method, case-hardening, DLC, duplex surface treatment processes

1. Bevezetés

A világgazdaságban jelentős szerepet töltenek be a felületkezelő és a hőkezelési eljárások. Az ipar legtöbb szegmensében (pl.: autóipar, repülőipar, szerszámgyártás) alkalmazott technológiák a felületek keménységét növelő eljáráscsoportok, melyek közé tartozik a betétedzés is [1]. A betétedzés két műveletből áll, a felületi réteg karbonnal való dúsításából (cementálás), illetve a darab edzéséből, mellyel növelt felületi keménység, és nagyobb kopásállóság érhető el. A létrehozott réteg a felülettől számított megközelítőleg 2 mm vastagságú lehet, keménysége akár a 65 HRC-t is elérheti, így akár bevonatok támaszrétegeként is viselkedhet. Jellemzően 2%-ot meg nem haladó szén tartalmú acéloknál alkalmazható, mely biztosítja, hogy a magban ne jelenjen meg beedződés,

ezáltal biztosított legyen az alkatrész belső részeinek szívós viselkedése [2].

A felületek tribológiai tulajdonságainak javítása érdekében különböző bevonatok és bevonatolási technológiák kerültek kifejlesztésre, melyek közül elterjedten használtak a különböző PVD (Physical Vapor Deposition) eljárások (mint pl.: nitridálás (TiN, CrN, VN), , vagy akár a DLC (Diamond-Like Carbon) eljárások [3]. A kutatásban a betétedzés és a DLC bevonatok együttes tulajdonságainak vizsgálata történt. A DLC bevonatok kedvező tulajdonságai közé tartozik a nagy keménység, illetve a kiváló súrlódási és kopásállósági jellemzők, melyeket akár kenőanyagok jelenléte nélkül is képes elérni. Az említett előnyös tulajdonságai miatt az orvosi műszereknél és különböző gépészeti megoldásoknál (pl.: gépjárművek tüzelőanyagbefecskendezői, csapágyazások, hajtóműfogaskerekek) előszeretettel alkalmazzák. Létrehozása történhet ionsugaras leválasztással, katódporlasztással, vagy plazmával történő ionimplantációval. A művelet akár alacsonyabb hőmérsékleten is történhet (akár már 50°C-on is megfigyelhető a rétegnövekedés), amely biztosítja, hogy a bevonatolás előtti hőkezelési állapot ne változzon meg. A réteg létrehozásakor a DLC bevonat dópolható (pl.: hidrogénnel, oxigénnel, nitrogénnel), mely elemek jelenléte és mennyisége változtatja a bevonat tulajdonságait, mely lehetőséget nyújt arra, hogy különböző alkalmazási területekre optimalizálhatóvá váljon a bevonat [4,5].

Jelen kutatás célja, hogy a DLC bevonat tapadási tulajdonságait és jellemző károsodási mechanizmusait vizsgálja a betétedzett kéregvastagság függvényében ún. Daimler-Benz adhéziós vizsgálat segítségével, illetve feltárja az ezek közti összefüggéseket.

2. Anyagok és módszerek

2.1 Az alapanyag bemutatása

A kísérletsorozatban szereplő alapanyag az iparban fogaskerekek és tengelyek gyártásánál gyakran használt 16MnCr5 (EN 1.7131, BC3), mely alacsony karbontartalmának köszönhetően betétedzésre kiválóan alkalmas. Összetételét az 1. táblázat mutatja be. Betétedzést követően ezen anyagtípus külső kérge magas keménységi értékekkel és kitűnő kopásállósággal rendelkezik, felületének tribológiai tulajdonságai tovább javíthatók PVD bevonatokkal, például DLC-vel. A próbatestek alapanyaga Ø36 mm-es köracél volt, ebből kerültek kialakításra a 8 mm vastagságú Ø30 mm-es darabok, melyek homlokfelületei köszörültek, palástfelületei esztergáltak.

1. táblázat A 16MnCr5 kémiai összetétele

Megnevezés	C, tf%	Si, tf% ≤	Mn, tf%	P, tf% ≤	S, tf% ≤	Cr, tf%
16MnCr5	0,14-0,19	0,40	1,00-1,30	0,025	0,035	0,80-1,10

2.2 Betétedzés technológiájának ismertetése

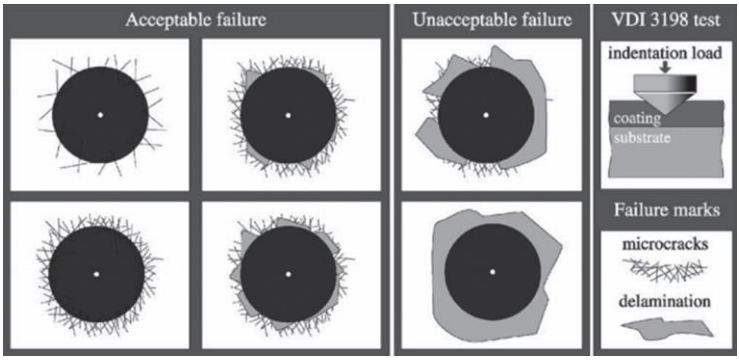
A technológia paraméterek változtatásával két jellemző rétegvastagságú próbatestsorozat került előállításra, melyek rendre 0,5 és 1,0 mm-esek. A használt betétedzési technológia hét lépésre osztható, melyek:

1. Felhevítés a cementálás hőmérsékletére
    a. Endogázban; $c_p \approx 0{,}35 \rightarrow$ (Földgáz (metán, CH_4) – levegő = 2 CH_4 + O_2 + 3,76 N_2 → 2 CO + 4 H_2 + 3,76 N_2 = Összetétel: 20% CO, 40% H_2, 40% N_2)
2. Cementálás
    a. 920-930°C
    b. magas $c_p \approx 1{,}1$; szabályzás: + földgáz; - levegő
    c. Idő: a teljes idő 2/3-a

3. Diffúzió
    a. 920-930°C
    b. alacsonyabb $c_p \approx 0{,}9$; szabályzás: + földgáz; - levegő
    c. Idő: a teljes idő 1/3-a
4. Lehűtés edzési hőfokra + hőkiegyenlítés
    a. alacsony $c_p \approx 0{,}8$; szabályzás: + földgáz; - levegő
    b. Idő: 45 – 60 perc
5. Hűtés olajban
6. Mosás
7. Megeresztés: 170°C / 2 óra

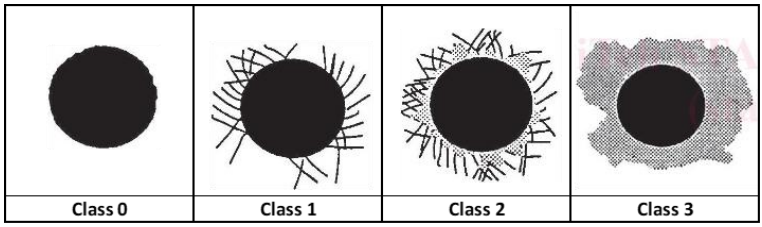
2.3 DLC bevonatok adhéziós tulajdonságainak vizsgálati módszerei

A DLC és egyéb bevonatok gyakori károsodási mechanizmusa a repedések megjelenése, lepattogás, illetve a gyenge adhézióból adódó bevonatleválás, ún. delamináció. Az adhéziós tulajdonságok tesztelésére az iparban is alkalmazott módszer a Daimler-Benz vizsgálat, mely Rockwell-C típusú indenterrel történik, 150 kg terhelőerő használata mellett [6]. A kiértékelés az 1. ábra alapján történhet.

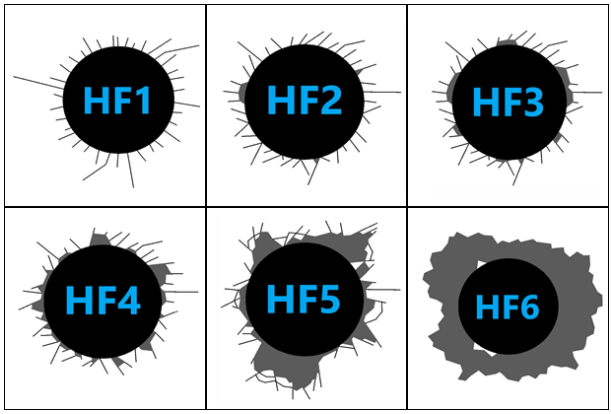


1. ábra A kiértékelést segítő táblázat a VDI 3198 szerint [7]

A 1. ábrán a baloldali két oszlop a még elfogadható sérüléseket mutatja, jobb oldalon a már nem elfogadható kategóriába tartozó károsodási formák kerültek. Azonban a vizsgálat kiértékelése több szabvány szerint is történhet, ilyen például a 2. ábrán látható ISO 26443:2023 szabvány [8], mely négy különböző károsodási osztályt különböztet meg, illetve a DIN 4856 szabvány [9], mely esetén HF1, HF2, HF3 és HF4 elfogadható, a HF5 illetve a HF6 már nem megfelelő adhéziót jelent.



2. ábra A kiértékelést segítő táblázat a ISO 26443:2023 szerint [8]

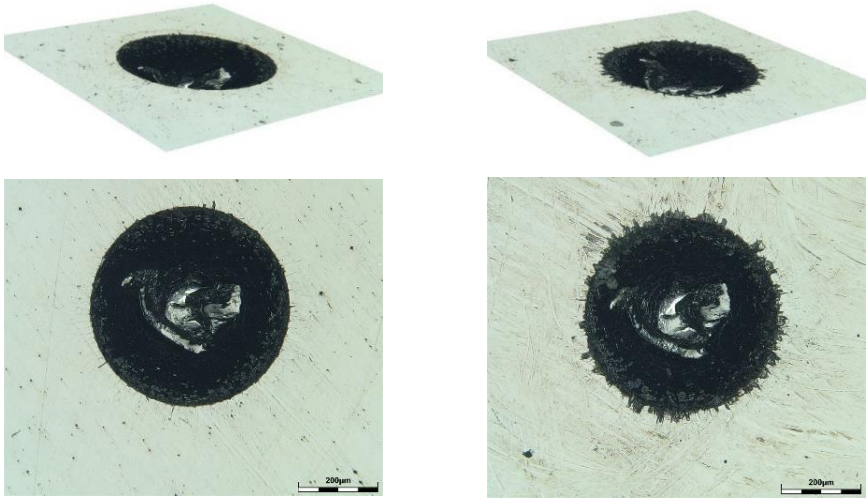


3. ábra A kiértékelést segítő táblázat a DIN 4856 szerint [9]

3. Eredmények

A kutatásban szereplő darabok és rétegvastagságok esetén a használt terherlőerő 150 kgf, mely eltér a szabványban [8] meghatározott 100 kg-os terheléstől, azonban a vizsgálatok szempontjából az eredmények szemléletesebb megjelenítése érdekében a terhelés növelésre került, ezzel növelve a bevonatkárosodás mértékét

A Daimler-Benz adhéziós vizsgálat eredményeit a 4. ábra összesíti képek formájában.

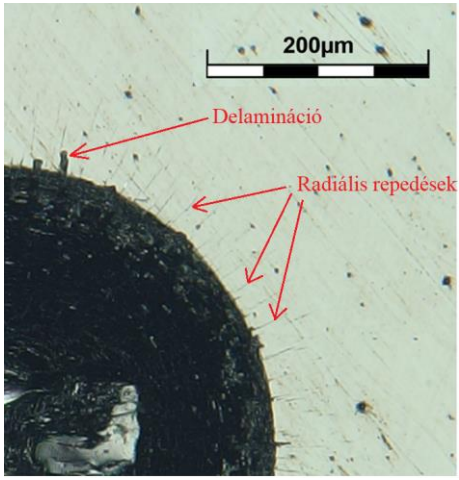


a) Kéregvastagság 0,5 mm *b) Kéregvastagság 1,0 mm*

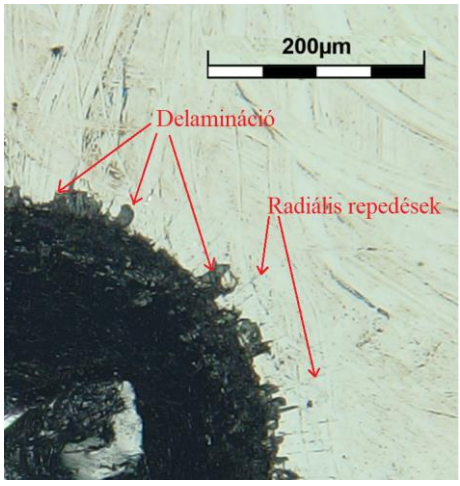
4. ábra Daimler-Benz adhéziós vizsgálat eredményei

A vizsgálatban szereplő két rétegvastagság esetén jelentős különbségek mutatkoztak meg. A 0,5 mm-es betétedzett réteg esetén radiális repedések jelentkeztek, illetve enyhe delamináció figyelhető meg, melyet az 5. ábra részletesen ismertet. Az 1,0 mm-es kéreghez tartozó Daimler-

Benz vizsgálat részletesen elemzett képe a 6. ábrán található, ezen betétedzési mélység mellett jelentős delamináció jelentkezett, illetve itt is megjelentek a radiális repedések. Jelen kísérletsorozat esetén kijelenthető, hogy a nagyobb rétegvastagság esetén a károsodás mértéke szignifikánsan nagyobb. A delamináció és a DLC réteg lepattogzódása az 1,0 mm-es betétedzési mélység esetén DIN 4856 [9] szerint HF3-ba sorolható, míg a 0,5 mm-es darab esetén HF2-es besorolás adható. Mindezek alapján kijelenthető, hogy az adott próbadarabok esetén a növelt betétedzési mélység negatív hatással volt a DLC réteg adhéziós tulajdonságaira, azonban a kísérletsorozat további bővítése más betétedzési mélységű darabokkal jelentős többletinformációval szolgálhat.



5. ábra 0,5 mm-es betétedzett kéreghez tartozó Daimler-Benz vizsgálat részletes képe



6. ábra 1,0 mm-es betétedzett kéreghez tartozó Daimler-Benz vizsgálat részletes képe

Köszönetnyilvánítás

A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTÉRIUM 2024-2.1.1 KÓDSZÁMÚ EGYETEMI KUTATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

4. Hivatkozások

[1] Wołowiec-Korecka, E. (2023). Case hardening development review (2001-2020). *Archives of Materials Science and Engineering*, *120*(2), 70-85.

[2] Tóth, L., Nyikes, Z., & Mhatre, U. (2020). Szerszámacélok felületi kopásállóságának növelése felületkezeléssel. *Műszaki Tudományos Közlemények*, (13), 170-173.

[3] Lukaszkowicz, K. (2011). Review of nanocomposite thin films and coatings deposited by PVD and CVD technology. *Nanomaterials*, 145-163.

[4] Yang, L., Li, T., Shang, B., Guo, L., Zhang, T., & Han, W. (2024). The Influence of Deposition Temperature on the Microscopic Process of Diamond-like Carbon (DLC) Film Deposition on a 2024 Aluminum Alloy Surface. *Crystals*, *14*(11), 950.

[5] Erdemir, A., Eryilmaz, O. L., Nilufer, I. B., & Fenske, G. R. (2000). Effect of source gas chemistry on tribological performance of diamond-like carbon films. *Diamond and Related Materials*, *9*(3-6), 632-637.

[6] Rodríguez-Castro, G. A., Jiménez-Tinoco, L. F., Méndez-Méndez, J. V., Arzate-Vázquez, I., Meneses-Amador, A., Martínez-Gutiérrez, H., & Campos-Silva, I. (2015). Damage mechanisms in AISI 304 borided steel: scratch and daimler-benz adhesion tests. *Materials Research*, *18*, 1346-1353.

[7] Zong, X., Jiang, W., & Fan, Z. (2018). Characteristics and wear performance of borided AISI 440C matensitic stainless steel. Materials Express, 8(6), 500-510.

[8] ISO 26443:2023 Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Rockwell indentation test for evaluation of adhesion of ceramic coatings, Published (Edition 2, 2023)

[9] DIN 4856 Carbon-based films and other hard coatings - Rockwell penetration test to evaluate the adhesion standard by Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard), 02/01/2018

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Furatmegmunkálási eljárások összehasonlító vizsgálata

Comparative Study of Hole Machining Processes

[1]Ráczi Viktor Gergely, [2]Mikó Balázs

[1]*Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, raczi.viktor@bgk.uni-obuda.hu*
[2]*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Gépészeti és Technológiai Intézet, Gyártástechnológiai Intézeti Tanszék. Budapest, Magyarország, miko.balazs@bgk.uni-obuda.hu*

Összefoglalás

A cikk a körzsebekkel ellátott munkadarabok megmunkálásának kísérleti vizsgálatával foglalkozik. Vizsgálatunk során három különböző eljárást használtunk (esztergálás, kiesztegálás, marás). Célunk meghatározni az alkalmazott eljárások és a megmunkáláskor beállított technológiai paraméterek hatását a hengeresség tűrés alakulására 1.0503-as anyag alkalmazása esetén. A vizsgálat során Taguchi kísérlettervet alkalmaztunk. A vizsgálatok alapján kiválasztható a megfelelő eljárás és a hozzá tartozó paraméterkombináció, hogy minél kedvezőbb hengeresség hibával ellátott körzsebet hozzunk létre.

Kulcsszavak: Furatmegmunkálás, Kiesztergálás, Marás, Taguchi kísérlettervezés; Hengeresség tűrés

Abstract

This article deals with the experimental investigation of machining workpieces with circular pockets. Three different processes (turning, fine boring, milling) were used in the investigation. The aim is to determine the effect of the processes used and the process parameters set during machining on the development of errors in machined cylindrical workpieces when using 1.0503 material. A Taguchi experimental design was used in the study. Based on the results, the appropriate process and the corresponding parameter combination can be selected in order to obtain a circular pocket with the most favourable cylindricity defect.

Keywords: Hole machining, Fine boring, Milling, Taguchi experiment design; Cylindricity error

1. Bevezetés

Napjainkban az autóipar, repülőgépipar, gépgyártás és orvosi technológia területein kiemelt jelentőséggel bír a precíziós furatok készítése, ezért számos kutatás foglalkozik ezzel a témával, mivel a modern iparban a minőségi követelmények folyamatosan szigorodnak. A geometriai pontosság, mint a köralakúság és a hengeresség, kulcsfontosságú a gépek és szerkezetek működési megbízhatóságához. A precíziós megmunkálás optimalizálása hozzájárul a gyártási hatékonyság növeléséhez, csökkentve az anyagpazarlást és a selejt arányát.

Furatmegmunkálás során számos különböző forgácsolási eljárást használhatunk, melyek paraméterei hatással vannak a létrejövő furat mikro- és makropontosságára. Kundrák és tsi. [1] összehasonlító kutatást végeztek az 1.7147 jelölésű acélba történő (62-64 HRC) furatok

megmunkálására vonatkozóan. Kutatásuk során három eljárást elemeztek: a hagyományos köszörülést, a kemény esztergálást különböző előtolásokkal, valamint a két módszer kombinációját (kemény esztergálás, majd finomköszörülés). A vizsgálat célja, hogy értékeljék a megmunkálási pontosságot és a felületi érdességet, és meghatározzák, melyik módszer bizonyul a leghatékonyabbnak a fogaskerékgyártás során készített furatok esetén. Az eredmények rávilágítottak arra, hogy a kemény esztergálás (0,1–0,2 mm-es előtolással) és a kombinált eljárás is hasonló vagy jobb teljesítményt nyújt, mint a köszörülés, miközben magasabb termelékenységet és környezetkímélőbb megoldást biztosítanak. A tanulmány fontos gyakorlati útmutatást ad a megmunkálási módszer megválasztásához, a kívánt felületi topológia és pontossági követelmények figyelembevételével. Orgiyan és tsi. [2] 1.0715 jelölésű acél precíziós furatolásának kísérleti vizsgálatát ismertetik. A kutatás különböző forgácsolási paraméterek (forgácsoló sebesség, előtolás, fogásmélység, szerszám sugár) hatását vizsgálta a szerszám kopására, a furat pontosságára (egyenesség, köralakúság, felületi érdesség) és a szerszám élettartamára. A kísérlet során egy-, és kétélű kiesztergáló szerszámokat vizsgáltak. A kísérleteket során 2^{4-1} részfaktoros kísérlettervet alkalmaztak. A mérési eredményekből matematikai modelleket alkottak többváltozós regresszióanalízis (MRA) módszerének alkalmazásával, meghatározva az optimális forgácsolási paramétereket a megfelelő felületi minőség és a hosszú szerszámélettartam elérése érdekében. Mérési eredmények alapján azt a következtetést vonták le, hogy a forgácsolási sebesség növelése pozitív hatással van a simító kiesztergálási folyamat kimeneti paramétereire, míg a szerszám sarokrádiuszának növelése csökkenti a megmunkált felület érdességét, a szerszám relatív kopását és a furatok kúposságát. A fogásmélység negatív hatással van az összes folyamatparaméterre és az előtolás növelésével a megmunkált felület érdessége enyhén nő. Varga és tsi. [3] tanulmányt készítettek kísérleti úton történő 1.0503-as hengeres acél kör alakú külső felületének megmunkálásáról. A vizsgálat során egy ütőkést alkalmaztak, amelyet az úgynevezett "külső fúrás" technikát használva végzik a forgácsolást. A kutatás célja empirikus összefüggések feltárása a forgácsolási paraméterek (forgácsolási sebesség, előtolás), valamint a hűtő-kenő folyadék jellemzői (viszkozitás, térfogatáram) és a megmunkált felület alakhibái között. Az utóbbiak közé tartoznak a csúcs-völgy hengeresség tűrés (CYL_t), a csúcs-referencia hengeresség tűrés eltérés (CYL_p) és a referencia-völgy hengeresség tűrés eltérés (CYL_v). A vizsgálat során teljes faktoriális kísérlettervezést alkalmaztak, az eredményeket pedig MathCAD szoftver alkalmazásával dolgozták fel, mely során empirikus képleteket és háromdimenziós ábrákat használtak az optimális paraméterkombinációk meghatározásához. Külön hangsúlyt fektettek a környezetbarát megmunkálási módszerek alkalmazására, kiemelten a hűtő-kenő folyadék mennyiségének minimalizálására, valamint annak hatására a hengeresség pontosságra. A kísérletek alapján azt a következtetést vonták le, hogy a legkisebb hengereségi hibát a kisebb viszkozitású emulzió, a nagyobb forgácsolási sebesség, a kisebb előtolás és a kisebb térfogatáram alkalmazása során érhető el.

A. Iqbal és tsi. [4] kutatást végeztek 1.0511 jelölésű kovácsolt acélban található előfúrt furatok átmérőjének bővítésére. Két megmunkálási eljárás alkalmazásával (fúrás, marás) végeztek kísérleteket. A tanulmány célja a forgácsolási eljárások fenntarthatóságának összehasonlítására irányult. A kutatás keretében teljes faktoros kísérlettervezést alkalmaztak, így 16 kísérletet végeztek (2^4) különböző forgácsolási sebességek, furatmélységek és anyagkeménységek mellett, amelyek során a felületi érdességet, a fajlagos vágási energiát és a szerszámkopást mérték és értékelték. Az eredmények rámutatnak, hogy míg a fúrás kimagaslóan jobb felületi minőséget biztosít, a marás kedvezőbb gazdasági és környezeti teljesítményt nyújt az alacsonyabb energiafelhasználás és szerszámkopás révén. A tanulmány egy új fenntarthatósági összehasonlító indexet is bevezetett, amely integrálja a vizsgált három paraméter fontosságát, ezzel átfogóbb értékelést téve lehetővé a különböző megmunkálási módszerek fenntarthatóságának szempontjából.

Cikkünk célja bemutatni, az alkalmazott eljárások (esztergálás, kiesztergálás, marás) és a

megmunkáláskor beállított technológiai paraméterek hatását a hengeresség hiba alakulására.

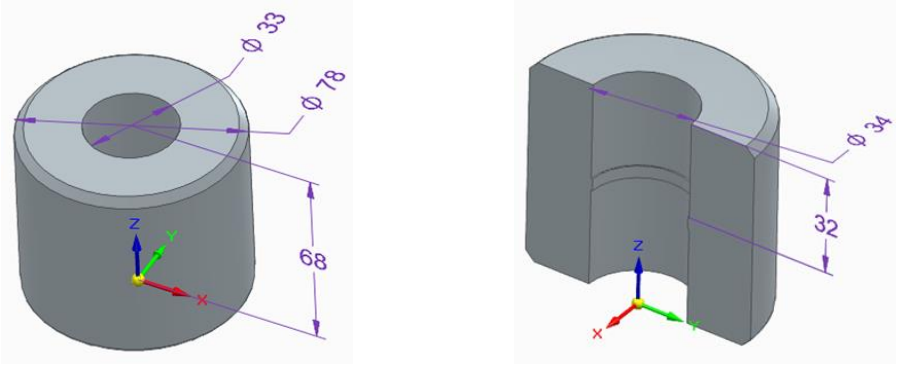
2. Anyagok és módszertan

A forgácsolási kísérletek során három különböző forgácsolási technológiával lettek elkészítve a körzsebek. Mindhárom technológia során keményfém szerszámokkal végeztük el a kísérleteket, amiket a Walter Hungária Kft. biztosított számunkra. Az esztergálással készített körzseb esetén A20S-SDQCL11 jelű fúrórudat és DCMT11T304-MP4-WPP20G jelzésű lapkát alkalmaztunk. Kiesztergálással készített munkadarabok során B4030G. T28. 33-41.Z jelű szerszámot és TCMT06T104-FP4 jelzésű lapkát használtunk, míg marással készített körzseb megmunkálásánál H4021017-20 jelölésű ujjmarót alkalmaztunk.

A forgácsolási vizsgálatokat MAZAK SQT 10 MS CNC megmunkálóközponton és Mazak Nexus 410A-II CNC marógépen hajtottuk végre. A szerszámok állapotfelmérését és geometriai méreteik ellenőrzését (valós szerszámátmérő megállapítása kiesztergáló- és marószerszám esetén) Elbo Controlli Hathor lézeres szerszámbemérő segítségével végeztük el.

A forgácsolási kísérleteket 1.0503 (C45) jelű nemesíthető szénacélon végeztük (kémiai összetétel: C: 0,43-0,5%; Si: <0,4%; Mn: 0,5-0,8%; Mi: <0,4%; P <0,045%; Cr: <0,4%; Mo: <0,1%). Az anyagot jó mechanikai tulajdonsága miatt gépészeti és szerkezeti alkatrészek alapanyagaként alkalmazzák. Az általunk használt Ø80x70 mm-es geometriai mérettel rendelkező munkadarabok keménysége HV30 185 ± 7,3 (σ:3,65) volt.

A kísérlet során használt munkadarabok előgyártmányait MAZAK SQT 10 MS CNC megmunkálóközpont segítségével készítettük el két felfogásban (1. a) ábra). A kísérlet során Ø34 mm átmérőjű körzseb simítását végeztük el 32 mm mélységig (1. b) ábra). A vizsgálat során a fogásmélység nagysága (a) (marás esetén fogásszélesség (a_e)) 0,5 mm volt. A kísérleti eredmények összehasonlíthatósága érdekében, az anyagáram (V' [mm^3/min]) értéke, mindhárom technológia esetén azonos, ugyanazon technológiai paraméterek beállítása mellett. Forgácsolási kísérlet során árasztásos hűtés (MOL Emolin 420 6%-os oldat) használata mellett végeztük el a kísérleteket.



a) *b)*

1. ábra A vizsgálat előgyártmánya (baloldalt) és az elkészítendő geometria (jobboldalt)

A forgácsolási kísérleteket, Taguchi kísérlet tervezési módszer alapján terveztük meg (L8). Három kísérletsorozatot végeztünk el úgy, hogy mindegyik technológia esetén változtattuk a forgácsolósebesség (v_c) és a forgánkénti előtolás (f_z) értékét 3-3 szinten. Az 1. táblázat szemlélteti az alkalmazott technológiai paraméterek értékét.

1. táblázat A kísérleteknél alkalmazott technológiai paraméterek

Esztergálás			Kiesztergálás			Marás		
No.	v_c	f_z	**No.**	v_c	f_z	**No.**	v_c	f_z
	[m/min]	**[mm]**		**[m/min]**	**[mm]**		**[m/min]**	**[mm]**
1	180	0,05	4	180	0,1	7	180	0,15
2	200	0,1	5	200	0,15	8	200	0,05
3	220	0,15	6	220	0,05	9	220	0,1

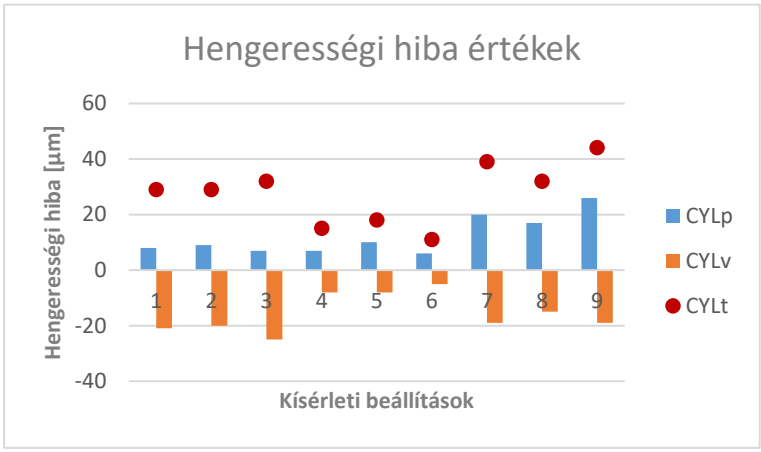
A forgácsolási kísérleteket követően Mitutoyo CRYSTA-Apex V544 koordináta mérőgép segítségével határoztuk meg a kialakult körzseb hengeresség hibáját (CYLt) és geometriai méretének eltérését az elméleti geometriától. Hengerességtűrés értékének meghatározásakor 6 szinten (h: 2, 7, 12, 17, 22, 27 mm) mértünk, szintenként 24 pontot (összesen: 144 pont). A mérési eredményeket a mérőgép szoftverével értékeltük ki. A méreteltérést (ΔD) és három hengerességi mérőszámot elemeztünk, amelyek leginkább az üzemi tulajdonságokat határozzák meg: CYLt - a csúcs és a völgy közötti hengeresség eltérés, CYLp - a csúcs és a referencia hengeresség közötti eltérés és CYLv - a referenciától a völgyig terjedő hengeresség-eltérés (CYLt = CYLp +CYLv) [5]. A fent említett hengerességi paramétereket az ISO 12180-1-2011 szabvány tartalmazza.

3. A mért értékek bemutatása

A 2. táblázat mutatja a vizsgálat során mért eredményeket mind a három használt eljárás esetén. Az eredmények meghatározásánál a legkisebb négyzetek módszerét (Least Squares Cylinder Fit) alkalmaztuk, ami minimalizálja a mért pontok és az illesztett henger középpontjának tengelyére merőleges távolságok négyzetösszegét. A kapott eredmények grafikus ábrázolása (2. ábra) egyértelműen szemlélteti, hogy az eredmények a különböző forgácsolási eljárások alkalmazása alapján jól elkülöníthetők.

2. táblázat Kísérleteknél mért értékek

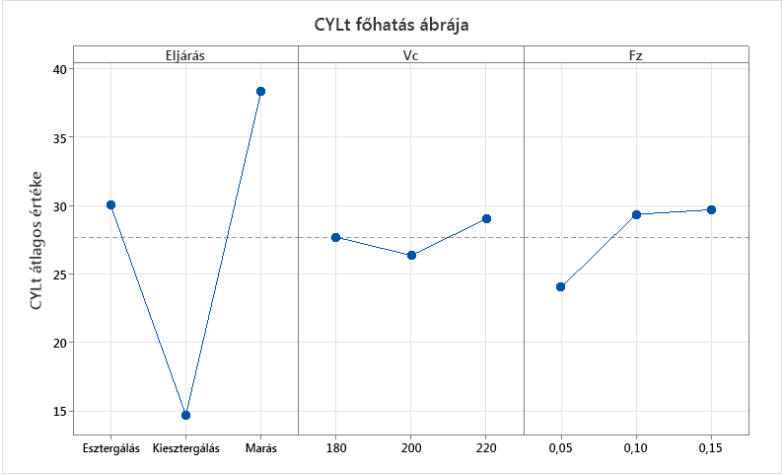
Esztergálás					Kiesztergálás					Marás				
No.	**ΔD**	**CYLt**	**CYLp**	**CYLv**	**No.**	**ΔD**	**CYLt**	**CYLp**	**CYLv**	**No.**	**ΔD**	**CYLt**	**CYLp**	**CYLv**
	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]		[µm]	[µm]	[µm]	[µm]		[µm]	[µm]	[µm]	[µm]
1	-38	29	8	-21	4	77	15	7	-8	7	-78	39	20	-19
2	-43	29	9	-20	5	60	18	10	-8	8	-11	32	17	-15
3	-48	32	7	-25	6	74	11	6	-5	9	-56	44	26	-19



2. ábra A hengerességi hibák mért értékei

4. A mért értékek elemzése és megállapítások

Az eredmények kiértékelésénél a vizsgált paraméterek főhatás ábráinak elemzésével vontunk le következtetéseket. A főhatás ábra a mért eredményekben lévő véletlen változékonyság hatását mutatja az elérni kívánt válaszváltozóra. Mind a négy vizsgált paraméter esetén elmondható, hogy az eljárásnak van a legnagyobb hatása a vizsgált paraméterekre. A főhatás ábrák vizsgálata alapján megállapítható, hogy a forgácsolási sebesség befolyásolja legkevésbe a vizsgált paramétereket. Az elméleti átmérőtől való eltérés (ΔD) esetén a kiesztergálás adja a legrosszabb eredményeket ($\Delta\overline{D}$ 67 µm), ez a szerszám helytelen beállításából eredeztethető. Emellett a ΔD értéke az előtolás növelésével javul. A CYLt paraméter vizsgálata esetén a kiesztergálás adja a legjobb eredményt, így elmondható, hogy a kiesztergálással készített körzsebek hengeresség tűrése a legkisebb. A CYLt értékére a forgácsoló sebesség (v_c) kis hatással van, míg az előtolás (f_z) ront az értéken (3. ábra).



3. ábra A technológiai paraméterek hatása a CYLt értékre

A csúcs-referencia hengerességi eltérés (CYLp) értéke esetén elmondható, hogy az esztergálás és a kiesztergálás hasonlóan befolyásolja a nagyságát, míg marásnál CYLp értéke nagymértékben nő. A forgácsoló sebesség hatása kis mértékű, míg az előtolás növelése ront a CYLp értékén. A völgy-referencia hengerességi eltérés (CYLv) értéke kiesztergálásnál a legkedvezőbb, míg esztergálás esetén a legkedvezőtlenebb. A forgácsoló sebesség és az előtolás hatása hasonlóan alakul, mint CYLp érték esetén.

5. Összefoglalás

Jelen tanulmány célja a körzsebek megmunkálási technológiájának optimalizálása, valamint a technológiai paraméterek hatásának részletes vizsgálata volt. Három különböző technológiát alkalmaztunk (esztergálás, kiesztergálás, marás), 1.0503-as nemesíthető szénacélból készült munkadarabokon. A forgácsolási kísérletet Taguchi-módszerrel terveztük meg (L8: 3^3), változtatva a forgácsolósebesség és az előtolás értékét. A felületek pontosságának vizsgálatát koordináta-mérőgéppel végeztük, amely során három hengerességi paramétert (CYLt, CYLp, CYLv), valamint az elméleti geometriai mérettől való eltérést elemeztük. Az értékeléshez munkadarabonként 144 mért pont adatát használtuk fel.

A kiesztergálás bizonyult a legpontosabb módszernek a körzsebek előállítására, mert ezzel az eljárással készült a legkisebb hengeresség eltérés. A forgácsolósebesség növelése csökkenti, míg az előtolás hatás kevésbé befolyásolja a hengeresség hiba nagyságát. A kiesztergálással készült körzsebek méretei a legnagyobb mértékben tértek el az elméleti értéktől, ami a szerszám helytelen beállítására vezethető vissza. Ugyanakkor ennél az eljárással a hengerességi eltérések átlagos értékei, a CYLp (csúcs-referencia hengerességi eltérés) és a CYLv (völgy-referencia hengerességi eltérés), egyaránt 8 μm nagyságúak. Ezzel szemben esztergálás során a hengerességi eltérésekben a völgyek mérete dominál, míg marás esetében a csúcsok kiemelkedése jellemző.

6. Irodalom

[1] J. Kundrák, I.Sztankovics, F. Lukács (2020). Comparative Analysis of Hard Machines Bores Based on the Roughness and Accuracy. Cutting & Tool in Technological System, No 92, 19-25, DOI: 10.20998/2078–7405.2020.92.03.

[2] A. Orgiyan, G. Oborskyi, A. Balaniuk, V. Kolesnik, V. Dotsenko (2021). Influence of Cutting Modes on Wear Resistance of Cutters and Accuracy of Fine Boring of Steels. Proceedings of Odessa Polytechnic University, Issue 2 (64), 32-39. ISSN: 2223-3814.

[3] Gy. Varga, T. Puskás, I. Debreceni (2018). Examination of Shape Error of Outer Cylindrical Surfaces Machined by Environmentally Friendly Way. International Journal of Mechanical Engineering, 3, 43-51. ISSN: 2367-8968.

[4] A. Iqbal, H. Suhaimi, N. He. (2019). A sustainability comparison between drilling and milling for hole-enlargement in machining of hardened steels. Machining Science and Technology, 5, 712-733. DOI: 10.1080/10910344.2019.1575409.

[5] Whitehouse, D.J. (2011). Handbook of Surface and Nanometrology, Taylor and Francis Group, Second edition.

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY
A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata
Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)

Bűnözés a térfigyelő kamerák tükrében

Crime in the light of CCTV

[1]Steiner Attila

[1]*Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, ORCID: 0000-0002-8325-772X, steinerattila70@gmail.com*

Összefoglalás

Cél: térfigyelő rendszerek használatának következményei

Módszertan: A tanulmány szerzője gyakorló szakemberként vizsgálja a térfigyelő kamerák hatását, azok fokozásának irányát.

Megállapítások: A szerző betekintést ad a térfigyelő kamerák hatásmechanizmusába. Milyen dinamikusan fejlődik és milyen mértékben vesz részt a megelőzés komplex rendszerében. Mára a térfigyelőre nem egy önálló megelőzési eszközként kell tekinteni, hanem egy rendszer részeként, melynek hatása messzebb nyúlik, mint azt általában gondolnánk.

Érték: A szerző a térfigyelő kamerák hatásán keresztül nyújt támaszt a további kamerafejlesztések terén a döntési mechanizmusokhoz.

Kulcsszavak: térfigyelés, bűnmegelőzés, hatékonyságnövelés, jó gyakorlat

Abstract

Objective: CCTV consequences of the use of surveillance systems

Methodology: The author of the study is a practitioner who examines the impact of CCTV cameras and the direction of their enhancement.

Findings: The author provides an insight into the mechanism of action of CCTV cameras. How it evolves dynamically and to what extent it participates in a complex system of prevention. Today, CCTV should not be seen as a stand-alone prevention tool, but as part of a system whose impact extends further than is generally thought.

Value: The author provides support for decision-making mechanisms for further camera developments through the impact of CCTV.

Keywords: surveillance, crime prevention, efficiency improvement, good practice

1. Térfigyelés kialakulásának, fejlődésének okai

A minket körülvevő világban a biztonság egyre nagyobb szerepet kap. Nemcsak a saját környezetünknek, hanem tágabb értelemben a mindennapjainknak is része lett a fenyegetettség, és így a biztonságérzet hiánya. A biztonság komplex fogalmi rendszer – „*a létezés és a működés káros befolyásoló hatásaitól és a veszélyteményezőktől kellően mentesített, védett állapot*”. [1] A migráció, politikai csatározások, Európa és a közel-keleti háborúk, a gyűlölet alapú támadások és az ezekről beszámoló média akaratlanul is csökkenti a szubjektív biztonságérzetünket, miközben az IPSOS által 28 országban végzett felmérés és az Országos Rendőr-főkapitányság 2022. évi tevékenységének beszámolója alapján, a világon a magyarok aggódnak a legkevésbé (4%) a bűnözés

és az erőszak miatt a hazájukban. Az ausztrál Institute for Economics and Peace tanulmánya szerint „*A Globális Békeindex*” IEP mérőszámai alapján Magyarország a világon 2021.-ben 19., 2022-ben 13., 2024-ben a 14., míg Európában 2021-ben 14., 2022-ben a 9., 2024-ben 10. legbékésebb országnak minősül. [2]

1.1 Kamerák kialakulása

A videó megfigyelő rendszereket az elektronikai rendszereken keresztül a fizikai biztonság körébe soroljuk. A szituációs bűnmegelőzési intézkedések terén általánosan elfogadott módszerré váltak, de a környezetben kifejtett számszerűsíthető és szubjektív érzeten keresztül mérjük a közbiztonságra gyakorolt hatásukat. Több együttes összetevőre volt szükség a ma ismert térfigyelő rendszerek kialakulásához. A műszaki, technikai fejlődés szinte párhuzamosan zajlott az igénnyel, hogy használni tudják, bár az elvárásokat gyakran nem igazolták vissza a tapasztalatok.

A biztonsági kamerák megfigyelésre szolgáló fényképezőgépek történetének kezdetéről nincsenek pontos feljegyzések, de 1913-ban a londoni Holloway börtönben, mint, „*modern fényképészeti felügyelet*”-et alkalmazták. Az első mozgóképet előállító kamerát 1927-ben használták Szovjetunióban. [3] Az első elektronikus letapogatású kamerát alkalmazó videó megfigyelő rendszert, a Closed-Circuit Television/CCTV-t, azaz zárt láncú televíziós rendszert katonai céllal használták Peenemündében (Németország) 1942-ben. A rendszer szállítója a Siemens AG és Walter Bruch mérnök volt, akinek a nevéhez fűződik az 1936-os olimpián használt egyik kameratípus fejlesztése, és az 1960-as években létrehozott színes TV és CCTV alapját jelentő PAL szabványrendszer. [4] Bruch felelős a telepítésért és üzemeltetésért. 1949-ben az Egyesült Államokban kereskedelmi forgalomba került az első CCTV, 525 soros felbontással. A Vericon rendszer elérhetővé vált kereskedelmi felhasználók számára is. Az összeköttetésről a mai napig használt koaxiális kábel gondoskodott. Ennek a kameratípusnak is elsősorban katonai célú felhasználást szántak, siklóbombákba építették. Rendőrségi, utcai felhasználását 1956-ban Németországban Hamburgban (1959-ben Hannoverben) kezdték meg, de a ma ismert térfigyelő rendszerként 1960-ban Frankfurtban kezdték használni közlekedési szabálysértések és a forgalom megfigyelésére. Bár a németek voltak az elsők, az Egyesült Királyságban kezdtek el kísérletezni a közterület tartós megfigyelésével, 1960-ban. Az első amerikai telepítés 1966-ban a Jersey-i Hoboken városában működött. A bűncselekmények csökkentésének céljával 1968-ban, az Egyesült Államokban, Oleanban (New York állam) telepítettek kamerákat a főút mentén az áruházi betörések miatt tett panaszok nyomán. 1971-ben a New York állambeli Mount Vernonban is telepítettek, és bár a megfigyelt területeken a betörések száma huszonötről kilencre, a bűncselekmények vagy szabálysértések 99-ről 49-re csökkentek egy év alatt, a hároméves működés alatt letartóztatás nem történt, ezért 1974-ben fel is számolták. [5,6] A növekvő bűnözés visszaszorítására 1982-ben a floridai Miami Beach városában telepítettek összesen 20 kamerát, mely 112 kameradobozban került elhelyezésre váltogatva. A korábbiakban tapasztalt eredménytelenség miatt 1984-ben leszerelésre került. [7]

A térfigyelő rendszerek fejlődéséhez több összetevőre volt szükség, melyek közül az egyik mérföldkő a VHS szalagok feltalálása, melyet 1976-ban mutattak be. 1958-tól már volt szalagos rögzítés, U-Matic, 1 colos szalagon, de ennek magas ára nem tette lehetővé, hogy elterjedjen a biztonságtechnikában, A VHS technika tette azonban igen, mely leginkább a nyolcvanas években vált közismerté. [8] 1970-től kezdtek elterjedni a színes térfigyelő rendszerek, melyek jelentősen segítették az arcfelismerést, tekintettel arra, hogy a korábbi fekete-fehér kamerák erre kevésbé voltak alkalmasak. A Bell mérnökei, Wilard Boyle és George Smith 1969-ben megalkották az első CCD szenzort, melyet alapvetően nem képalkotásra szántak, de egy 1970 áprilisában megjelent cikkben felvetődött, hogy alkalmas lehet akár arra is. A képalkotásra alkalmas CCD 1970-ben került szabadalmaztatásra. Az eszköz lehetőséget biztosított gyenge fényviszonyoknál, éjszaka is

viszonylag jó felvételek készítésére.

A digitális képek és képfeldolgozás óta ismerjük és használjuk a pixel kifejezést. A pixel az angol picture element szóból származtatható, jelentése képelem**,** képpont. A pixel egy digitális raszterkép alapvető egységét jelöli. A pixelizáció ennek megfelelően egy kép digitális képpontokra bontásának folyamatát jelöli. A pixelek először 1954-ben jelentek meg a New Jersey-i Princeton Institute for Advanced Study-ban. Akkoriban a „*pixel*" szó egyszerűen a gép vákuumos memóriaregisztereinek izzó szálait írta le. A kifejezést később a képfeldolgozásban használták a képernyő vagy a kép raszteres elemeinek, a „*képelemeknek*", a Brunelleschi hálójába fogott fénynégyzetek leszármazottainak leírására. [9]

A videokamerákban alkalmazott CCD és CMOS képérzékelők feladata a vizuális kép átalakítása elektromos jelekké, amelyek alkalmasak megfelelő csatornán történő továbbításra, rögzítésre és esetleg képpé történő visszaalakításra. A fényinformáció elektromos jellé történő átalakítását a képérzékelő végzi. Ez a félvezető elem CCD (Charge Coupled Device, töltéscsatolt elem) vagy CMOS Complementary Metal-Oxide Semiconductor, azaz komplementer fém-oxid. [10] 1990-ben a multiplex, vagyis többkamerás rendszerek felhasználásával lehetővé vált mind az osztott képes megjelenítés, mind a képanyag rögzítése vagy visszajátszására egyaránt. A képrögzítő felé gyors egymásutánban léptetett, ún. szekventált képet továbbítanak, mely segítségével több kamerás megfigyelés vált könnyen elérhetővé. A kamerák közterületi elterjedése széles körben a 90-es évek elejére tehető. 1996-ban megjelent az első IP kamera. Az 1990-es évek közepétől új korszak nyílt a CCTV rendszerek történetében. A rögzítésnél a korábbi (VCR) rendszert felváltották a digitális, Digital Video, Recorder (DVR), azaz a digitális videó rögzítő a kamerából érkező analóg videó jeleket digitális módon dolgozza fel, tömöríti, majd merevlemezre rögzíti.

1.2 Kamerák a világban

Budapesten 1997-ben az V. kerületben került felszerelésre az első térfigyelő kamerarendszer, mely öt darabból állt. Mára a világ élvonalától lemaradva 2021-ben 3.248 térfigyelő üzemelt Budapesten. Manapság (2022-ben) Nagy-Britanniát emlegetik, mint a leginkább kamerával lefedett országot. 21 millió kamera jelenléte alapján úgy számolták, hogy egy átlagos londoni polgárról napi 300 felvétel készül, mely azt is mutatja, hogy a szigetország településeinek 90%-a kamerával lefedett terület. [11] A világ feltörekvő, pénzpiaci nyelven B-RICH társulás tagjai (India, Kína, Oroszország, Brazília, Dél-Afrika), messze megelőzve a fejlett nyugati világ vezető nagyhatalmait. 2.328,10 kamera/km^2 sűrűséggel megelőzi a hatodik Londont (989,44 kamera/km^2) Delhi, egy a Comparitech 150 városra kiterjedő felmérése alapján. [12] A kimutatás alapján Kína oly mértékben dominál a térfigyelő kamerák számát illetően, hogy a városait külön táblázatban kezelték – bár itt inkább becslésről lehet említést tenni –, mely esetben Pekingben a 21 milliós lakosságra közel 8 millió kamera jut. A felmérést vizsgálva több elgondolkodtató érdekességet is felfedezhetünk. Ilyen a világ egyik legszegényebb országaként ismert Banglades fővárosa Dhaka, ahol 16.000 kamera jut 22.478.116 főre (0,71 kamera/1.000 fő), ami 222,4 kamera/ km^2. A magyar fővárosban Budapesten 2021-ben 1,9 kamera/1.000 fő, ami 6,18 db kamera/km^2 adatokat mutathattunk ki.

2. Hogy kapcsolódik a térfigyelő a bűnözés-megelőzés rendszerébe

A térfigyelő rendszer hatása összetett, de mégis kirajzolódik, hogy nem csak önálló, a fizikai védelmi kategóriába tartozó eszköz, ezért nem is szabad ekként tekinteni rá. Önmagában nem képes jelentős hatást kifejteni, illetve azt is csak rövid ideig. Hosszabb távon csak rendszerben, egyéb aktívitás vagy kiegészítő eszköz bevonásával igazolja preventív hatását, elrettentő erejét, mely mára már bizonyított. [13]

Hatása legtöbbször a kutatás megközelítése, iránya alapján is mérhető, a kutatások jellege,

kiindulása és helye alapján eltérő. Eredményük lehet ellentmondásos, mint a Poznan városában kiterjedt kutatás [14], ahol anyagi, pénzügyi és költséghatékonysági oldalról közelítették meg a kérdést, három bűncselekménytípusra vonatkozóan, mely gépjárművel kapcsolatos és rablás bűncselekményekre terjedt csak ki, nem számszerűsítve azok lelki hatásait, továbbá nem volt része a kutatásnak azon testi sértés és életellenes bűncselekmények fajtája sem, ahol a reparáció ellehetetlenül, és így annak költsége sem kalkulálható. Más kutatások az előtte-utána időszakot vizsgálták, vagy kontrollterületeket hasonlítottak össze a vizsgált terület környezetében. Külön érdekes mérés volt az elkövetői oldal szubjektív mérése, amely során 139 és 179 [15,16] fogvatartottak kerültek interjúztatásra egy előre meghatározott keretrendszer szerint. A korábbi kutatásban 72,4%, a későbbiben 83%-a az elítélteknek nyilatkozott arról, hogy saját eljárásuk, véleményük szerint jelentős bűnmegelőző hatása van a térfigyelő kameráknak.

A megfigyelő rendszerek bűnmegelőzés funkciója nyilvánvalónak tűnik. [17] Még is a jelentősebb hatásuk tekinteteben célszerű részleteiben is vizsgálni. Komplexitása terén további hatásfok növelhető [18] kriminológusok által a térfigyelők hatásáról végzett összehasonlító elemzés alapján – jól kiépített világítással párosítva – igazoltnak látták, hogy a kamerák jelentős mértékben képesek a bűncselekményeket visszaszorítani. Ugyancsak erre a következtetésre jutott a New Yorki Egyetem metaadatbázisra épülő kutatása is, mely megállapította – többek között –, hogy jelentős hatást azon kamerarendszerek képesek kifejteni, ahol reagáló erő, járőraktivitás társul az aktív térfigyeléshez [19]. Saját kutatásaim a hivatkozott kutatók munkáitól eltértek a megközelítés, a mélység, az időtáv tekintetében: 2011-2021 között Budapeste 23 kerületét bűncselekménytípusonként vizsgáltam. A tíz éves időtáv kiszűrt valamennyi szezonális hatást, ideértve a politikai, jogszabályi, pandémia, gazdasági következményeket, melyek egy-egy időszak vizsgálatát torzítanák. Kutatásom során az általában csökkenő tendenciát mutató átlagos Budapesti bűncselekményeket hasonlítottam össze azon kerületekkel, ahol

a, volt jelentősebb kamerafejlesztés,

b, azon kerületekkel, ahol a vizsgált időszakban nem, vagy 10%-ot meg nem haladó kamerafejlesztés történt.

A kutatásomban kiszűrtem a térfigyelő kamerákkal nem befolyásolható bűncselekményfajtákat, mely alapján a tisztított meghatározás alá soroltam be a vizsgálatban érdemben kimutatott bűncselekményfajtákat. A kutatásom eredménye alapján 15/8 arányban igazoltnak látom, hogy a térfigyelő kamera fejlesztés hatást gyakorol a bűncselekményekre. Az átlagos tisztított budapesti, 2011-2021 időszak alatti bűncselekmény csökkenéshez képest (73,83%). Nominálisan ugyan ezen időszaka alatt a Fővárosban a 2011-es 37.623-ról, 2021-re 9.846-ra csökkent a tisztított bűncselekmények száma. Ez idő alatt 1.101-ről 3.248-ra nőtt a kamerák száma Budapesten.

3. Konklúzió

Valamennyi kutatás eredménye – a korábbi ellentmondásos eredmények árnyékában – afelé mutatnak, hogy a térfigyelő rendszer pozitív hatást gyakorol a bűnözés visszaszorításában. Ezt a hatékonyságot befolyásolják helyi, gyakorlati, politikai, rendészeti, gazdasági tényezők mindkét irányban. Mégis kijelenthető, hogy több tényező adja a hatékonyságot. A humánerő tekintetében a kamerák aktív figyelése, a megfigyelésben résztvevő szakemberek helyismerete, közterületi gyakorlati ismerete, felkészültsége, elkövetői mozgás felismerése és többletkészsége a körözött személyek felismerésében is segít. A kutatások kevésbé terjednek ki a technikai eszközök befolyásoló tényezőként való számbavételére, holott a kamerák elhelyezése, környezetre való rálátása, eszközök műszaki tartalma és kezelhetősége miatt nem hagyható figyelmen kívül. A kezelő személyzet mellett legjelentősebb hatásnövelő tényezőként került megállapításra az aktív megfigyelésre történő közterületi reagálás. Valamennyi kutatott, jelentős eredményről beszámolt területen volt közterületi aktívitás a térfigyelő jelzésére. Ennek pszichológiája is tovább erősíti azt a

gondolatmenetet, hogy ahol van térfigyelő kamera, ott nagyobb a lebukás veszélye, és ezzel visszahat a bűnmegelőzésre, csökkentve az alkalmat az elkövetésre.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretné köszönetet nyilvánítani témavezetőmnek **Prof. Em. Dr. Berek Lajos CSc** (Óbudai Egyetem BGK) és **Dr. Tóth Levente** (Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar) egyetemi tanároknak iránymutatásaikért és támogatásukért.

4. Hivatkozások

[1] Boda J. (Eds.) (2019). *Rendészettudományi Szaklexikon*. Dialóg Campus. https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/14690/743_Rendeszettudomyanyi_Szaklexikon_e_2020_04_28_.pdf (2022.08.30)

[2] Institute for Economics & Peace. (2024). Global Peace Index 2024. http://visionofhumanity.org/resources (2022.08.30.)

[3] Tóth L. (2023). Közterületi térfigyelő rendszerek eltérő fejlődése Európában. *Belügyi szemle, 71*(6), 1041-1057. https://doi.org/10.38146/BSZ.2023.6.6

[4] Som Z. (2017). CCTV-rendszerek interoperabilistás és információbiztonsági megközelítése, *Magyar rendészet, 2017*(2), 159-171.

[5] Burrows, Q. (1997). Scowl Because You're on Candid Camera? Privacy and Video Surveilance. *Valparaiso University Law Review*, 31(3).

[6] Feretti, F. (1973.06.24. Times Square The Action Will Be On Camera, *The New York Times*, p. 6.

[7] Tóth L. (2022). *Videó Megfigyelő rendszerek hatékonysággnövelő lehetőségei a közterületi megfigyelés területén*. Óbudai Egyetem. https://bdi.uni-obuda.hu/wp-content/uploads/2023/06/Doktori-PhD-ertekezestervezet-Toth-Levente.pdf (2022.08.30)

[8] Szabó S. L. (2012). *Elektronikus médiatartalmak, video és hang.* Eötvös Loránd Tudományegyetem. https://ttk.elte.hu/dstore/document/857/book.pdf (2022.08.30)

[9] Fuller, M. (2006) *Software studies/ a lexicon.* The MIT Press.

[10] Tóth A. & Tóth L. (2014). *Biztonságtechnika*. Nemzeti Közszolgálati Egyetem. https://rtk.uni-nke.hu/document/rtk-uni-nke-hu/Toth-Toth_bizt-techn.pdf (2022.08.30)

[11] Reolink. (2024. 07. 27.). How Many Times Are You Caught on Security Camera per Day. https://reolink.com/blog/how-many-times-you-caught-on-camera-per-day/ (2022.08.30.)

[12] Bischoff, P. (2023.05.23.) Surveillance camera statistics: which are the most surveilled cities? *comparitech*. https://www.comparitech.com/vpn-privacy/the-worlds-most-surveilled-cities/ (2022.08.30)

[13] Gill, M. & Spriggs, A. (2005). Assessing the impact of CCTV: Home Office Research Study 292. *Home Office RDS.* https://techfak.uni-bielefeld.de/~iluetkeb/2006/surveillance/paper/social_effect/CCTV_report.pdf (2022.08.30)

[14] Matczak P., Wójtowicz A., Dąbrowski A., & Krzysztof Mączka, K. (2023) Cost-Effectiveness of CCTV Surveillance Systems: Evidence from a Polish City. *European Journal on Criminal Policy and Research, 29*, 555–577. https://doi.org/10.1007/s10610-022-09527-5

[15] Barabás A.T., Rózsa S., Windt Sz., Eisinger A., Gauland E., & Magi A. (2014). *Tolvaj-kulcs: A betöréses lopások vizsgálata az elkövetők szemszögéből.* Országos Kriminológiai Intézet.

[16] Mátyás Sz. (2020) Fogvatartotti vélekedés a térfigyelő kamerák használatával kapcsolatban, *Belügyi szemle*, 68. évf. 2. szám, p: 51-58

[17] Armitage, R., Smyth, G., & Pease, K. (1999). Burnley CCTV Evaluation. *Crime Prevention Studies, 10*, 225-249.

[18] Welsh, B. C., Farrington, D. P. (2004). Evidence-based crime prevention: The effectiveness of CCTV. *Crime Prevention and Community Safety*, 6(2), 21-33. https://doi.org/10.1057/palgrave.cpcs.8140184

[19] Piza, E., Welsh, B., Farrington, D. & Thomas, A. (2019). CCTV Surveillance for Crime Prevention: A 40-Year Systematic Review with Meta-Analysis. *Criminology & Public Policy, CUNY Academic Works, 18*(1), 135-159. https://doi.org/10.1111/1745-9133.12419

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY