



ÓBUDAI EGYETEM
KANDÓ KÁLMÁN
VILLAMOSMÉRNÖKI KAR

XL. Kandó Konferencia Kiadvány

BUDAPEST

2025

ISBN 978-963-449-373-0



XL. Kandó Konferencia

2024. november 7-8.

1084 Budapest, Tavaszmező u. 17.



A konferencia védnöke:

Prof. Dr. Kovács Levente, Óbudai Egyetem, rektor

A konferencia elnöke:

Dr. Kopják József, OE-KVK, dékán

Tudományos vezető:

Dr. habil Wühl Tibor

Kiadvány felelős kiadója:

Dr. Kopják József, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Dékánja

Kiadvány szerkesztője:

Dr. habil Wühl Tibor, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Kutatási Dékánhelyettese

Kiadvány ISBN száma:

ISBN 978-963-449-373-0

Előszó

Nagy szeretettel és tisztelettel köszöntjük Olvasónkat!

Immár 40. alkalommal tartottuk a Kandó Konferenciát, melynek Kiadvány tanulmánykötetét tartja kezében.

A Kandó Konferencia egy tradicionális rendezvény, melyen a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Ipari Partnerei, valamint a Kandós oktatók és kutatók teszik közkincsé kutatási, oktatási eredményeit. Ezen a Konferencián, elsősorban a villamosmérnöki tudományok széles spektrumában adódott ismét lehetőség a munkák és kutatási területek bemutatására, de ugyanakkor teret biztosítottunk egyéb tudományterületek számára is.

A Konferencián mintegy 68 szakmai előadás hangzott el.

Jelen kiadvány a Kandó Konferencián elhangzott előadáshoz kapcsolódó szakmai lektorált Tudományos cikket tartalmazza.

Reméljük, hogy a Tisztelt Olvasó örömmel lapozgatja és olvassa ez a kiadványt.

Jó egészséget és sikeres kutató munkát kívánok!

Budapest, 2025
Szerkesztő

Tartalom

Design of an optical fibre monitoring measurement in a university environment.....	6
Márk Tamás Baross ¹ , Botond Bánszky ² and Péter János Varga ³	6
Current methods of remote access to automotive manufacturing systems and security risks for the IT Data Center.....	16
Tamás Márk Baross ¹ and Attila Rónai ²	16
Nagyfeszültségű hálózat modellezése Matlab-Simulink környezetben	23
Bencsik József*, Becsó Virág**	23
Zárlati áramok korlátozása	36
Dr.Morva György*, Bencsik József**	36
Energiaellátás kibervédelmi kérdései repülőtereken.....	51
Dér Attila ^{1,2} , Ady László ^{1,2} , Rajnai Zoltán ¹ , Schuster György ³	51
Artificial Intelligence and Machine Learning in Metal Additive Manufacturing: An Overview.....	60
Junaid Israr, Dóníz Borsos.....	60
Egy kihalt mesterség 2. rész – A vízimolnárok szerszámai	79
Szerző: Jakab István egyetemi gyakornok	79
Field and station level control system, communication redundancy	93
Ádám Richárd János ¹ and Tamás Márk Baross ²	93
Szimulációs környezetek alkalmazása a gyakorlatorientált villamosmérnök oktatásban.....	102
Juhász Gergő, Fazekas Balázs János	102
A LÍTIUM-ION AKKUMULÁTOROK ÖREGEDÉSE	110
Novothny Ferenc	110
Implementation of intelligent building on KNX bus network.....	121
Daniella Dominika Nyika ¹ and Tamás Márk Baross ²	121
TEACHING ALGORITHMS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION A IN PUBLIC EDUCATION	131
Author's Name (Oláh Róbert) 12 pt Left	131
Segítség, Moodle feladatokat kell készítenem! Az MI asszisztensem segít - 1. rész.....	142
Papp József	142
On Karnaugh Maps and Magic Squares	149
Bálint Pődör	149
Thermal Ionization Energy of Zn Acceptors in GaP: Effects of Doping Level and Compensation, Revisited	155
Bálint Pődör	155
Napelemes oktatásunk jubileuma	169
Nemcsics Ákos	169
25 éves az Ökológus műszaki konstrukciók című tantárgy.....	174

Nemcsics Ákos	174
Kisvállalkozások Nagy Kihívásai: Útmutató az Információbiztonsághoz	179
Répás József ¹ , Berek László ² , Bak Gerda ³ , Oláh Norbert ⁴ Ujhegyi Peter ⁵	179
The simulation of lightning current distribution for a building	187
Gábor Szijártó	187
Kollaboratív robotok hálózati protokoll biztonsága - web UI	202
Ungvári Péter	202
Wühl Tibor	202
Adatsimítási technikák alkalmazása mérési adatokhoz zajcsökkentés céljából	211
Varga Zoltán ^{1, 2, 3} , Radó László ² , Rácz Ervin ³	211
Gépi tanulási algoritmusok alkalmazása festékérzékenyített napelem cella gyártástechnológia területén	220
Varga Zoltán ^{1, 2, 3} , Rácz Ervin ³	220
DSP jelfolyamdiagramok grafikus transzformációja	229
Wühl Tibor	229

Design of an optical fibre monitoring measurement in a university environment

Márk Tamás Baross¹, Botond Bánszky² and Péter János Varga³

¹Óbuda University, Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering, Bécsi út 96/b, H-1034 Budapest, Hungary; baross.mark@kvk.uni-obuda.hu

²Óbuda University, Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering, Bécsi út 96/b, H-1034 Budapest, Hungary; botibb@gmail.com

³Óbuda University, Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering, Bécsi út 96/b, H-1034 Budapest, Hungary; varga.peter@kvk.uni-obuda.hu

Abstract: Today, one of the main features of all major networks is that they are designed with a monitoring system. Monitoring systems are essential for network security and maintenance in various electrical engineering fields such as building automation or energy management. This is no different in the case of optical networks, where most systems are equipped with fibre surveillance systems. With the help of it, we can easily monitor the optical network, increase network utilisation, availability and cost efficiency. There are a number of reasons to invest in such a system. It increases the security and stability of the network, facilitates fault detection and makes the system cost-effective, as well as meeting various legal obligations. For the reasons mentioned above, all telecom companies use some form of fibre monitoring system. Familiarity with these systems is particularly important for university students and technicians, as in most cases, they will encounter similar equipment in the real working environment. Our measurement environment aims to transfer this knowledge to students. During the measurement, they will be introduced to a deployed fibre monitoring system, where they will also gain experience with the process of connector cleaning, VFL fault locator light and AD-HOC measurements. The fibre monitoring system will be an EXFO-RTU-720, which allows AD-HOC measurements in live networks at 1625 nm. In our presentation, the measurement environment and the associated tasks will be presented.

Keywords: monitoring system; optical technology; EXFO; OTDR; measurement

1 Introduction

In this article, I present a measurement task implemented with an EXFO fiber monitoring tool that I developed.

The project's goal was to create a measurement system and develop measurement tasks that would help students understand OTDR measurements and fiber monitoring systems. The main component of the measurement system is the fiber monitoring system, around which I will design various measurement solutions, new measurement tasks, and accompanying documentation. The setup of the measurement task is built using modern optical components still in use today, such as optical connectors, splices, attenuators, a VFL measuring device, and the EXFO fiber monitoring tool itself. Practical knowledge of these optical tools is especially important for students, as their use is critical in modern measurement environments. My objective is to create a comprehensive educational package that includes the measuring tools—in this case, the OTDR fiber monitoring system—a list of equipment and cables required for the measurements, measurement instructions with tasks, and a sample measurement report. The developed measurement system can be used within the framework of the Optical Networks course but is also suitable for demonstrating optical measurements in other courses due to its portability. The current design of the fiber monitoring system, which forms the core component of the system, enables further development, the

integration of new measurement objects, or the addition of online measurement capabilities in the future.

Additionally, I will prepare a sample report appendix featuring a specific solution, which will assist students in their measurement work in the future. This report will be included as an appendix at the end of my work.

2 The Role of Fiber Monitoring Systems in FTTH Networks

Fiber monitoring systems are specialized tools designed to oversee optical networks and their entire infrastructure. These systems provide continuous monitoring of the optical network, ensuring immediate detection of potential issues. Typically, these monitoring devices operate alongside central OLT (Optical Line Terminal) units, forming an indispensable pair of supervisory and operational systems. For communication service providers, investing in such systems—whether for new network deployments or existing infrastructures—offers significant advantages [1].

- **Fault Detection and Localization:** Fiber monitoring systems continuously track the signal quality within optical fibers and immediately report issues such as signal degradation, cable breaks, or other malfunctions. This enables precise fault localization, significantly speeding up repair processes.
- **Optimized Maintenance and Operation:** These systems allow providers to schedule maintenance activities in advance and take preventive measures to avoid potential failures. This proactive approach reduces downtime and ensures uninterrupted service delivery.
- **Monitoring Network Capacity and Performance:** Fiber monitoring systems enable providers to keep track of network performance and utilization. This data helps identify peak load times and capacity bottlenecks, supporting better network planning and optimization.
- **Rapid Fault Recovery:** By swiftly identifying and localizing faults, providers can drastically reduce the time required for on-site repairs. This improves service quality and enhances customer satisfaction. Additionally, Hungarian regulations set by NMHH mandate that providers address reported faults within 72 hours, making efficient fault management essential [3].

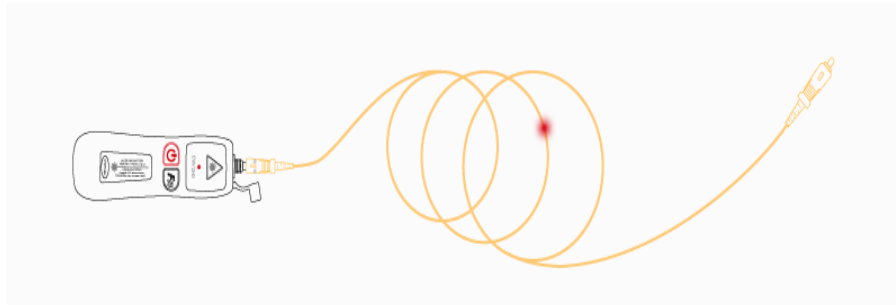
3 Theoretical Background of Fiber Monitoring Measurements

In this chapter, I aim to provide readers with the theoretical foundations of the measurement techniques to be used in future examinations. By understanding the content of this section, readers will find it easier to conduct and evaluate subsequent tests. Moreover, the chapter offers comprehensive knowledge that can also be applied to the use of equipment from other manufacturers.

3.1 Theoretical overview of VFL measurement

The Visual Fault Locator (VFL) is a technique used for troubleshooting faults in optical fibers. As mentioned in section 2.2, data transmission in optical fibers occurs via light pulses carried through the fibers. When a fault occurs in the fiber, such as a crack or a break, light leaks out of the fiber, resulting in signal loss. The VFL uses a red laser light with a wavelength of 650 nm, which is visible to the human eye. The laser light propagates through the fiber, and at the point of fault, the light becomes visible as it leaks out. This allows for the precise identification of the problematic section in the optical fiber.

The VFL device functions as a simple laser source that emits low-power, continuous, or pulsed light. The pulsed mode is particularly advantageous, as it makes fault locations easier to detect during field inspections.



1. Figure VFL light demonstration

Despite its usefulness, VFL measurement has several limitations. It is most effective over short distances, typically up to a few kilometers. For longer spans, OTDR devices are better suited for accurately measuring performance losses and pinpointing faults. Additionally, VFL is only applicable for faults involving physical damage, such as breaks and bends. Subtler issues, like splice losses, may not be detected using this tool [2].

3.2 Theoretical Overview of Optical Fiber Inspection Cameras

An optical fiber inspection camera is a specialized device designed to examine the connectors of optical fibers to identify potential damage, contamination, or manufacturing defects [3]. The cleanliness and integrity of the fiber ends (connection points) are critical for maintaining data transmission quality, as even minor contaminants or damages can result in significant light loss and signal degradation. This inspection process helps identify three primary types of issues:

- **Cracks:** Minor damages at the connection points caused during manufacturing or usage.
- **Breaks:** Severe damage that completely impairs the fiber's functionality.
- **Contamination:** Dust particles or other debris on the optical connector that block the light path, causing signal loss.

The following steps are required for the camera measurement:

1. **Fixing and testing the fiber:** The end of the fiber is fixed in the camera through the optical interface of the fiber inspection camera. The focus and illumination of the device must be adjusted to achieve the perfect image
2. **Re-inspection:** If it has been determined the exact extent of the defect or contamination, it is necessary to confirm the success of the cleaning.

3.3 Theoretical Overview of Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

The Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) is a specialized optical measurement device that not only displays a numerical value for attenuation but also provides a graphical evaluation on the instrument's monitor. Additionally, it reveals various important parameters. The primary function of the OTDR is to analyze a network segment or fiber by breaking it into distinct "events" through backscattering, enabling precise determination of attenuation values for individual components [4].

OTDR devices are beneficial in multiple scenarios, such as:

- Precise determination of attenuation values in optical cables
- Identifying faults in optical fibers

-
- Accurately locating fault points
 - Measuring attenuation and reflection values of specific connections

Rayleigh Scattering and Fresnel Reflection

During the operation of an OTDR device, two main optical phenomena are utilized: Rayleigh scattering and Fresnel reflection. The difference between the two phenomena is that Rayleigh scattering is present uniformly along the entire length of the fiber due to the material properties of the fiber. Therefore, if there is a break somewhere, it can be easily identified that the fiber has been physically impacted, for example when the test light exits it. In contrast, Fresnel reflection occurs only at the point where the optical fiber meets air or another different medium. Such situations can occur at splices, mechanical connections, and other connections. [3]

In the case of optical return loss meters, the dynamic range is extremely important, as it determines the maximum fiber length that can be measured with the instrument. This also affects whether it is suitable for examining a particular network. A high dynamic range provides a better signal-to-noise ratio, enables more accurate event detection, and results in a more precise attenuation curve. However, determining the dynamic range is challenging, as there is no standard that specifies its value; it depends entirely on the device manufacturer [4], [5].

Operating Principle

An OTDR measuring instrument sends laser pulses into the connected section at a predefined wavelength. For multimode fibers, these wavelengths are 850 and 1300 nm. For single-mode fibers, the wavelengths are 1310, 1550, and 1625 nm, although 1650 nm can also occur. The device allows us to measure even in the upstream direction, in which case we use the 1625 nm wavelength. For live fibers, it is much more advisable to use the 1625 and 1650 nm wavelengths, as we can avoid potential interference with traffic around 1310 and 1550 nm. [4] After specifying the correct wavelength, the OTDR instrument measures the light pulse reflected from the fiber faults. Finally, the reflected signal is separated from the input signal and then converted into an electrical signal. This step is performed by the device and then evaluated for us in graphical form [4], [5].

Evaluation of Measurement Results

By analyzing the graph, we can read the attenuation of the specific optical network elements vertically and the distance from the test point horizontally, usually given in kilometers. By evaluating the graph, it can be precisely determined how far from the beginning of the measurement the attenuation is and how large it is. In many cases, the graph can even be downloaded in Excel format, which shows the attenuation at each point.

4 Physical Implementation of the Measurement

Given the variety of fiber optic monitoring systems, the goal was to create a measurement setup that provides a comprehensive overview of the basic principles of equipment usage rather than focusing on a specific type. The measurement setup utilizes optical cables with various connection types, as both the measurement box and the fiber optic monitoring system are constructed with different connectors. Additionally, familiarity with the appropriate connectors is an essential requirement for students, allowing them to gain insight into this aspect as well.

4.1 Physical Setup

The fiber optic monitoring device and the measurement station designed for it are in Room 220 of Building B at the Tavaszmező utca site, in the optical measurement laboratory. During construction, it was particularly important that all equipment be in one place, for which the laboratory provided the space and area. Since this is a physical measurement, the presence of the student is indispensable, but as I will mention in the further development possibilities section, there is an opportunity to create a measurement setup through which the student could perform the measurement online. However, in this case, the VFL measurement and the fiber camera inspection would be omitted from the list of measurement tasks, as they cannot be performed online.

4.2 Measurement Arrangement and Presentation

In this section, I present the three separate optical network structures that were measured and examined during the experiment. For easier understanding and presentation, I illustrate these measurement sections with schematic diagrams. In addition, a detailed material list is provided, indicating the type and quantity of components found in the device. Of course, after the presentation of each network structure, a brief description will also be provided to give the reader a more accurate understanding of the measurement tasks.

4.2.1 Measurement 1

In this setup, one end of the cable is simply connected to a splice, while the other end is located on the front panel of the box above the splice. By attaching our VFL light source to the individual connectors, the front panel of the box will illuminate, demonstrating the operation of the device and the integrity of the cable. The essence of the measurement is for the student to become familiar with the operation of the VFL device and to obtain a visual result.

4.2.2 Measurement 2

In this measurement, the student must perform a complex measurement. The 1st port of the fiber optic monitoring system is connected to the 2nd port of the optical measurement box, where a 1/2 splitter is located. The optical splitter is a device that divides the signals of optical fibers into multiple outputs, in this case, halving it. In the upper branch, after the connector, there is a 1 km SM type optical cable and a 36 m cable, separated by an optical splice. After this, the 3rd connection point of the optical measurement box is connected to the 2nd port of the EXFO fiber optic monitoring system via a patch cable. During the setup of the measurement, it was extremely important to create a connected network, so the 1st port of the EXFO had to be connected to the 2nd port of the EXFO as well.

The lower branch has a similar structure; it also contains a fiber splice, but the cable is much shorter than in the upper branch. Since the branch is shorter, the student will be able to clearly distinguish the difference between the two during the OTDR measurements. The attenuation values of the splices are 1.17 dB and 1.29 dB, which are quite high values [6]. The primary goal of this measurement point is for the student to learn how optical splitters work and to visually see how they function using the diagram drawn by the OTDR. In most FTTH networks [7], the split ratio is not 1/2 but much larger, such as 1/64 or even 1/128. However, by understanding how a 1/2 splitter works, the student will have no trouble recognizing larger splits. Due to the two branches, the measurement can be divided into two parts: in one measurement, the network between EXFO ports 1 and 2 is measured, and then the network between ports 1 and 3. During the measurement, the person performing the measurement must be able to identify the difference between the two networks

(which is the 1km section) and determine the signal loss caused by the splice and the splitter. Since both events cause a noticeable loss, the magnitude of the loss can be easily read and recorded in the measurement protocol.

4.2.3 Measurement 3

In this setup, between two SC-UPC connectors, there is a network containing a 5 dB optical attenuator and a 20 km section. The 4th port of the EXFO fiber optic monitoring device is connected to the 5th port of the optical box, where there is an attenuation in a short section. After the attenuation, the 6th port of the box is connected to the input of a 20 km long section, and finally, the output of the section is connected to the 5th port of our device, creating a complete network.

The main goal of this measurement point is for the student to see the magnitude of the inserted attenuation and the Rayleigh scattering in the 20 km section. During the OTDR measurement, both the attenuation and the scattering will be visible, which will need to be recorded.

The structures of all the measurements mentioned above have been designed so that each type of passive network element from today's FTTH networks is present. Thus, in future measurements, the measuring person can examine these network components in a controlled environment.

4.3 Physical implementations of measurements

In this subsection, I would like to present all the measurements that have been performed. For each measurement or examination, a brief description can be found explaining what needs to be done during the measurement or examination. Additionally, the actual, physical results can be seen in the attached photos, along with a few lines of measurement evaluation. The complete task description and detailed evaluation of the measurement cannot be found in this section, as these are included as appendices.

4.3.1. VFL Inspection Implementation

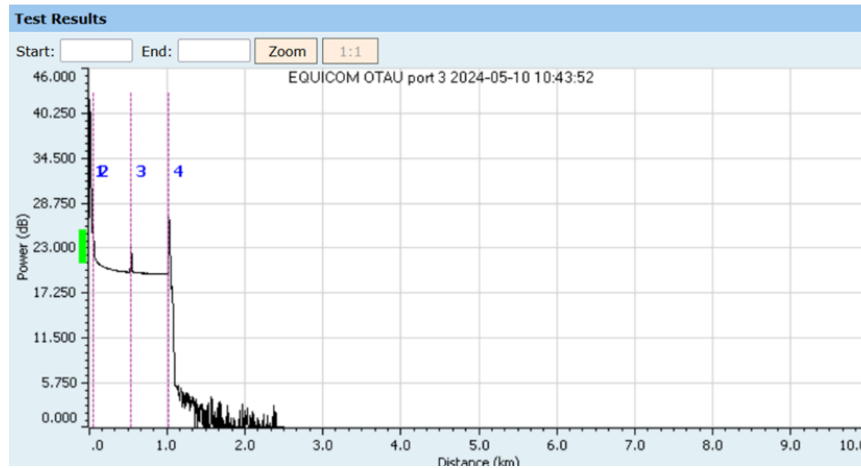
In the first inspection, we used a visual fault locator (VFL) to verify the operation of the measurement setup number 1, to ensure that the optical cable is indeed intact and not broken. For this, we connected a patch cable to the SC-APC type connector, and then connected the other end to the VFL meter. After turning on the instrument, we pressed the VFL button for a long time, which immediately activated the red inspection laser. With another press of the button, the device sends out continuous pulses.

4.3.2. Fiber Inspection Camera Inspection Implementation

In the second inspection, we will use a fiber inspection camera. In this description, I only examined measurement setup number 1, but it should be used for all measurement setups. This is necessary because the optical connectors can very easily become contaminated, and with this camera, it can be determined if there is any contamination on the ferrule surface. During the inspection, I connected the optical fiber above measurement number 1 to the probe part of the fiber inspection camera. I turned on the device and adjusted the focus using the focus button so that there was a suitable contrast on the device screen.

4.3.3. Evaluation of Measurement 1

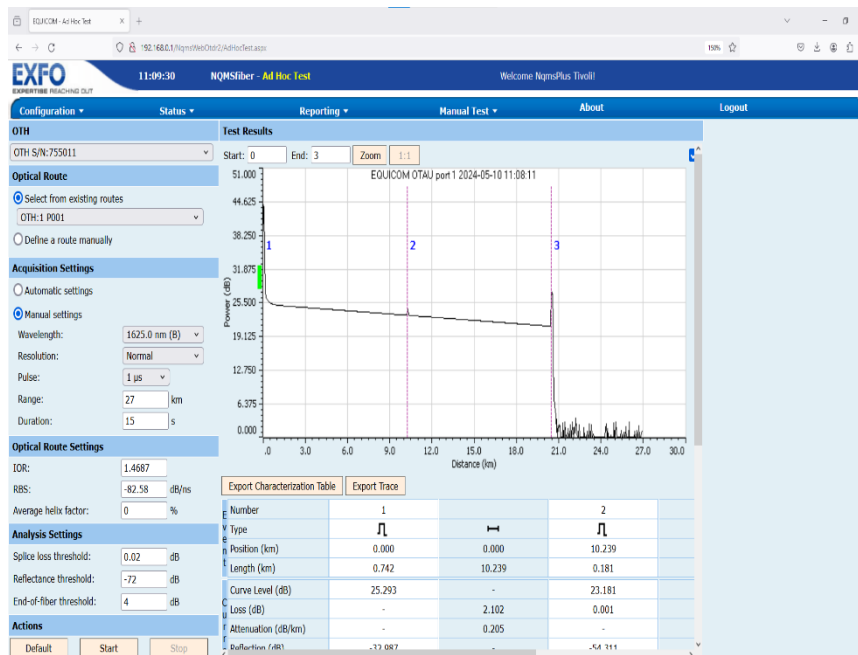
The obtained measurement image shows that our instrument measured a 1.05 km section, which is the correct value. In the figure, the OTDR shows us the events in detail as points. The plotted function shows that between points 1 and 2, the decibel value was halved (thanks to the power splitter), and then the signal magnitude decreased again minimally due to the connector inserted into the fibre. There is also a splice in the 1 km section, which our device also shows and estimates it to be approximately 1.5 dB, which is correct based on previous measurements. Finally, at the end of the section, our signal ceases as the measurement reaches its end.



2. Figure OTDR measurement 1

4.3.4. Evaluation of Measurement 2

Based on the measurement results, the drawn measurement structure and all its network elements can also be seen. At the first event, the signal level dropped from 31.875 dB to 25.500 dB, which is due to the inserted 5 dB attenuation and the connector. Leaving the box, the connected 20 km section can be seen, where the system also detected two minor faults. This is a fault in the optical cable, as it often happens in such a long section that the scattering is not uniform everywhere. When it comes to Rayleigh scattering, the signal value decreases evenly over the 20 km section.



3. Figure OTDR measurement 2

Conclusions

I believe that in my current article, I have managed to design and implement a complex measurement package suitable for demonstrating modern FTTH networks. The measurement setups in the completed study can be easily and seamlessly replaced, modified, or developed at any time. In terms of physical appearance, I have created a clean measurement that can even be performed in an online format, which meets all optical safety factors, considering the laser hazard warning sign or the warnings provided in the measurement description. In addition, my work provides a general understanding of the operation of fibre optic monitoring systems, making it easily understandable for everyone. I have supplemented my current work with a separate measurement guide specifically designed for the designed setups.

I believe that the created measurement environment and the measurement guide form a unit. The environment can be considered a finished measurement, during the use of which the measuring individual can easily measure the optical passive elements and the network built from them and apply what they see during the measurement. Among the appendices, there is a developed protocol as a reference for easier and faster evaluation of measurements in the future.

Considering the above, my work provides a well-developed, detailed, and easily understandable insight into the world of fiber optic monitoring for future students. During my studies and work, I have encountered fiber optic monitoring systems several times, and my experiences have reinforced how important it is to acquire this knowledge.

Thanks to this, I believe that with this measurement package, I will greatly facilitate the work of my future fellow students or colleagues, because if they choose to work in this area, they will be able to easily solve similar measurement tasks and problems.

References

- [1] A. Zsolt: Optikai Hozzáférési hálózatok technológiai evolúciója, Online, Available: [HT2016_2kszam.QXD](#) [Accessed: 27.10.2024]
- [2] B. Robertson: How Far Can A VFL Go For Singlemode Fiber Testing, Online, Available: [How Far Can A VFL Go For Singlemode Fiber Testing? | Cabling Installation & Maintenance](#) [Accessed: 01.11.2024]
- [3] H. Tamás: KÁBELEK, HÁLÓZATOK, CCTV RENDSZEREK, Hadmérnök magazin Online, Available: [Microsoft Word - 2011_63_01_Horváth.docx](#) [Accessed: 2.09.2024]
- [4] H. Attila: Időtartománybeli optikai reflexiómérés (mérési útmutató), Online, Available: [\(PDF\) Időtartománybeli optikai reflexiómérés \(mérési útmutató\)](#) [Accessed: 02.11.2024]
- [5] J. Laferrière G. Lietaert R. Taws S. Wolszczak: VIAVI Reference Guide to Fiber Optic Testing Vol. 1, Online, Available: [VIAVI Reference Guide to Fiber Optic Testing Vol. 1](#) [Accessed: 06.09.2024]
- [6] M. T. Baross, "Passive Optical Black Box," 2022 IEEE 20th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), Subotica, Serbia, 2022, pp. 163-168, doi: 10.1109/SISY56759.2022.10036261.
- [7] EXFO Inc.: User Guide Optical Time Domain Reflectometer, Online, Available: [https://documents.exfo.com/Products/UserGuides/User_Guide_OTDR_English_\(1068770\).pdf](https://documents.exfo.com/Products/UserGuides/User_Guide_OTDR_English_(1068770).pdf) [Accessed: 09.10.2024]

Current methods of remote access to automotive manufacturing systems and security risks for the IT Data Center

Tamás Márk Baross¹ and Attila Rónai²

¹ Óbuda University, Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering, Bécsi út 96/b, H-1034 Budapest, Hungary; baross.mark@kvk.uni-obuda.hu

² Óbuda University, Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering, Bécsi út 96/b, H-1034 Budapest, Hungary; attila.ronai@stud.uni-obuda.hu

Abstract: Common collaboration methods and appeared in work culture and trends that are slowly becoming standard in industrial IOT networks require remote access to the plant's production line equipment. We examine the information technology security and vulnerability of these devices and services that how provide remote access and show what kind of threats these services can keep to the active elements and system-level services of the internal IT network related to production. In order for OEM machine manufacturers and their engineers to access the systems of installed production equipment, they use solutions developed for remote access, which reduce the cost and time of possible on-site work. Additional advantages and possibilities of this system are that maintenance can be scheduled based on the information obtained from the production equipment, they can intervene in a possible program process, and thus the availability time of the production systems can be improved. However, it is important that the protection of the data stored in the central system is fully realized with the available set of tools or that a solution is sought that does not violate the integrity and leakage or violation/loss of the data. Furthermore, we need to illustrate the extent to which a company's support network and the infrastructure serving it are exposed to cyber security threats from systems that may originate from the manufacturing network layers. Compliance with IT security risks becomes an important part of an automotive manufacturing company's TISAX, IATF16969 and NIS2 regulations. Therefore, during the auditing and regulation of remote access methods, security issues may arise that may have a risk factor.

Keywords: VPN Gateway, Industrial remote access, Industrial Equipment & IIOT risks, Data Center risks on industrial remote access

1. Introduction of possible solutions

The importance of the topic proves that communication system tools developed for this purpose are freely available [1] on the market and can be easily implemented in any production environment's TCP/IP based network.

These (router, GW) devices can be automatically connected to the Internet via our own infrastructure. There are also some devices that connect to the OEM's dedicated cloud via the prepaid internet service with an Internet subscription linked to a SIM card and a WWAN unit. For all WAN-WWAN-LAN connection forms, it is true that the establishment and use of the connection cannot be monitored and partially untraceable due to encryption. It is also not necessary to use the internet connection of the existing local infrastructure, because virtual private network (VPN) routers can be easily connected to devices with a SIM card and internet subscription, even without the knowledge and/or permission of the device owner.

We cannot implement the "direct" VPN data traffic monitoring or inspection solutions provided in the network of our production line, as it uses unique and unobtainable encryption keys to build the encrypted tunnel. In basic cases, VPN connections are provided by the service provider by purchasing separate licenses, and can only be used by one owner, -if they do not hand over their identifiers to others. It is a serious problem if the OEM or support wants to independently monitor these

communication systems, as well as the device configuration [2] and cloud side. It is up to the OEM to decide how to build the VPN system and how to use the security features of the system.

This is a figure example of remote solution [3]:

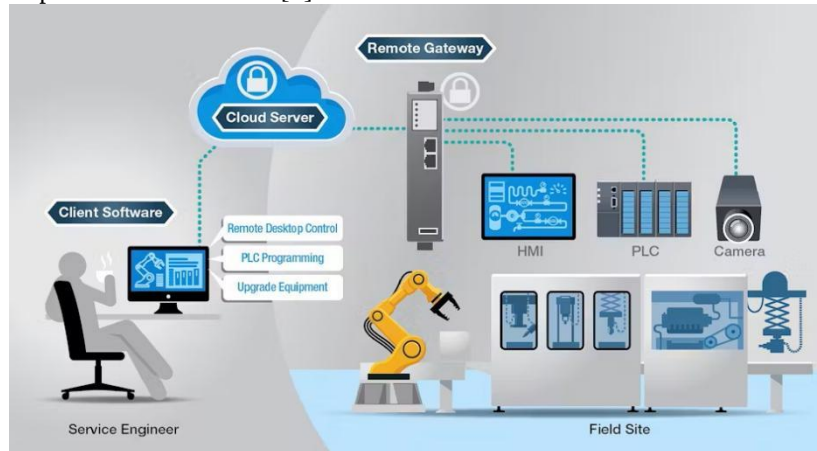


Figure 1
Schematic diagram of the industrial system providing remote access

The previously used remote access procedures and traditional VPN solutions lost their flexibility in many cases, and many security solutions had to be introduced that rather limited the execution of the desired tasks. It should be emphasized that the operation of these support systems requires considerable IT expertise and resources. For system installation and security settings, in many cases, even a security-conscious and experienced background cannot provide adequate security without a meticulous protection approach.

In order to create an adequate level of protection, it is necessary to be aware of the range of systems and services operating in the infrastructure, as well as the capabilities of the existing security systems and their potential obsolescence. Considering the circumstances of the task, compromises have to be made in many cases from the IT security side, and because of this, a critical system cannot withstand the consequences of a targeted or covert cyber-attack and collapses.

The monitoring methods of VPN accesses, the multitude of explicit rules, the authorization and regular review of information security according to the regulations pose challenges for industrial companies. Last but not least, the continuous supervision and monitoring of the systems, the analysis of the triggered incidents and the repair of damages can entail a serious investment of resources and a financial burden.

2. Real situation with data center

In accordance with today's expectations, the information of the manufacturing factory lines installed in industrial companies and the systems of the automatic equipment operating them are to be analysed in an integrated manner in a data processing system. From experience, a cloud storage option of central processing systems instead of on-premis, provides an additional protection aspect, but a well-hidden infected system by attackers uses security gaps and weaknesses to access a system providing data center services or wants to use the vulnerabilities of other network elements in order to achieve additional malicious goals.

This is a figure example of remote solution added with on-premis data center:

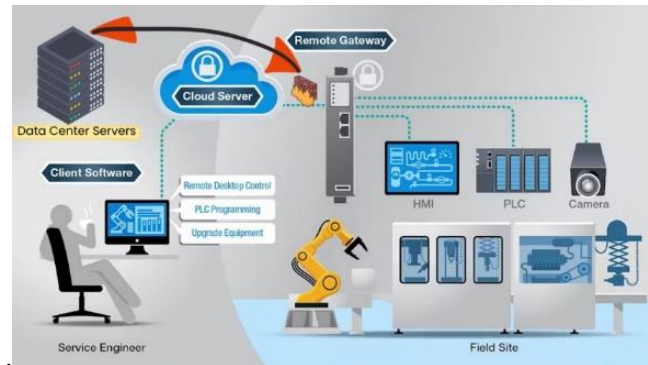


Figure 2

Schematic diagram of the industrial system providing remote access with Data Center

Our data stored in the cloud is similarly exposed to a cyber-attack, (on the) on-premise site as well. The physical location of the data center system is a completely negligible issue, since the device triggering the attack is activated in the production line network.

The OEM client that wishes to establish a connection with our endpoint is sufficient to connect to its dedicated cloud and use the cloud settings to access the devices operating in our manufacturer's subnet with the desired technology, but not necessarily only our devices there, because with the network address translation (NAT) rules set in gateway router (GW) or the by falsifying the router's internal network IP address, the data center services provided to production are also available. From this point on, it is impossible to monitor whether the VPN system is used by an authorized or unauthorized user and with which endpoint computer equipped with protection systems to access the manufacturer's network and the data center services operating behind it.

It is important that the protection of the data stored in the central system is maximally realized with the available set of tools or that a solution is sought that does not violate the integrity and leakage or violation/loss of the data. Furthermore, we need to show how much of a cyber security threat an enterprise support network and the infrastructure that serves it are exposed to from systems that can originate from the manufacturing network layers with such remote access. The advantage of this system is that data is exchanged via a VPN (encrypted) data connection and unauthorized persons cannot obtain important information, but the end-point security systems of the end-point device using that connection are not monitored by the company in many cases. The VPN user connects directly to the network system of the production line and is provided with the range of services available from the network, can collect data and influence the operation of the control system [4].

Regarding the OEM's end-point device used for maintenance, clauses can be regulated in the contract, but this does not provide enough security either, because the device is not only used for

the maintenance of the systems installed at the customer's site, and it can maintain even hundreds of customers, of which only one is enough where the device suffers an infection. In this publication, we do not address the IT security issue of maintenance/support systems and tools, and especially not those that are used in foreign networks, because that would exceed the scope of the current framework and our topic. It is also not entirely clear whether all elements of an automatic manufacturer segment must be supervised by the OEM, because e.g. a sensor, camera, controller, etc. can come from another supplier and its maintenance is not the responsibility of the OEM, and of course vice versa this statement is true. The wide variety of data center systems and services brings with it many cybersecurity issues. Highlighting a few, e.g.: SQL-based services, application systems (SCADA, WEB, API, SOAP, JAVA, etc.) and proprietary software and communication protocols (e.g.: Siemens TIA Portal) [5] are all exposed to critical attack algorithms.

3. Zero Trust in industrial equipment’s network

We can monitor these data center connections with a new-generation firewall or traffic analysis and anomaly detection systems and use these systems to analyze whether an intrusion or service-level attack has occurred or is occurring. It can be seen that we have built such a security infrastructure as if we were providing services to a completely public network that we would never normally do. It is essential that according to the zero trust security principles, only devices and users that are certified and transparent to our compliance criteria connect to the subnet and the services available in it. Also, the creation and application of only state-full firewall rules used in the past is not sufficient against today's modern threats. In an industrial network where automated systems that are weak in terms of security operate, the risk of attacks increases significantly, as they are easily exploitable and vulnerable. Therefore, we do not in any way assume that the network user or devices are reliable and it is of utmost importance that their authentication and identification takes place using some security and modern target device. Because for the sake of the regulatory requirements discussed below and our own safety, it is extremely important to tighten our network protection according to the principle of zero trust at today's technological level.

Some important elements of the zero trust principles, which were also published at the CISCO 2024 Tectorial [6]:

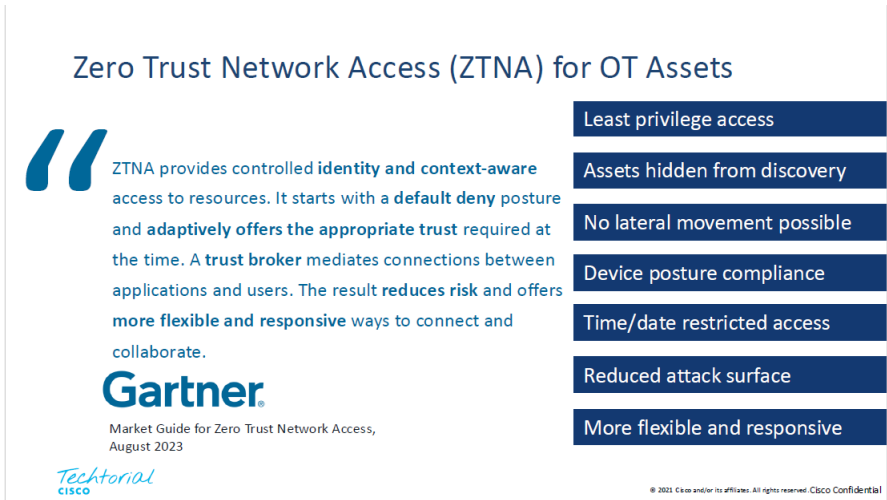


Figure 3

Zero Trust network access recommendations

4. Compliance in IATF 16969, TISAX, NIS2 standards

How thought-provoking it is that the IATF 16969, TISAX, NIS2 standards require us to prove how protected our systems are with renewed penetration tests for all our public services accessible from the Internet. Here, the question arises, how much of a subnet to which we provide access to foreign systems and partners is an internal network, and how much should it be treated as a "foreign network"?! Furthermore, to what extent is the principle of Zero Trust enforced in the introduction of these systems and are they transparent enough according to supervisory aspects?! Issues of trust also arise significantly in this topic, because the OEM or support can also access information that may violate the information protection and security regulations and policies of the production line owner, and incidents may occur that violate safe operation/production and availability.

What is important to highlight is that NIS2, the European Union's cyber protection rule, requires continuous monitoring and identification of the client's compliance in accordance with information protection aspects, and access and monitoring systems must be made completely transparent.

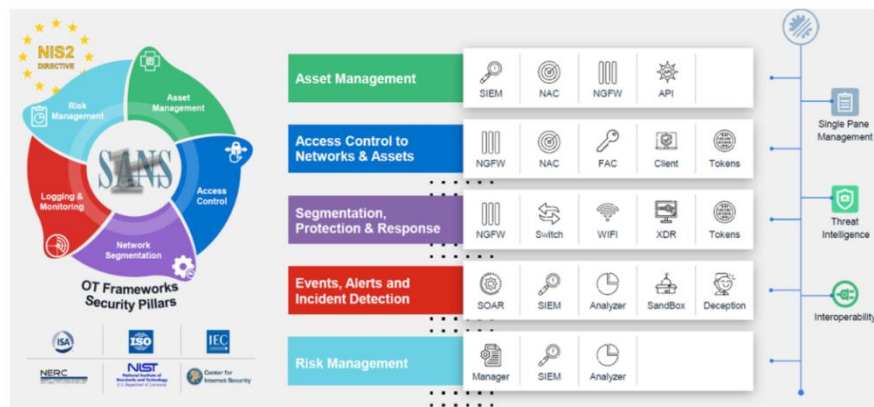


Figure 4

NIS Directive stands for "Network and Information Security" [7]

TISAX was developed primarily for the automotive industry, which emphasizes the protection of information security between suppliers and partners. At several points, the regulation overlaps with the NIS2 recommendation, but it is an automotive certification. (TISAX) focuses primarily on information protection and is based on the DIN EN ISO/IEC27001 standard, and its regulations also cover many organizations within the company. On the contrary, questions and expectations arise here at a similar level as with the NIS2 regulation.

IATF 16969 is also automotive, an international automotive regulation that governs its quality management system. It is important to point out that on the information security side, it overlaps with the expectations of NIS2 and TISAX and emphasizes the identification, management and secure data management of risks.

Conclusions

There is a wide range of tools for remote access. An outstanding question is to what extent the range of page visibility and access to data center services can be limited with these technologies and who is

responsible for the supervision. If the owner of the production lines supervises the system, he must use the necessary expertise and limit his access to each system component. Installation and configuration of OEM proprietary remote access systems should be avoided. Furthermore, you must log and document what systems you can connect to. I will not address the issue of logging in this documentation because the options depend on the technical and information security (readiness) of the organization.

For existing issues, we recommend considering the following and also we continue to research these security issues. However, we cannot guarantee that we can provide a comprehensive solution for every case that arises in the network of production, as different infrastructure solutions are also created.

- Never lose or transfer your control on devices that supporting remote access solution to external supporters (eg.: OEM)
Because who knows what rules have been configured in this case. It is completely untraceable (what happens) and absolutely goes against all safety requirements.
- There is no security based on trust
In principle, there is no trust.
- It is important to choose the right system for your security goals
It is necessary to involve the internal operation and, if possible, coordinate with the suppliers.
- Four eyes principle, use of collaboration tools, corporate devices and systems
In IT, this has been a common practice for a long time, especially for systems that are critical.
- Discuss security issues with suppliers and supporters implement better solution
Where possible, discuss with accredited IT security experts and suppliers.
- Implementation of multi-level next-generation firewalls strategy at protection levels
- GB-TB traffic appearance, anomaly, logging and behavior analyses

In the last period, we observed some manufacturers developments in the field of industrial networks that take it into consideration the management of these challenges and the construction of secure infrastructures [8]. It is therefore justified that other manufacturers prioritize the development of more reliable systems in the production network of PICRA (Process Industry Control and Automation).

The question arises whether the remote access providing routers that are discussed above provide a satisfactory solution to all these security regulations.

In short: no, because network routers are not security devices.

References:

- [1] Ewon by HMS networks, Talk2m Industrial Cloud Service for Industrial Remote Connectivity, Online, Available: https://media.hms-networks.com/image/upload/v1675178048/Documents/Brochures/Ewon_brochure_Talk2M_EN.pdf [Accessed: 05.10.2024]
- [2] T. Ulz, T. Pieber, C. Steger, S. Haas and R. Matischek, "Secured remote configuration approach for industrial cyber-physical systems," 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS), St. Petersburg, Russia, 2018, pp. 812-817, doi: 10.1109/ICPHYS.2018.8390811.
- [3] Blanch Huang, Five Issues Facing Secure Remote Access to IIoT Machines Online, Available: [https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21836802/five-issuesfacing-secure-remote-access-to-iiot machines](https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21836802/five-issuesfacing-secure-remote-access-to-iiot-machines) [Accessed: 05.09.2024]
- [4] CPNI, cisa.gov, Configuring and Managing Remote Access for Industrial Control Systems, Online, Available: https://www.cisa.gov/sites/default/files/202301/RP_Managing_Remote_Access_S508NC.pdf [Accessed: 07.10.2024]
- [5] Y. Huang, Z. Zhang and P. Zhu, "The Design of an Industrial Remote Control Network Gateway Based on P2P VPN," 2012 4th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, Nanchang, China, 2012, pp. 140-143, doi: 10.1109/IHMSC.2012.130.
- [6] Levente Tóth, presentation on CISCO Techtorial 2024 Budapest, On oral presentation
- [7] Mary Hanson.: NIS2 in a Nutshell , Online, Available: <https://www.linkedin.com/pulse/nis2-nutshell-mary-hanson-mary-hanson-nwfnf/> [Accessed: 17.11.2024]
- [8] Cisco DevNet, Secure Equipment Access (SEA) overview Online, Available: <https://developer.cisco.com/docs/iotod/secure-equipment-access-overview/#introduction> [Accessed: 17.10.2024]

Nagyfeszültségű hálózat modellezése Matlab-Simulink környezetben

Bencsik József*, Becsó Virág**

Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola,
Budapest 1034 Bécsi út 96/B Magyarország, bencsik.jozsef@uni-obuda.hu*
Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar,
Budapest 1034 Bécsi út 96/B Magyarország, becsovirag@stud.uni-obuda.hu**

A modern elektromos hálózatok, különösen a nagyfeszültségű rendszerek hatékony működésének kulcsa a pontos és gyors hibaelhárítás. Kutatásaink során megvizsgáltuk az a jelenleg alkalmazott védelmi módokat, valamint a rendszer paramétereit ismerve megalkottunk egy szimulációs modellt Matlab-Simulink környezetben. A modell segítségével fogjuk megvizsgálni a fázismérő egység (későbbiekben csak PMU) relevanciáját a nagyfeszültségű hálózat védelemtechnikájában.

Kulcsszavak: Nagyfeszültségű hálózat, Matlab, Simulink, Modellezés, PMU, Zárlat

Bevezetés

Az egyesített energiarendszerek - így az európai is egyre inkább növekszik, emelkednek a zárlati teljesítmények szintjei. Növekszik az igény a zárlati teljesítmények automatikus korlátozására azok történésekor és szükséges új eszközök bevetésére a hagyományos védelmi rendszerek helytelen működésének megakadályozására az átviteli szintű stresszhelyzetek ellen. Perspektivikusnak látszik az energiaellátó rendszerek sérülékeny területét a PMU-val felszerelt buszok segítségével azonosítani, ahol egy zárlati eseményt követően a legnagyobb a feszültség magnitúdójának torzulása. A PMU-alapú rendszerből gyorsműködésű rendszert kívánunk kidolgozni a villamosenergia-rendszerben telepített PMU-k számának optimalizálására a zárlatkorlátozási és védelmi megközelítés tekintetében.

Ki szeretnénk dolgozni a PMU-s alállomási sínek hibaészlelés kulcsfontosságú mutatóit. Szükséges lesz egy egy terhelés-áramlás alapú séma is a zárlatok pontos megkülönböztetésére a terhelésnövelő eseményektől.

A hagyományos védelmi rendszer rögzített beállítási paraméterekkel rendelkezik. Az üzemi villamosenergia-rendszerek növekvő bonyolultsága, az elektronikus áramforrású megújuló egységek (PV ..szél) növekvő aránya, a zárlatok helyes észleléséhez szükséges rövidzárlati áram hiánya, valamint a megnövekedett harmonikusok, amelyek tévesen aktiválhatják a védelmi eszközöket, különböző kihívások merülnek fel a védelmi követelmények változó üzemi körülmények közötti teljesítése során.

A szinkronizált fázisszög mérések jelentős fejlődésen mentek át [7,8,9]. Számos új alkalmazást jelent meg - így például: az állapotbecslés, a frekvenciabecslés, az instabilitás előrejelzését. A C37.118 IEEE szabvány [9] biztosítja, hogy a megfelelő fázismérő egységek minden fázist ugyanazon konvenció alapján jelentsenek a fázisszög mérésére, különösen akkor, ha az alapul szolgáló villamosenergia-rendszer frekvenciája névleges - igaz, hogy eddig nem volt szempont. Annak ellenére, hogy a fázismérő egységek (PMU-k) mai telepítése korlátozott a lefedettség és a vállalati kommunikációs

teljesítmény tekintetében, egyértelmű, hogy a technológia gyorsan fejlődik, és jelentős előnyökkel jár. A PMU-k széles körű alkalmazása, amely biztosítja a szinkronizált mérések megfelelő penetrációját és redundanciáját, kulcsfontosságú tényező. Ilyen széles körű alkalmazás érhető el, ha a PMU funkciót modern mikroprocesszor alapú relékbe integrálják - hasonlóan a mérés, a hibarögzítés és az esemény-újrakábelezési képességek sorrendjének relék integrálásának trendjéhez. A PMU-funkciók végrehajtása azonban új követelményeket támaszt a védelmi formákkal szemben. A legfontosabb, hogy a PMU-k megkövetelik a hullámforma minták korrelációját a globális helymeghatározó rendszer (GPS) által vezérelt abszolút idővel, és a mért fázisokat az ilyen abszolút időre vonatkoztatva kell jelenteni. A hagyományos védelmek aszinkron módon mintavételezik a bemeneti feszültségeket és áramokat. A védelmek az alapvető védelmi funkciókat biztosítják a PMU-funkciók új lehetőségeket nyithatnak a villamosenergia-rendszer védelem-automatikai kialakításában.

A jelenlegi PMU-k egy globális helymeghatározó rendszer (GPS) vevőből, egy adatgyűjtő egységből és egy kommunikációs interfészből áll. A GPS-vevő közös időreferenciát biztosít a PMU számára, és biztosítja, hogy a mérések szinkronizálva legyenek a hálózaton. Az adatgyűjtő egység a feszültség és az áram analóg jeleit digitális mintákká alakítja, és diszkrét Fourier-transzformációs (DFT) algoritmussal kiszámítja a fázisokat. A kommunikációs interfész a fázisadatokat egy központi helyre, például egy fázis adatkoncentrátorba (PDC) továbbítja, ahol az adatok feldolgozhatók és elemezhetők. Lehetséges, hogy a védelmi alkalmazásokhoz új típusú PMU-egységekre lesz szükség - elsősorban a működési sebességet illetően. az eddigi fejlesztéseknél nem volt szempont az ultragyors - microszekundum nagyságrendű működés hisz alapvetően monitoring és zavaríró szerű működés volt megcélózva. A védelmi rendszerek kialakításához a gyors működés elsőszámú prioritás.

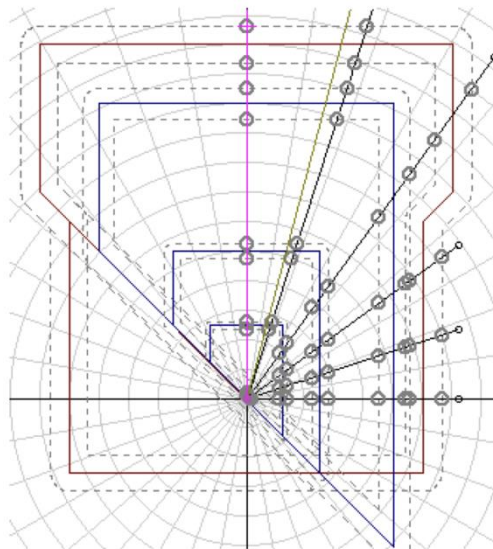
A PMU-k számos előnyt kínálhatnak az energiarendszer felügyeletében és vezérlésében, például nagy felbontást és pontosságot, széles lefedettséget és láthatóságot, valamint fokozott funkcionalitást és rugalmasságot. Új alapokra helyezhetők a védelem-automatikai rendszerek. Fokozott funkcionalitás és rugalmasság érhető el, amikor pl. nem csak egy távvezeték kettő végén mérjük az impedanciát, hanem egy-egy körzetet egyszerre értékelek ki. Ehhez körzetenként vagy országoként - esetleg a teljes európai rendszernek szüksége lesz egy szuper-számítógépre, amelyre befutnak egyszerre a PMU-adatok és azok ott kerülnek kiértékelésre.

1 Alkalmazott védelmi elvek

A nagyfeszültségű hálózatok hurkolt kialakításuk miatt impedancia, vagy távolsági védelmet alkalmaznak. Ennek előnye, hogy a hurkolt hálózatban folyó áramok nagysága helyett a hálózat impedanciáját mérik és hiba esetén ennek a megváltozása alapján avatkoznak be. Ebben a fejezetben a jelenleg alkalmazott távolsági védelmeket, valamint a továbbfejlesztési potenciált magában tartalmazó PMU elvét fogjuk ismertetni.

1.1 Távolsági védelmek [1][6]

A távolsági védelmek a nagyfeszültségű hálózat egyik leggyakoribb védelme. Alapelve, hogy a hibák során megváltozik a hálózat impedanciája és a beállított karakterisztika alapján működésbe lép az elsődleges, vagy másodlagos fokozata. Egy modern digitális távolsági védelem működési



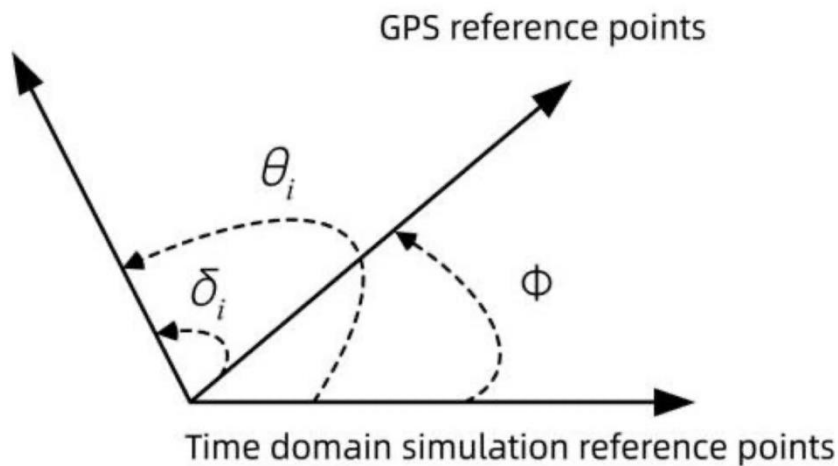
1.Ábra
Távolsági védelem karakterisztikái [6]

karakterisztikáját az (1.ábra) szemlélteti

Az (1.ábra) alapján látható, hogy a védelem több fokozattal is rendelkezik, emiatt egyszerre tud működni közeli és távoli zárlatokra.

1.2 Fázormérő egység működési elve [5]

A nagyfeszültségű alállomásokon, különösen 220- és 400 kilovoltes feszültségszinteken úgynevezett fázormérő (PMU) egységeket helyeznek el. Ezek az egységek a IEEE C37.118 szabvány szerint



2.Ábra:
PMU egység mérése[5]

működnek. A működési logikát a (2.ábra) szemlélteti.

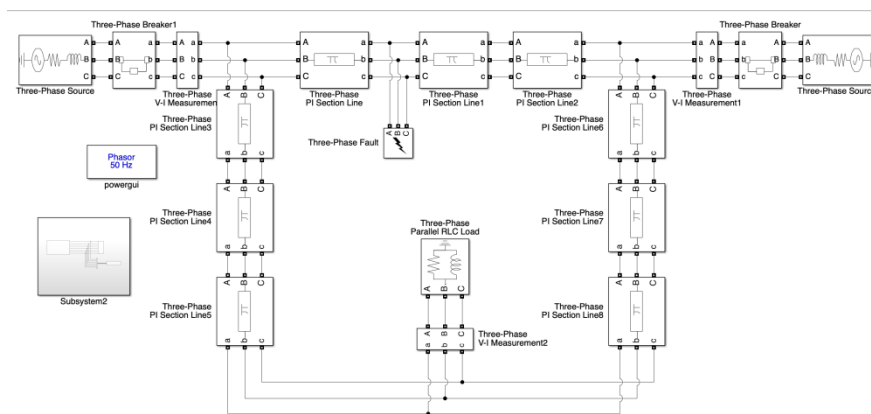
A PMU működésének lényege, hogy az adott mérési pontban megméri a hálózat feszültségeit és áramait. A mért analóg értékeket kiértékelik és fázorokká alakítják őket. A kiértékelt fázorok rendelkeznek amplitúdóval és fázisszöggel. A fázisszöget a GPS kommunikációval kapott referencia jelhez képest megvizsgálják, hogy az azonos időbélyeggel ellátott értékhez képest siet, vagy késik a mért fázor, így előjelhelyesen megkapható a fázisszög.

A PMU alkalmazása az alábbi előnyöket tudja eredményezni:

- A fázorok pillanatnyi állásából megállapítható, hogy a vizsgált rendszer stabilitása megfelelő-e.
- A fázorok lassú mozgásából lehet következtetni a stabilitás csökkenésére, így a hálózat bontása előtt képesek lehetünk a beavatkozásra.
- A fázorok gyors mozgása zárlatra utalnak. Az amplitúdó és a fázisszög megváltozásából behatárolható a hiba közelítő helye és jellege.

2 Alkalmazott modellek

Kutatásaink során több hálózatszámító programot is megvizsgáltunk, viszont a releváns szempontokat összegezve a Matlab-Simulink környezet használata tűnt a legcélszerűbbnek. Egyrészt a program lehetőséget nyújt a teljesítményáramlás szimulációjára és a kapott adatok kiértékelésére és vizualizálására, valamint a kezdetben használt összes szimulációs modell a rendelkezésünkre áll. A Simulink-Simscape Electrical modell a többi hálózatszámító programhoz hasonlóan gyorsan és pontosan adja a vissza a szimulált hálózat paramétereit [2]. Kezdsnek felvettünk egy teszt-hurkolt hálózatot, amely a (3.ábra) szerint épül fel.



3.Ábra

Felépített Matlab-Simulink modell

A szimuláció során törekedtünk arra, hogy a valóságnak megfelelő modellt válasszunk, így jelen esetben is egy több betáplálási ponttal rendelkező hurkolt hálózatot vizsgáltunk meg.

A (3.ábra) az alábbi elemeket tartalmazza:

- Three-Phase source: Háromfázisú betáplálási pont
- Three-Phase Breaker: Háromfázisú megszakító
- Three-Phase V-I Measurement: Feszültség és áram mérési pont
- Three-Phase PI Section Line: Átviteli hálózat
- Three-Phase Parallel RLC Load: Konstans teljesítménnyel működő fogyasztó
- Three-Phase Fault: Zárlati pont

2.1 Betáplálási pont [4]

A betáplálási pont biztosítja a vizsgált hálózat számára a teljesítmény egyensúlyt. A blokk a hálózatszámításban ismert "Slack", vagy lengő csomópontként funkcionál, miszerint ő mereven tartja a beállított feszültség szintet, viszont teljesítményben a szükséges mennyiséget táplálja bele, vagy használja fel a hálózat működése szempontjából.

Paraméterei a következők:

- Névleges vonali feszültség szintje: 132 kilovolt
- Névleges frekvenciája: 50 Hertz
- Rövidzárási teljesítménye: 1000 megavoltamper
- Impedanciájának "X/R" viszonya: 7

2.2 Megszakító [4]

A fellépő hiba megszüntetésére háromfázisú megszakító modellt alkalmaztunk. A modell lényege, hogy a zárlat bekövetkezte után csak a hibás "A" fázist lekapcsolja. Mivel a hálózaton tartós zárlat lép fel, így a "védelem" ezt definitív kioldásként nem fogja visszakapcsolni, hanem "sántaüzemben" fog tovább működni a hálózat.

2.3 Átviteli hálózat [4]

Az átviteli hálózatot reprezentáló "PI section line" egy szimmetrikus háromfázisú nagyfeszültségű vezetékrendszert képez le. A modell tartalmazza a vezeték soros pozitív és zérus ellenállásait és induktivitásait, valamint a földhöz képest mért kapacitásokat. Szimuláció során a (3.ábra) szerint az összes vezeték modell-blokk paraméterei azonosak. Egy blokknak a paraméterei következők:

- Blokk hosszúsága: 20 kilométer
- Egységnyi hosszra (Ohm/kilométer) levetített pozitív és zérus sorrendű ellenállás [0.01273 0.3864]
- Egységnyi hosszra (Henry/kilométer) levetített pozitív és zérus sorrendű induktivitás [0.9337e-3 4.1264e-3]
- Egységnyi hosszra (Farad/kilométer) levetített pozitív és zérus sorrendű kapacitás [12.74e-9 7.751e-9]

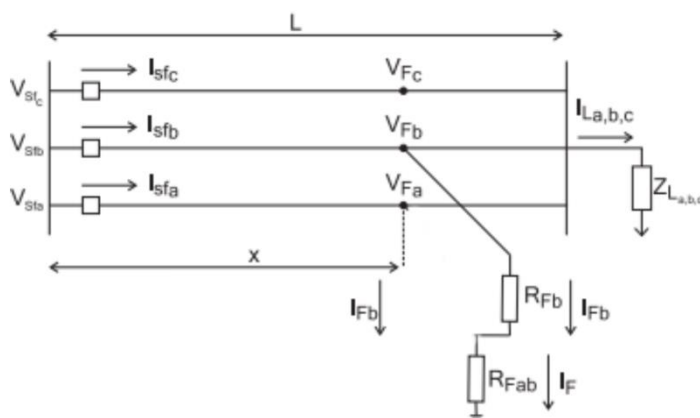
2.4 Fogyasztási pont [4]

A fogyasztói pont a hálózatszámításban ismert "PQ" modellként működik, vagyis ő egy olyan elemként képezi le magát a hálózatban, hogy a feszültség értékétől függetlenül konstans valós- és meddőteljesítményt vesz fel a hálózatból. A felvett teljesítmény jelen számítás során 10 megawatt és 4 megavoltamper-reaktív volt.

2.5 Mérők és hibák

A (3.ábra) szerinti hálózatban a kezdetleges PMU alapú hibabehatárolás miatt nem csak a betáplálási, de a fogyasztói pontban is helyeztem el mérő egységet. Ezek az egységek mérik a feszültségek és áramok amplitúdóit és fázisszögeit. Jelen példában csak a feszültség fázorokkal foglalkoztunk, mivel hipotéziseink szerint a hiba jellege és helye meghatározható csak a feszültség fázorok ismeretével.

A hálózaton (3.ábra) elhelyezett hiba jelenleg az első- és második betáplálási pont közötti hálózaton helyezkedik el, az első betáplálási ponttól 20, a másodiktól 2*20 kilométerre. A hiba idealizálva van, vagyis a hibahelyi ellenállást elhanyagoltuk. A hiba jelenleg egy aszimmetrikus egyfázisú földzárlatot képez le a szimulációs idő felében. A hiba fellépését követően 100 milliszekundum múlva lekapcsolnak a megszakítók, így láthatóak lesznek az ábrákon a hiba megszüntetését követő értékek



4.Ábra
Hálózaton fellénő egyfázisú földzárlat helvettesítő kéne[3]

is. Az aszimmetrikus hibának az elvi helyettesítő képét a (4.ábra) szemlélteti.

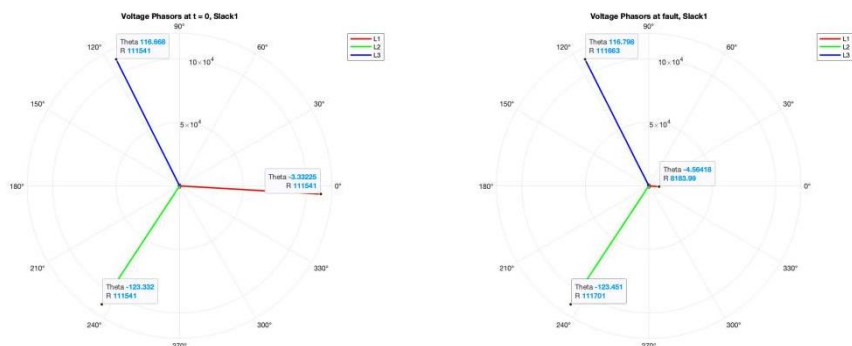
3 PMU alkalmazási lehetőségei

A (3.ábra) szerinti hálózati modellt megvizsgáltuk üzemszerű állapotban és a kapott értékekből (feszültség és áram) arra a következtetésre jutottunk, hogy a modell megfelelően reprezentál egy hurkolt nagyfeszültségű hálózatot. Az ellenőrzést követően elhelyeztük a hálózatban a (2.fejezetben) tárgyalt aszimmetrikus sönthibát, majd megvizsgáltuk a mérési pontok PMU értékeit. Jelen fejezet ezeknek az értékeknek a kiértékelésével foglalkozik.

3.1 Első betáplálási pont mérési értékei

Az első betáplálási pont, amely a (3.ábra) szerinti “bal felső” oldalon található, az (5.ábra) szerinti fázorokat kaptuk.

A normál üzemállapotot reprezentáló “bal” ábra szerint az egyes fázisokban minimális fáziseltolás tapasztalható a mögöttes hálózatok belső impedanciájuk miatt. Az egyes feszültségek értékeire 111.541 kilovoltos szintet kaptunk, ami a 132 kilovoltos hálózat esetén mért fázisfeszültség (76.21



5.Ábra

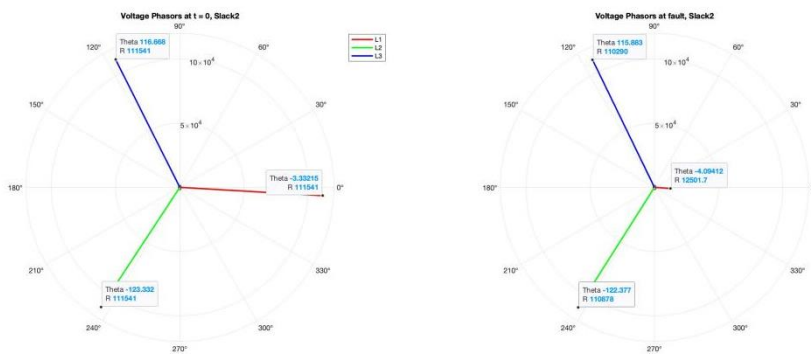
Első betáplálási pont normál (bal) és hibás (jobb) fázorábrája

kilovolt) csúcserőértéke.

Miután elhelyeztük a zárlatot a hálózatban, a zárlat pillanatában a (5.ábra) szerinti “jobb” fázorábrát kaptuk. Látható, hogy a hibás “L1” fázis feszültsége lecsökkent 8.183 kilovoltos szintre. Ez a későbbi hibabehatárolás és hiba típus meghatározás során kiemelkedően fontos lesz.

3.2 Második betáplálási pont mérési értékei

A (3.ábra) szerinti minta hálózat “jobb felső” oldalán található második betáplálási pont az első ponthoz hasonlóan “Slack” modellként működik a szimuláció során, így a hibamentes állapotban azonos feszültség amplitúdó és szöghelyzet értékeket kaptunk. Hibamentes üzemben a vizsgált “L1” fázis feszültségének értéke 111.541 kilovolt, fáziseltolása a referencia 0-hoz képest -3.332 fok.



6.Ábra

Második betáplálási pont normál (bal) és hibás (jobb) fázorábrái

A második fogyasztói pont hibamentes és hibás állapotainak fázorábráit a (6.ábra) szemlélteti.

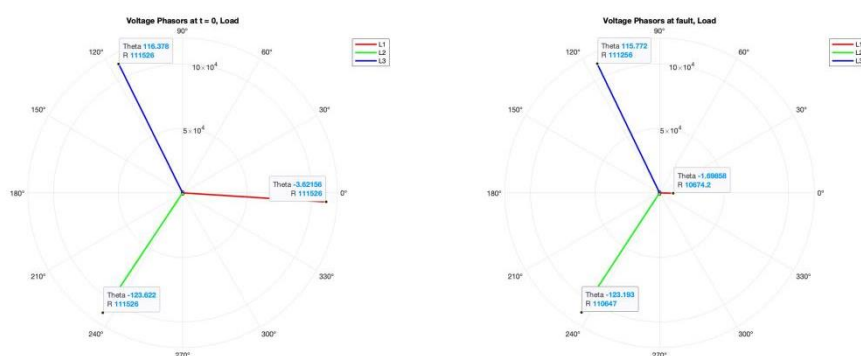
Az aszimmetrikus egyfázisú zárlat kialakulása után a hibás fázisfeszültség nagysága lecsökkent 12.501 kilovoltos értékre. Itt megfigyelhető, hogy mivel a (3.ábra) szerint a második betáplálási ponttól távolabb helyezkedik el a hibahely, így a fázisfeszültség letörése is kisebb mértékben jelentkezik, mint a hibához közelebb elhelyezkedő első betáplálási pont.

A hibás “L1” fázisban tapasztalható egy kisebb mértékű fázisszög eltolódás. A hibahelyhez közelebb elhelyezkedő első betáplálási pont esetén a fázisszög nagyjából 1.23 fokot csökkent a kezdeti fázisszöghöz képest, míg a távolabb elhelyezkedő második betáplálási pont esetén ez csak 0.76 fok.

3.3 Fogyasztói pont mérési értékei

A fogyasztói pontunkba -amely a (3.ábra) szerint "középen" található- elhelyezett fázormérő hibamentes üzemben alacsonyabb feszültség szintet mért, mint a betáplálási pontokba elhelyezett mérőegységek. Ez a fogyasztó által felvett áram okozta hálózati feszültségcsökkenésre vezethető vissza.

Mivel a vizsgált nagyfeszültségű hálózat hurkolt kialakítással rendelkezik, így kisebb mértékben jelentkezik a feszültségcsökkenés, mint egy sugaras kiefeszültségű hálózat esetében. A fogyasztónál mért vizsgált "L1" fázis feszültségének értéke itt 111.526 kilovolt.



7.Ábra

Fogyasztási pont normál (bal) és hibás (jobb) fázorábrája

A hibamentes és zárlatos üzemben mért fogyasztói feszültség fázorokat a (7.ábra) szemlélteti.

A zárlat bekövetkeztekor a vizsgált "L1" fázis feszültségének értéke lecsökkent 10.671 kilovolts szintre, a fázor fázisszöge viszont megnövekedett -3.62 fokról -1.69 fokra. A kapott értékek itt is arra engednek következtetni, hogy a hálózaton az "L1" fázisban történt hiba, hiszen a fogyasztói pontban is csak ez a fázisfeszültség csökkent le.

3.4 Kiértékelés

A szimuláció során kapott értékeket összegeztük, hogy következtetéseket tudjunk levonni a hibamentes normál állapothoz képest történő változásokból.

Mért "L1" fázis nagyságainak változása:

- Első betáplálási pont feszültségváltozása 111.541 kilovoltról 8.183 kilovoltos szintre.
- Második betáplálási pont feszültségváltozása 111.541 kilovoltról 12.501 kilovoltos szintre.
- Fogyasztói pont feszültségváltozása 111.526 kilovoltról 10.674 kilovoltos szintre.

A feszültség szintek változásaiból megállapítható, hogy a hiba jellege "1FN" egyfázisú föld rövidzár volt az "L1" fázisban. Ezt a (8.ábra) szemlélteti, hogy a többi feszültség amplitúdójában nem történt érzékelhető változás. A feszültség nagyságának változása az első betáplálási pontban volt a legnagyobb, így a változás nagysága arra enged következtetni, hogy a hiba az első betáplálási ponthoz volt a legközelebb.

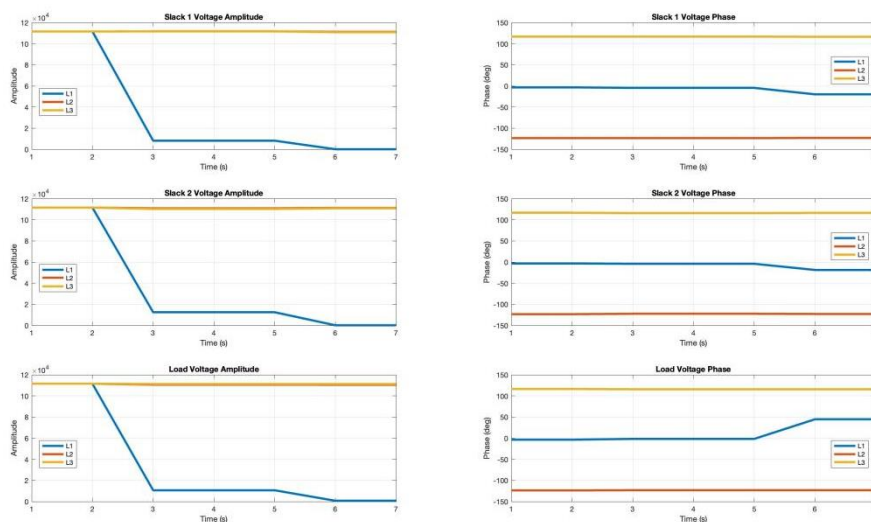
A fázisszögek változásai során is azt állapíthatjuk meg, hogy az "L1" fázisban egyfázisú föld rövidzár történt, mivel csak a hibás "L1" fázisszög változott meg a mért pontokban. Ezt a (8.ábra) is szemlélteti, hogy hogyan változtak meg a hiba előtt, közben és után a fázisszögek.

Mért "L1" fázis fázisszögeinek változása:

- Első betáplálási pont fázisszöge a kiindulási -3.33 fokról -4.56 fokra változott a hiba hatására.
- Második betáplálási pont fázisszöge a kiindulási -3.33 fokról -4.09 fokra változott a hiba hatására.
- Fogyasztói pont fázisszöge a kiindulási -3.62 fokról -1.69 fokra változott a hiba hatására.

Itt is azt figyeltük meg, hogy az első betáplálási pont esetén, ahol közelebb volt a hibahely, ott nagyobb mértékben változott meg a fázisszög, mint a hibahelytől távolabb lévő betáplálási pontban. A fogyasztó esetén ebben a szimulációban fázisszög növekedést tapasztaltunk.

Az amplitúdók és fázisszögek időbeli változásainak összesítő ábráját a (8.ábra) szemlélteti. Megfigyelhetjük, hogy hogyan alakultak az egyes értékek a hiba bekövetkezte előtt (X tengely értéke kisebb, mint 2), a hiba bekövetkeztekor (X tengely értéke nagyobb, mint 2, de 5-nél kisebb) és a



8.Ábra

Feszültségek amplitúdóinak és fázisszögeinek időbeli változásai

megszakítók lekapcsolása után (X tengely értéke nagyobb, mint 5).

Összefoglalás

A cikkhez kapcsolódó kutatás során megvizsgáltuk a jelenleg használt védelmeket amiket a nagyfeszültségű hálózatokon alkalmaztak.

Felvetettük a PMU védelemtechnikai alkalmazásainak lehetőségeit, valamint a szimulációhoz elkészítettünk egy nagyfeszültségű hirtelen hálózatot Matlab-Simulink környezetben.

A modellben felvettünk a szimulációhoz szükséges hálózati blokkokat és ezeket felparamétereztük. A kiértékelések során azt tapasztaltuk, hogy a PMU mért értékeiből úgy, mint az egyes fázisok feszültségeinek amplitúdói és fázisszögei a hiba jellegére engednek következtetni.

A hibahely behatárolás további kutatási tárgyát képezik.

Hivatkozások

- [1] P.Gyula et al. "Védelmek és automatikák a villamosenergia-rendszerekben", Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Műszaki könyvkiadó, Budapest 1988, ISBN: 963 10 7554 0
- [2] B. Dowling, I. Sengor, és B. P. Hayes, „Conversion of Power Flow Models into Real-Time Simulation Models: A Case Study of OpenDSS to Matlab/Simulink Conversion for a Large-Scale Distribution Network”, in *2023 58th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, aug. 2023, o. 1–6. doi: [10.1109/UPEC57427.2023.10294516](https://doi.org/10.1109/UPEC57427.2023.10294516).
- [3] S. Kumari, A. Mishra, A. Singhal, V. Dahiya, M. Gupta, és S. K. Gawre, „Fault Detection in Transmission Line Using ANN”, in *2023 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*, febr. 2023, o. 1–5. doi: [10.1109/SCEECS57921.2023.10063045](https://doi.org/10.1109/SCEECS57921.2023.10063045).
- [4] H. Mounia, B. D. Karawane, és B. Amel, „Modeling of Real Algerian High Voltage Line with PV Energy Source for Short Circuit Simulation”, in *2022 International Conference of Advanced Technology in Electronic and Electrical Engineering (ICATEEE)*, nov. 2022, o. 1–6. doi: [10.1109/ICATEEE57445.2022.10093714](https://doi.org/10.1109/ICATEEE57445.2022.10093714).
- [5] L. Zhuangzhuang, W. Xiang, C. Guofu, és M. Xiaobin, „Phasor Measurement Unit Measurement Data Processing Method Applied to a Two-Stage Identification Algorithm for Load Model Parameters”, in *2022 6th International Conference on Power and Energy Engineering (ICPEE)*, nov. 2022, o. 236–245. doi: [10.1109/ICPEE56418.2022.10050284](https://doi.org/10.1109/ICPEE56418.2022.10050284).
- [6] A. Apostolov és B. Vandiver, „Testing of Multifunctional Distance Protection Relays”, in *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, jún. 2007, o. 1–6. doi: [10.1109/PES.2007.386178](https://doi.org/10.1109/PES.2007.386178).
- [7] A.G.Phadke, J.S.Thorp, M.Adamiak, “A New Measurement Technique for Tracking Volt-age Phasors, Local System Frequency, and Rate of Change of Frequency,” IEEE Transactions on PAS, May 1983.
- [8] A.G.Phadke, “Synchronized Phasor Measurements,” IEEE Computer Applications in Power, April 1993.
- [9] IEEE Std. C37.118, IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems, 2005.

Zárlati áramok korlátozása

Dr.Morva György*, Bencsik József**

Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki kar ,
Budapest 1034 Bécsi út 96/B Magyarország, morva@uni-obuda.hu*
Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola,
Budapest 1034 Bécsi út 96/B Magyarország, bencsik.jozsef@uni-obuda.hu**

A villamosenergia-rendszer fogyasztása évről évre egyre jobban növekszik. Ennek egyik magyarázata a jelentős megújuló energiaforrás megjelenése és az elektromos autók tömeges elterjedése. A növekvő igények a hálózatok "sűrűsödését" okozzák. Ennek következménye a zárlati áramok szintjeinek folyamatos növekedése a nagy-, közép- és kisméretű hálózatokon egyaránt. A szükséges védelmi berendezések cseréje a magas költségek miatt nem megoldható, emiatt gondoskodni kell a más megoldásokon.

Kulcsszavak: Zárlat, Korlátozás, Smart, Középfeszültség, Kisméretű

1 A főelosztó hálózatok zárlati áramkorlátozása

A villamosenergia-rendszerek hálózata (220 és 400 kilovoltos) folyamatosan bővül. Egyre több 220/132, valamint 400/132 kilovoltos állomás létesül. Egyidejűleg a szomszédos országokkal is egyre több 400 kilovoltos kapcsolat is épül ki. A magasabb hálózati szintek növekvő zárlati teljesítmény-szintekkel jár. Jelenleg a zárlati áramok emelkedése a 110 - 145 kilovoltos főelosztó hálózatokban okoz problémákat. Hazánkban a névleges főelosztói hálózat feszültség-szintje 120 kilovolt volt korábban, amely 132 kilovoltra lett módosítva.

Felmerülhet a kérdés, hogy a 132 kilovoltos főelosztó hálózat összes elemének zárt, sokszorosan hálózati állapotát fenn lehet-e tartani? Egyik oldalról a 132 kilovoltos zárlati teljesítmények folyamatosan emelkednek, másik oldalról készülék szinten gazdaságosan nehezen uralhatók. Elméletileg elképzelhető lenne, hogy minden 220/132 és 400/132 kilovoltos állomásnak a saját 132 kilovoltos körzete legyen, azaz a 132 kilovoltos körzetek egymással ne legyenek kapcsolatban, de ez azt is jelentené, hogy alaphálózati üzemzavaros állapotokban a főelosztó hálózat nem tudna sürgősen beavatkozni az alaphálózatnak. Hasonló helyzet alakulhat ki ha nagy tranzit-teljesítménnyel terhelődik az alaphálózat, amelynek ilyenkor megint csak a főelosztóhálózat képes tartalékot biztosítani.

A hazai rendszer földrajzi elhelyezkedése miatt jelentős tranzit-teljesítményeket visel el. Az eredetileg teljesen összefüggő és a lehetséges legzártabb állapotban üzemelő 132 kilovoltos hálózaton egyre több ponton a zárlati teljesítmények szintje elkezdte meghaladni az ott beépített kapcsoló berendezések megszakítási képességeit (4000 megavoltamper). Jelenleg is megoldandó problémaként jelenik meg ezen szituációk kezelése. Ez a probléma erőteljesen olyan városoknál jelentkezik , ahol nagy koncentrált energiafogyasztás van (Budapest-Debrecen és Győr).

További problémákat vethet fel az egyre jobban kiterjedt Budapesti hurkolt 132 kilovoltos kábelhálózat, amelyben a zárlati áramok szintje is emelkedik – ugyanakkor a kábel-vonalak impedanciája igen alacsony. Még a teljesítmény eloszlás kézbentartása is nagyobb figyelmet igényel, mint az olyan körzetekben, ahol csak légvezetékes hálózatok vannak 10-30 ohmos vezeték impedanciákkal.

Speciális problémát jelent a 132 kilovoltos kábelek árnyékolásának kezelése – annak hatása a kábel pozitív- és zérus-sorrendű ellenállására. Az árnyékolás jelentős hatással bír a kábel impedanciájára és jellemző módon a gyártók nem tudnak korrekt adatokat adni, így a számítási modellekbe pontatlan adatok kerülnek be. [1]

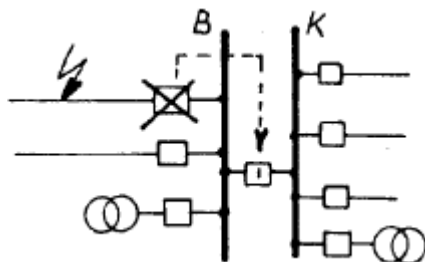
Nem nehéz belátni, hogy ha csökkentjük a főelosztó hálózat hurkoltságát, akkor a zárlati teljesítmények csökkenni fognak. Minden új bontási pont viszont -törvényszerűen- a hálózati veszteségek növekedésével jár. Másik oldalról viszont csökken a teljes rendszer megbízhatósága is mivel alacsonyabb tartalékolást jelent a 132 kilovoltos hálózat az átviteli hálózat felé. Továbbá a főelosztó hálózatról ellátott fogyasztás ellátási biztonsága is csökken.

A tervszerű hálózatbontások folyamata hazánkban a '70-es évek második felében kezdődött el és jelenleg is alkalmazott megoldás. Ezen probléma nem csak hazai sajátosság ezért kitekintést végzünk a külföldi gyakorlatokra is [2. és 3].

Hazai szinten a hálózat lazítás két módja alkalmazható 132 kilovolton :

- A hálózati csomópontok bontása
- Hurokágak nyitásával bontott ívek létrehozása

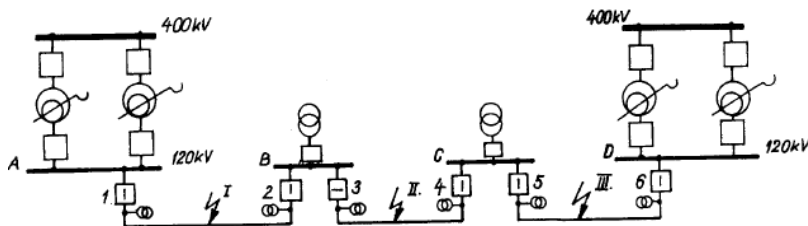
Csomópont lazítást láthatunk az (1. ábrán), ahol az egyes sínekre két távvezeték csatlakozik és egy transzformátor. Alaphelyzetben a sínáthidaló megszakító nyitott. Amennyiben bármelyik vezeték kiesik a zárlati teljesítmény lecsökken, ekkor a sínáthidaló automatikusan bekapcsolhat.



1.Ábra
Csomópont lazítása

A bontott ívek alkalmazása viszonylag bonyolultabb feladat. Elvileg a bontott íven bárhol tarthatjuk a bontási pontot, csak azt kell biztosítani, hogy feszültségváltókkal figyeljük a távvezetékek állapotát és zárlatkor zárjuk a bontási pontot és a védelmek a zárlatos szakaszt kiválasztják és lekapcsolják majd visszakapcsolják a kiesett alállomást is (2.ábra).

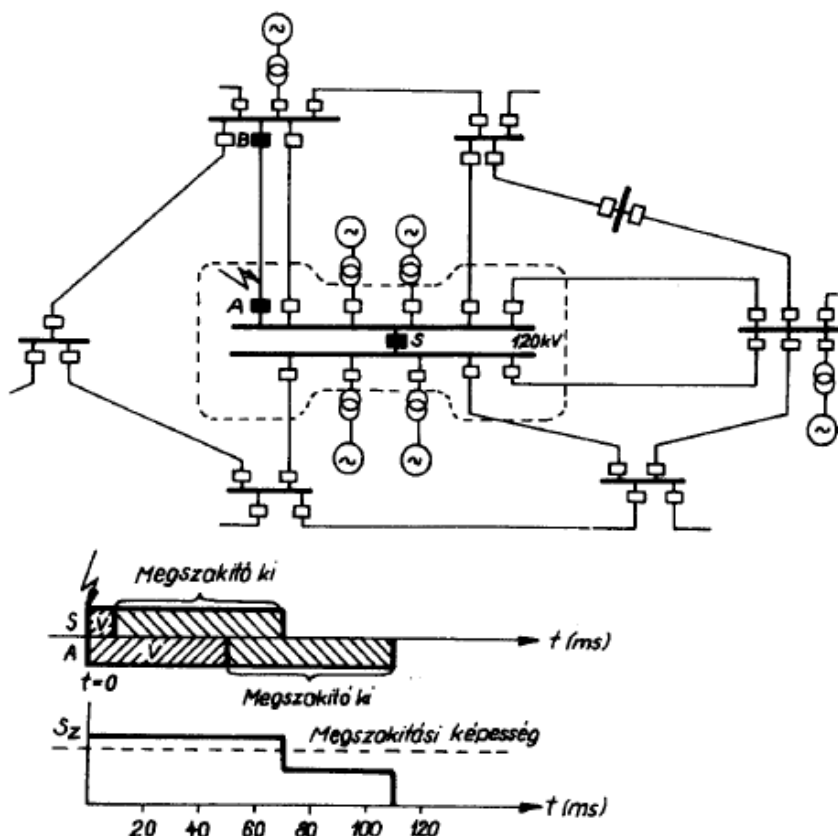
Előfordulhat, hogy nem tarthatjuk nyitva a sínáthidaló megszakítót.



2.Ábra
Bontott ívek módszere

Az automatikus zárlatkorlátozásra a (3.ábra) mutat példát. Az erősen hurkolt 120 kilovoltos hálózat koncentrált csomópontját képező erőmű gépegységeit és a csatlakozó vezetékeket kb. fele-fele arányban megosztják a két gyűjtősín között. Az S-jelű sínáthidaló megszakító normálisan zárt, tehát a két sínt összeköti. A sínáthidaló áramváltóihoz olyan igen gyors, max. 10 milliszekundumon belül működő túláramrelék csatlakoznak, amelyeknek megszólalási áramát úgy állítják be, hogy az erőmű közelében /a szaggatott vonallal határolt területen/ fellépő minden rövidzárlatra azonnal kikapcsolják az S sínáthidalót.

Az AB vezeték bejelölt közeli zárlatánál, amelynek árama az A-megszakító lekapcsolási képességét meghaladja, a vezeték bonyolult kiértékelését végző távolsági védelme feltétlenül később ad kioldó impulzust az A megszakítónak, mint az egyetlen funkciót végző egyszerű, de gyors áramrelé a sínáthidalónak. Így az S sínáthidaló e rajta átfolyó áramot már megszakította, amikor az A megszakítóban a tényleges ívoltage sor kerül, ezért utóbbi már csökkentett áramot szakít meg. A sínáthidaló védelmének gyorsabban kell működnie (< 10 milliszekundum) az A megszakító védelem szokásos távolsági védelmének $> 25-30$ milliszekundum, így a sínáthidaló mindenképpen gyorsabban tud megszakítani.



3.Ábra
Automatikus zárlati korlátozás

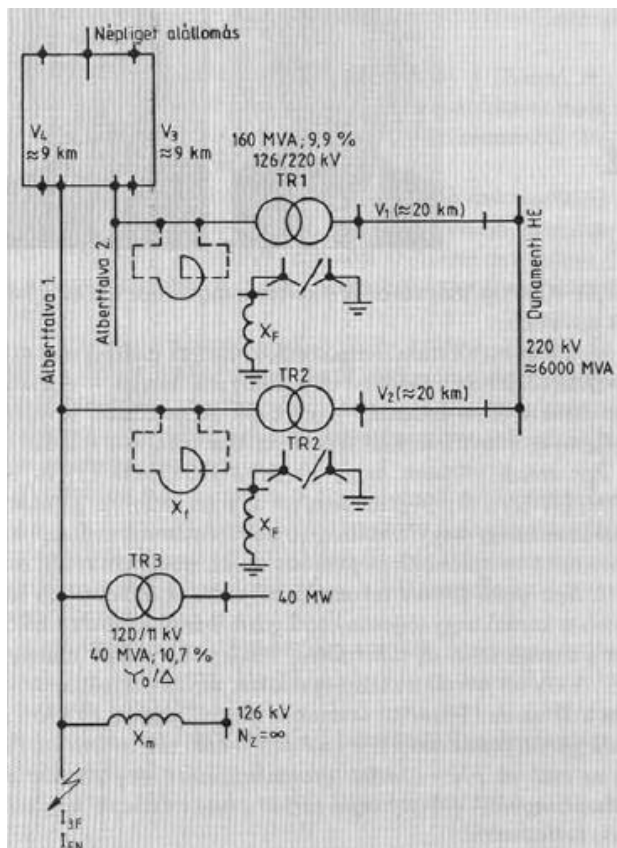
A főelosztó hálózatok "lazítása" kényszerdöntés, amely negatívan befolyásolja az erőművek és a hálózatok megbízhatóságát. Nemcsak csökkenti a rövidzárlati áramokat, hanem egyidejűleg a hálózat "merevségét" is - növeli a csomópontok mérésponti ellenállását – ami nem kívánatos. Ehhez össze kell egyeztetni a hálózati struktúra változásait a fenntarthatóság kérdésével. Valójában az erőművek működési stabilitása szempontjából az előállító források és a rendszer közötti átviteli reaktancia korlátozott. Az erőművek paramétereitől függően nem haladhat meg egy bizonyos értéket. A hálózatok lazítása az aktív teljesítmény természetes árameloszlását is módosítja, ami a villamosenergia-rendszer teljesítmény- és villamosenergia-veszteségének növekedéséhez vezet.

A fentiek alapján megállapítható, hogy még nem vizsgálták kellőképpen a rövidzárlati áramok korlátozásának átfogó hatékonyságát a hálózatok lazításával és annak az energiarendszerre gyakorolt hatásának felmérésével. A hálózat lazítása azonban egy határon túl már nem járható út, mert egyrészt csökkenti az üzembiztonságot. másrészt az üzemállapot megváltoztatása nagyszámú kapcsolást igényel, ami növeli a tévesztés lehetőségét, azaz szintén az üzembiztonság csökkenése a következmény.

A '90-es évek második felében folytak még jelentős vizsgálatok a budapesti főelosztó hálózatban 120 kilovoltos soros fojtótekercsek beépítésének lehetőségével [4. 5.] a soros fojtók -mintegy megnövelik a transzformátorok dropját, ami által csökken a 120 kilovoltos hálózat zárlati igénybevétele.

120 kilovolton a zárlati viszonyokat súlyosbítja, hogy az X_0/X_1 viszony jellemzően kisebb 1-nél, sőt egyes állomásoknál 0,35...0,5 közötti értéken is lehet, tehát a zárlatok 90...95 százalékát kitevő FN zárlati áramok 10...25 százalékkal nagyobbak a 3F zárlati áramoknál. Kiterjedt vizsgálatok készültek egyes csillagpont lazítási eszközökkel (csillagponti fojtó, csillagpont szigetelése) milyen mértékben csökkenthető a földzárlati árain nagysága az egyes alállomásokban. Az FN zárlati áramok csillagponti fojtóval, ill. a nagyszámú fogyasztói transzformátor csillagpontjának szigetelésével való nagy költséggel járó megoldás és nőhet a megszakítók visszatérő feszültsége, amely csökkenti az üzembiztonságot. Ugyanakkor beépítésre kerültek alaphálózati transzformátorok csillagpontjába -pl. Ócsán- fojtó tekercsek.

A hazai gyakorlatban a soros fojtók alkalmazása és bevezetése a hazai nagyfeszültségű hálózaton egyenlőre várat magára a bevezetése. Az [1-2]-ben foglaltak szerint történt zárlati számítás az Albertfalvai 220/120 kilovoltos alállomásban úgy soros mint csillagponti fojtók beépítésére (4. ábra)



4.Ábra

Az Albertfalvai alállomás soros és csillagponti fojtókkal

A szerzők által végzett számítógépes vizsgálatok alapján – figyelembe véve a teljes hálózatot az FN zárlati áramokat a 16 ohmos fojtók -3 %-alcsökkentették. Ennek magyarázata az, hogy a zérussorrendű hálózat sok párhuzamos ágból áll és a nagyszámú fogyasztói nagy- / középfeszültségű transzformátor söntölő hatása erősen mérsékli a két nagyobb zárlati áramú nagytranszformátoros ág csillagponti fojtóval elért reaktancia növekedésének a hatását (Bauch-paradoxon jelenség).

A soros 8 ohmos X_f -hatása jelentősebben érvényesülhet mind a 3F és mint az FN zárlatok vonatkozásában. Ekkor 14 és 13 százalékos csökkenéseket sikerült elérni. Ilyen nagyfeszültségű fojtótekerceket széles műszaki választékban a GE állít elő.



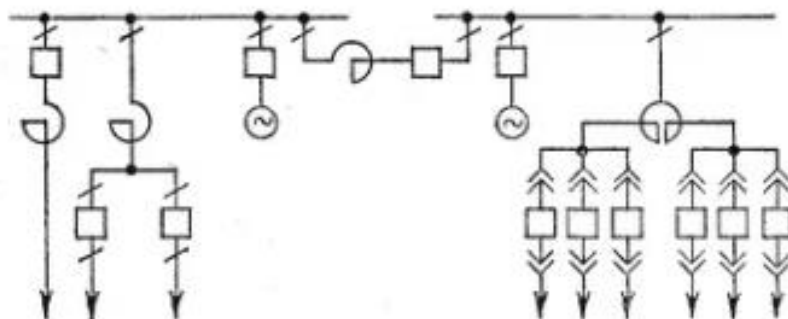
5.Ábra
Nagyfeszültségű GE fojtók

A szerzők által végzett számítási eredmények igazolták a korábbi vizsgálati eredményeket, hogy a csillagponti fojtó elsősorban a táppontokban csökkenti jelentősebben az FN zárlati áramokat. A csökkenés mértéke az alaphálózati táppontokban átlagosan megfelel a 4 ohmos soros fojtóval elérhető FN zárlati áramkorlátozásnak, de a soros fajták a 3F zárlati áramokat is mérséklék. A táppontoktól távolodva azonban jelentősen nagyobb zárlati áramkorlátozás érhető el a soros fojtókkal. Azokban az alaphálózati állomásokban, ahol nincs 120 kilovoltos / középfeszültségű transzformátor (Göd), a csillagponti fojtó hatása megközelíti a 8 ohmos soros fojtó zárlatkorlátozó hatását. A 8 ohmos soros fojtó a táppontokban 4...14 százalékkal nagyobb mértékű FN zárlati áramcsökkenést eredményez, mint a korábban javasolt csillagponti fojtók és közel azonos mértékű a 3F zárlati áram csökkenése is.

2.Középfeszültségű zárlati korlátozás

A középfeszültségen elsősorban a városi 10 vagy 20 kilovoltos kábelhálózatokban jelentkezik a korlátozási igény, ugyanis mivel a 10..20/0.4 kilovoltos alállomások leginkább épületeken belül kerülnek kialakításra, ahol korlátozott szintű zárlati áramok engedhetők meg – ez hazai szinten 5 kiloamper.

Ugyanakkor a 10 kilovoltos hálózatot betápláló transzformátorok 40 és 63 megavoltamper teljesítményűek, amelyek zárlati árama 20 -és 30 kiloamper feletti. Nyilvánvaló, hogy a kívánt zárlati szintet csak soros fojtókkal lehet elérni. Ezen fojtók 0.6-0.8 ohm nagyságrendűek. Itt felmerülhet az ún központi fojtó alkalmazása, leágazásonkénti-, csoportos-, sínáthidalós és ikerfojtós megoldás (6. ábra).



6.Ábra

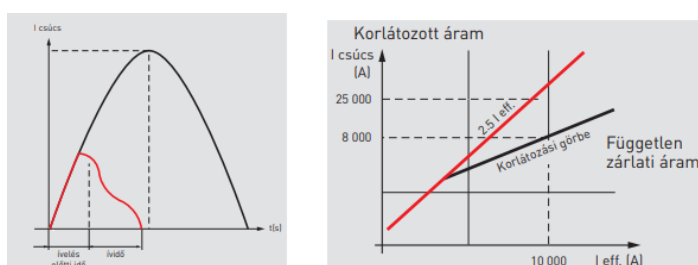
Középfeszültségű zárlati korlátozás

A központi fojtózás azt jelenti hogy minden transzformátor középfeszültségű oldalán kerül be a fojtótekercs – amelynek névleges árama megegyezik a transzformátor áramával. Ez a leggazdaságosabb megoldás – mivel a 10 kilovoltos gyűjtősín zárlatai igénybevétele is lecsökken, azonban jelentős feszültségesés jön létre a fojtón, ami nem uralható már a transzformátor feszültség szabályozójával. Ehhez hasonló megoldás az ún. nyújtott droppú transzformátor. Ilyen megoldást kisebb teljesítményeknél elkezdtünk alkalmazni – de a feszültség problémák ugyanúgy megjelennek (Városligeti alállomás). Az egyedi-kábel-vonalankénti fojtó a legjobb hatású a feszültségtartás szempontjából, de igen költséges a fojtók nagy száma miatt. Közbenső megoldás a csoportos fojtó amikor 2...4 kábel-leágazás van egy fojtón. A hazai gyakorlatban nem terjedt el az ikerfojtó – amely kvázi központi fojtó, de a két tekercs között kölcsönös induktitásnak köszönhetően a feszültségesés csökkenthető. A sínáthidalós fojtózás ipari üzemekben és kisebb erőművekben bevett gyakorlat.

3. Speciális zárlati áram korlátozók

A villamos hálózat minden elosztóberendezése rendelkezik bizonyos megengedett rövidzárlati ellenállási képességgel. Az üzem bővítése, az áramforrás hozzáadása és az elosztási topológia változásai a rövidzárlati hibaszint növekedését okozzák, ami meghaladja a berendezés ellenálló képességét, és az ebből eredő dinamikus (csúcs rövidzárlati áram) és hőfeszültségek veszélyes következményekkel járnak a berendezésekre, a személyzetre és a környezetre.

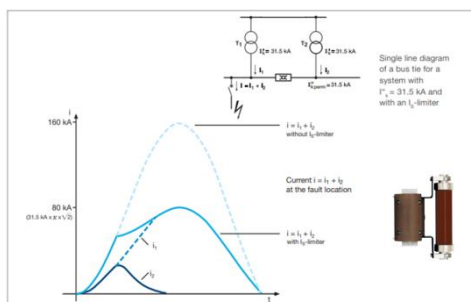
Szükség lehet olyan korlátozókra, amelyek működnek már az első áramcsúcs elérése előtt – ahogy ez az olvadó biztosítók esetében is megfigyelhető [7. ábra], hogy az ne lépje túl a kapcsoló berendezés megengedett dinamikus és termikus határértékeit.



7.Ábra

Milliszekundumokon (msec) belül elkülönítik a hálózat hibával érintett részét. Megkönnyítik a rugalmas energiaelosztást, az energiarendszer bővítését, a független energiatermelést, a reaktorcserét és még sok más hasonló alkalmazást anélkül, hogy a berendezés rövidzárlat-ellenálló képességét korlátnak tekintnék.

Ilyen az ABB Is-limitere amely jelenleg a leghatékonyabb és leggyorsabb elterjedt zárlatkorlátozó eszköz [ABB-The world fastest limiting and switching device] (8. ábra)



8.Ábra

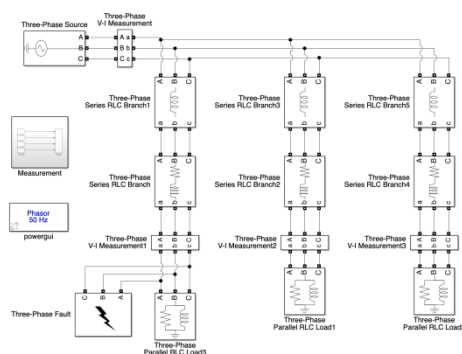
Egyetemünkön is elkezdődtek olyan típusú fejlesztések, amelyben a fojtó és teljesítményelektronikai áramkör kiegészítéssel készülne egy olyan korlátozó eszköz, amely normális üzemben nem okoz feszültségesést. Az alapgondolat lényge, hogy a fojtón normál üzemben egyenáram folyjon, míg a zárlat pillanatában a fojtó üzemmódja AC-ra vált át. Egy ilyen folyamatot látunk a 9.ábrán. A szimulációs vizsgálatokat MATLAB-ban végezzük.

4. Zárlatkorlátozás szimulálása

Napjaink zárlatkorlátozásának megoldásához elengedhetetlen a korszerű szimulációs szoftverek alkalmazása. Jelen fejezetben a korábban tárgyalt csoportos és egyedi- fojtótekerces közép feszültségű hálózatokat vizsgáltam meg. Összesítettem a szimuláció során kapott eredményeket, majd a kapott következtetéseket értékeltem. A szimuláció Matlab-Simulink környezetben történt.

4.1. Fojtótekercs alkalmazása leágazásonként

Első lépésként megvizsgáltam azt az alállomási kialakítást, amiben minden egyes leágazási pont



9.Ábra

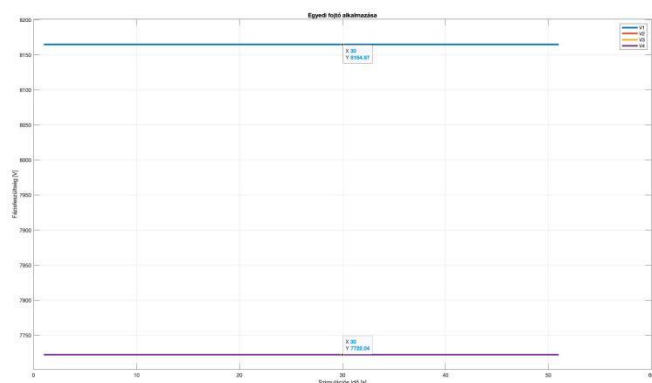
Leágazásonkénti fojtótekercs séma

tartalmaz egy külön fojtótekerceset. Ennek a sematikus vázlatát a (9.ábra) szemlélteti.

A (9.ábra) egy három leágazással rendelkező közép feszültségű hálózatot szimbolizált. A képen az alábbi modellek foglalnak helyet:

- Three-Phase Source: Háromfázisú betáplálási pont, 10 kilovoltos vonali RMS feszültség szinttel.
- Three-Phase Series RLC Branch: Háromfázisú soros impedancia ami a vezeték és a fojtótekercs impedanciáját fogja megadni.
- Three-Phase parallel RLC load: Háromfázisú fogyasztói pont, ezek fogják adni a konstans terhelő teljesítményt.
- Three-Phase V-I Measurement: Háromfázisú feszültség- és árammérő pontok a kiértékelésekhez.
- Three-phase Fault: Zárlati hibahely.

Első lépésként megvizsgáltam üzemszerű állapotban a hálózatot. A kapott fázisfeszültségek



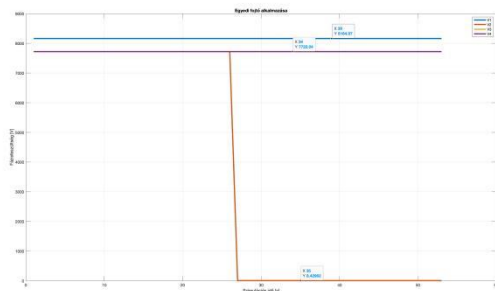
10.Ábra
Leágazásonkénti fázis feszültségese

csúcsértékét a (10.ábra) szemlélteti.

Az ábrán jól látható, hogy a betáplálási pont fázisfeszültségének csúcsértéke (fázisfeszültség 1.414 értékkel történő szorzata) 8164 Voltos értéket adott, míg a fogyasztóknál a jelenlegi 10 Ohmos fojtótekerccsel 7722 Voltos szintet kapunk. A fogyasztói pontok feszültségeseének meghatározása az (1) egyenlet alapján történik

$$\Delta U1 = \frac{7722V}{8164V} \times 100\% = 94.58\% \quad (1)$$

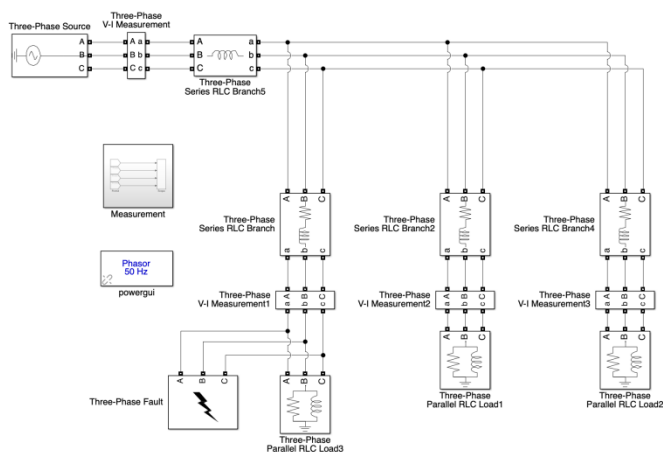
Vagyis a leágazásonkénti fojtótekerccsek alkalmazásával a tápfeszültség 94.58 százalékát kapjuk meg az összes fogyasztói pont esetén. Amennyiben zárlat lép fel a (V-I Measurement1) pontban, úgy a hibás leágazás L1 fázisfeszültsége letörik (11.ábra), viszont az ép leágazások fázisfeszültségei képesek tartani a névleges feszültség szintjüket is. Mivel a zárlati áram csak a hibás leágazáson és annak az egy leágazásnak a fojtótekerccsén megy át, így az ép fogyasztói pontok kevésbé érzékenyek a zárlat hálózatra gyakorolt hatásaira.



11.Ábra
Leágazásonkénti fojtó zárlat esetén

4.2 Csoportos fojtótekerics alkalmazása

A példa kedvéért a hálózat topológiáját és fogyasztásait nem változtattam meg, egyedül a fojtótekericseket vettem el az egyes leágazásokból és egy darab csoportos fojtót helyeztem el a

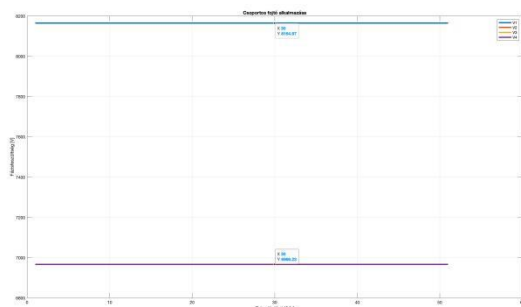


12.Ábra

(12.ábra) szerint. A fogyasztók értékei, valamint a zárlat típusa nem változott a szimuláció során.

A szimulációt lefuttatva megállapítható, hogy a csoportos fojtótekerics feszültségesése miatt az összes leágazás feszültségszintje csökken a (13.ábra) szerint.

Csoportos fojtótekeres alkalmazása esetén a leágazások (szimmetrikus jellegük miatt azonos szinten



13.Ábra

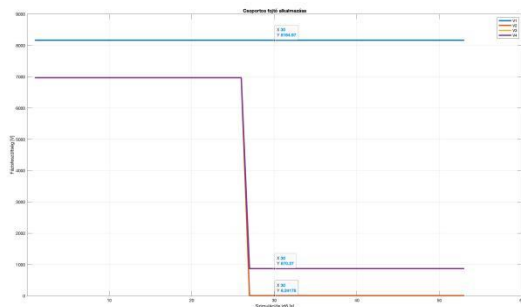
Csonortos fojtótekeres feszültségshntek

vannak) fázisfeszültségeinek csúcsértéke 6966 Volt.

Ebben az esetben a fogyasztók feszültségeseésének meghatározása a (2) egyenlet alapján történik.

$$\Delta U_2 = \frac{6966V}{8164.97V} \times 100\% = 85.31\% \quad (2)$$

A szimulációval és a kapott értékek alapján megállapítható, hogy a csoportos fojtótekeres alkalmazása azzal a negatív hatással jár, hogy a fogyasztói pontokban ugyanakkora terhelés hatására kisebb feszültségshntet kapunk, mint amikor leágazáshnként alkalmazunk fojtótekerest. Zárlati szimuláció során a (14.ábra) szerinti feszültségshnteket kaptam. Megállapítható, hogy csoportos fojtótekeres esetén a nem hibás leágazások feszültségshntjei is jelentősen lecsökkentek a



14.Ábra

Csonortos fojtótekeres zárata

leágazáshnkénti fojtótekeres elrendezéshez képest

Összefoglalás

Hazánkban is fontos probléma a zárlati áramok növekedése egyaránt a nagy-, közép- és kisméretű hálózatokon. Ennek egyik oka a megújuló energiaforrások integrálása a hálózatba, valamint a nagyfeszültségű hálózat hirtelenségének növelése. Gazdaságilag nem megoldható, hogy a hálózatban található megszakító berendezéseket ennyire rövid időintervallumon belül lecseréljük nagyobb teljesítményű egységekre, így más megoldásban kell gondolkozni a hálózat védelme érdekében. A jelenleg alkalmazott csoportos fojtótekercsek kezdeti beruházási költségei kedvezőbbek a leágazásonkénti fojtótekercses kialakításhoz képest, viszont a szimuláció során és a gyakorlatban egyaránt megmutatkoznak ennek a kialakításnak a hibái. A leágazásonkénti fojtótekercs alkalmazása elősegítené a hálózat minőségi paramétereinek javulását.

Hivatkozások

- [1] Short-Circuit Currents in 6-500 kV Electrical Networks Containing Cable Lines -Mikhail Dmitriev,György Morva , Péter Kádár
- [2] Villamos hálózatok létesítése – Bendes T. Hatvani Gy. Morva Gy. Tombor A.
- [3] Védelmek és automatikák a villamosenergia-rendszerben Kiss K. Kovács J.Póka Gy.Radványszký F.Tábori J.Dr. Weingart F.
- [4] Zárlati áramok csökkentésének lehetősége soros fojtótekercsek alkalmazásával az ELMŰ Rt. 120 kV-os főelosztó hálózatán – Elektrotechnika 1995-12.szám és 1996-1.szám

Energiaellátás kibervédelmi kérdései repülőtereken

Dér Attila^{1,2}, Ady László^{1,2}, Rajnai Zoltán¹, Schuster György³

1 Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Népszínház utca 8., 1081 Budapest, Magyarország

2 NextTechnologies Kft., Sugár út 44, 2234Maglód, Magyarország

3 Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Kar, Tavaszmező utca 17., 1084 Budapest, Magyarország

A repülőterek kulcsszerepet játszanak a globális légi közlekedés infrastruktúrájában, biztosítva a gépek üzemeltetéséhez szükséges feltételeket. A légi irányítási és biztonsági rendszerek központjaként biztosítják a repülés biztonságát és hatékonyságát. Az energiaellátás kibervédelmi kérdései repülőtereken rendkívül kritikusak, hiszen a folyamatos energiaellátás elengedhetetlen a repülőtér infrastruktúrájának működéséhez, beleértve a navigációs rendszereket, a világítást, a biztonsági rendszereket és az adatkommunikációt. A repülőterek energiaellátási rendszerei monitorozottak és automatizáltak, hogy biztosítsák a folyamatos és megbízható működést[1]. Ezek a rendszerek SCADA platformokon keresztül valósulnak meg. Ezek megzavarása, akár kibertámadás, akár rendszerhiba következtében, súlyosan befolyásolja a repülőtér alapvető funkcióit. Ezért kiemelten fontos megérteni a SCADA rendszerek kockázatait, mint például a sebezhetőségek kihasználását, a rosszindulatú behatolásokat és az adatmanipulációt [2]. Az elhárítási módszerek közé tartozik a hálózati biztonsági intézkedések megerősítése, mint a behatolásérzékelés, tűzfalak használata, a rendszerek elkülönítése, a biztonsági frissítések rendszeres alkalmazása, valamint az incidenskezelési tervek kidolgozása és gyakorlása. Ezenkívül szükséges a személyzet megfelelő oktatása és a redundáns rendszerek kialakítása, hogy a támadásokkal szemben is biztosítani lehessen a zavartalan működést. Végül rávilágítok, hogy a gyors és precíz reagálás ennél a kritikus infrastruktúránál is elengedhetetlen feltétele az üzembiztos működésnek. Így a kibervédelmeket is, mint más egyéb védelmeket úgy kell megtervezni, illetve a már meglévőt átalakítani, hogy semmilyen körülmények között se lassítsa az elvárt reakcióidőt. Fontos elvárás az üzemeltetőktől, hogy kialakítsanak egy erre az ágazatra kiélezett eljárásrendet, amely a támadás elhárítása után az eseményeket megfelelően kiértékeli. Továbbá rendelkezik egy saját eseménykezelő csapattal, Biztonsági eseménykezelési szabályzattal és tervezettel. [3][4]

Kulcsszavak: kiberbiztonság, repülőtér, légiközlekedés, energiaellátás.

Bevezetés

A közlekedés fontossága egy ország életében nem szorul magyarázatra, nem véletlenül a kritikus infrastruktúra osztályozásán belül is kiemelt szerepet játszik a védelme. A légi közlekedésen belül megkülönböztetünk polgári és katonai célú légi, földi és terminál egységeket, valamint a polgári közlekedés is két ágra oszlik teherszállítás és személyszállítás. Ebben a cikkben csak a polgári célú repülőterek energiaellátásának kibervédelmét vizsgáljuk. A légi közlekedés legfontosabb földi infrastruktúrája természetesen a repülőtér, ahol a légi irányításon keresztül a repülőgépek üzemeltetése, le és felszállása és az utasforgalom zajlik. Az országok fejlődése és gazdasági növekedése szempontjából a repülőtereket a világ kapujának is tekintik, mivel az utazók és az üzleti élet számára nagy jelentőséggel bírnak. A repülőtér legkritikusabb részét képezi a légi irányítás és azt közvetlenül és közvetett kiszolgáló biztonsági rendszerek. Az irányító tornyokban történik a repülőgépek repülésének koordinálása és az ehhez szükséges folyamatok vezérlése, illetve szabályozása.

Az elmúlt évtizedekben megfigyelhető, hogy a légi személyszállítás kapacitása egyre nagyobb mértékben növekszik. Ennek eredménye, hogy a repülőtereken egyre nagyobb mértékben vannak jelen a megnövekedett utasforgalom kiszolgálását megkönnyítő intelligens eszközök és okos létesítmények rendszere. Ezekhez az új kihívásokhoz a légi közlekedésnek szükségszerűen alkalmazkodnia kell, mint például az ipari IoT (Internet of Things) integrálása a repülőtéri létesítményekbe, valamint az okoseszközök fokozott használata az utazók és az alkalmazottak részéről.[5] Az új légiközlekedési korszak szabályozási reformja drámai forgalomnövekedést, sokszínűséget és választékot eredményezett a légi utasok számára. Miközben a légitársaságok finomítják működési modelljeiket, hogy a növekedést a hatékonysághoz igazítsák, a repülőterek ezzel párhuzamosan fejlődnek, hogy hatalmas csomóponti hálózatokat és intelligens rendszereket hozzanak létre, amelyek együttesen egy hatékony légiközlekedési ökoszisztémát hozzanak létre. [1] [6]

Repülőterek fontossága, légi közlekedés irányítása

A kritikus infrastruktúrák egyre nagyobb mértékben vannak kitéve külső tényezőknek, ezért a kritikus infrastruktúrák védelme egyre nagyobb figyelmet kap a biztonsági kutatásokban. A védelmi módszerek kidolgozásához ismerni kell a külső tényezők kritikus infrastruktúrákra gyakorolt hatását.

Repülőtereknél hálózat stabilitását és a kiberfertőzés állapotát két ellenőrző szabályozási visszacsatolási hurokkal ellenőrzik. Ezért adott objektumterhelési teljesítmény és hálózati összeköttetések mellett az infrastruktúra részeinek működőképessége különböző forgatókönyvek esetén előre jelezhető, és felhasználható az utasáramlási szimulációk vagy gazdasági előrejelzések bemeneteként. [3]

Az információ- és kommunikációtechnológia (IKT) oldaláról a repülőtereket két féle csoportba lehet sorolni az egyik a Legacy-rendszerek és a másik pedig a State of the art technológiák rendszere. A legacy vagy örökölt régi rendszerek főbb jellemzői, hogy szigetüzeműben működnek vagy működtek elszigetelve a külvilágtól. Ezek a hosszú életciklusú rendszerek elavult technikát alkalmaznak és kiberbiztonságilag pedig egyáltalán nem megfelelő színvonalúak. Nyilván nem is kell vagy kellett rendelkezniük nagy kiberbiztonsági képességgel, mivel a légi irányítási szolgáltatások a többi repülőtéri infrastruktúrától is elszigetelten és monolitikusan működnek vagy működtek. Viszont napjainkban a légi közlekedés szolgáltatásának kiterjesztésével az internet összekapcsolásával és legkorszerűbb technológiák alkalmazásával egy másik rendszer született meg, amelyet legmodernebb technika csoportjának nevezhetünk. Ennek a csoportnak kétségtelen a működési hasznosága, viszont a kibervédelmi sebezhetősége nagyságrendekkel megnövekedett a legacy rendszerekhez képest. [7]

A másik csoportosítása a repülőtereknek szintén IKT Peredy Z, Venczel M. szerinti kialakításban a következő:

“• hagyományos repülőterek, amelyek a leszállások, indulások és egyéb légi járművek biztonságos és hatékony kezeléséhez szükséges képességekre összpontosítanak, alapszintű személyszállítási szolgáltatások nyújtásával;

• agilis repülőterek, amelyek alkalmazkodnak a változó digitális környezethez azáltal, hogy „testre szabott” szolgáltatásokat kínálnak egy közös platformon;

• intelligens repülőterek, amelyek teljes mértékben kihasználják az IoT- és a digitalizációs technológiák lehetőségeit, és átfogóan kombinálják azokat a biztonsági elemekkel. A valós idejű információcsere, a széles körű együttműködés és a repülőtéri folyamatok integrációjának

köszönhetően az intelligens repülőterek jelentősen javítják a működési hatékonyságukat, az utasszolgáltatás színvonalát és a kiberbiztonsági szintjüket.” **(Nemzetközi repülőterek kiberbiztonsági kihívásai)** [8]

Repülőterek energiaellátása

Az energiaellátás kibervédelmi kérdései repülőtereken rendkívül kritikusak, hiszen a folyamatos energiaellátás elengedhetetlen a repülőtér infrastruktúrájának működéséhez. Alállomás/ok nagyteljesítményű trafók (például: Vecsés 31,5 MVA) másik vagy több irányból kiépített független tartalék áramellátás elengedhetetlen feltétele egy repülőtér megfelelő biztonságos üzemeltetéséhez.

A kritikus infrastruktúrákhoz hasonlóan a légiközlekedésben is megtalálhatók az Ipari ellenőrző rendszer (Industrial Control System, ICS), mint a PLC vagy SCADA(felügyeleti adatgyűjtő és ellenőrző rendszereken)

Ide sorolhatjuk még energiaellátáshoz szorosan kapcsolódó Légiforgalmi létesítményeket, jelzőfényeket, repülőtér látás utáni és rádiónavigációs létesítményeit, az összes akadályfényegység, bevezető-, futópálya- és gurulóút-világítást; meteorológiai berendezéseket; alapvető légiközlekedés-védelmi (security) fényeket. [9]

A repülőtéri világítási rendszer minden repülőtér elválaszthatatlan és kötelező része, nem függ attól, hogy a repülőtér vizuális vagy nem vizuális megközelítésű. Ez azt jelenti, hogy a repülőtéri világítási rendszereket különböző típusú megengedett meteorológiai körülmények között működtetik. A repülőtéri világítási rendszer számos információt nyújt a repülés minden fázisában a repülőtér területén, főként a megközelítés és a leszállás fázisában. Másodszor, bonyolult az energiaellátás, mert a világítási rendszer azonos jelentésű részében ugyanazt a fényerősséget kell fenntartani. Ezt követően a repülőtéri világítási rendszer részeit bonyolult és drága állandó áramú szabályozókkal (CCR) és szabványosított árammal (6,6 vagy 8,3Amper) látják el, amelyeket speciális kábelekkel soros hurkon keresztül vezetnek. [10][5] Ezek az elektromos rendszerek többszörösen is túl vannak biztosítva.

Milyen kibertámadások lehetnek?

DDOS elosztott szolgáltatásmegtagadási támadás, amelynek során egy behatoló több számítógépes eszközt egy elrendezésbe foglal, majd egyidejűleg kéréseket intéz egy szerverhez vagy szerverek egy csoportjához egy adott szolgáltatásra vonatkozóan, ezáltal túlterheli a szervert, hogy figyelmen kívül hagyja a végfelhasználók jogos kéréseit. A DDOS túlterhelések általában a repülőterek intelligens IoT eszközeit érinti a leginkább. [11]

Malware káros vírusok, kémprogramok, fertőzött szoftverek komoly fennakadásokat okozhatnak a repülőtér SCADA felügyeleti vezérlő és adatgyűjtő rendszereiben. Súlyos hatással lehet még a repülőtéri infrastruktúrára is, mivel az ilyen szoftverek rosszindulatúan viselkednek, visszaélve a környezeti jogosultsággal azon a számítógépeken, amelyekre sikerül feltelepíteni a veszélyes kódokat.

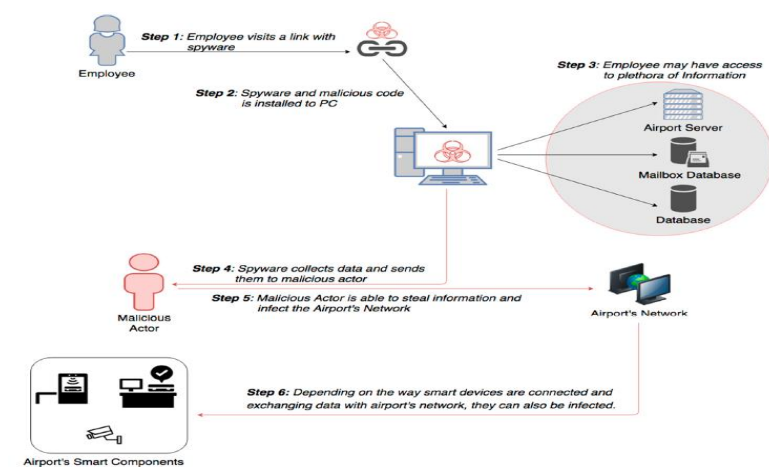
Hálózati és Kommunikációs támadás, ahol kétféle formája lehet az egyik adatszerző a másik pedig a kommunikáció megzavarása. A vezetékek nélküli kommunikáció lehallgatása, az egyik legnépszerűbb

támadási forma repülőtereken, például a légi irányítás rádiójeleinek beárnyékolása vagy manipulálása. [12]

Social engineering pszichológiai módszereken alapuló manipulatív támadások sorozata, amelyek célpontjai a repülőtéren alkalmazottak. Főként adathalászat rosszindulatú e-mailek formájában próbálnak bejutni a rendszerekbe a hackerek, hogy kicsalnak információkat az áldozatoktól vagy letöltenek velük valamiféle malware-t.

Hitelesítő adatok megszerzése a támadók képesek lehetnek hitelesítő adatok megszerzésére és a jogosultsági jogok kiterjesztésére a repülőtér bármelyik részén, attól függően, hogy milyen kiterjedésű jogosultsággal rendelkezik a kiszemelt alkalmazott. Általában phishing módszert alkalmaznak az agresszorok, hogy a számukra megfelelő jogosultsággal rendelkező munkavállalót megtévezzék, hogy egy kattintással utat nyisson a kémprogramjuknak. A feltelepített kémprogram aktivizálja magát és feltérképezi titokban az áldozat jogosultságait. A kémprogram titokban folyamatosan átküldi a behatólónak a szükséges adatokat és jogosultságokat, amelyekkel hozzáférhetnek (nyilván jogosultság fajtájától függő) a repülőtér szervereihez, adatbázisaihoz és a levelező rendszerihez lásd 1. ábrán. A következő lépésben már a szerverek és az adatbázisok adataiból megszerezhetik a teljes belső hálózati hozzáférést, amellyel már képessé válnak hozzáférni a repülőtér okos eszközeihez, mint például biztonsági kamerák vagy poggyászszenzorok stb. [1] [13]

A belső vagy elbocsátott dolgozók szándékosan vagy véletlenül is okozhatnak adatszivárgást a bizalmas információk kiadásával. Nagy gondot okozhatnak a légi közlekedésben, olyan Speciális informatikai képesítésű csalódott volt munkavállaló is, aki jól ismeri a repülőtér biztonsági rendszereit vagy esetleg el is rejtett benne káros kódokat.



1. ábra A támadók jogosultsághozzáférése kémprogrammal[1]

Milyen Biztonsági intézkedésekkel találkozhatunk a repülőtereken?

A cikk terjedelmére tekintettel röviden a teljesség igénye nélkül bemutatjuk a legfontosabb védelmi módokat kifejezetten légi közlekedés sajátosságaira összpontosítva:

HÁLÓZATI BIZTONSÁG: A repülőtereken is nyilvánvaló alapvető intézkedéseket meg kell tenni, mint például a tűzfalak beépítése, szolgáltatások letiltása, kiemelt portok blokkolása vagy szűrése, fizikai és logikai síkon ellenőrzött frissítések elvégzése stb. Az IoT biztonsági kockázatainak kezelésére a repülőterek a Palo Alto Networks megoldásaihoz hasonló hálózati szegmentációt és valós idejű fenyegetés-felismerési képességekkel védekeznek. A blokklánc technológia biztonságos és átlátható

adattárolást kínál a kritikus légiközlekedési információk, például az utasnyilvántartások és a repülési adatok számára. [14][15]

HOZZÁFÉRÉS-ELLENŐRZÉS Behatolás megfigyelő eszközökön keresztül a behatolás észlelő és megelőző rendszerek célja a védett hálózatban lévő eszközökhöz való jogosulatlan hozzáférés észlelése. IDPS: Intrusion Detection and Prevention System (behatolás észlelő és megelőző rendszer); IPS: Intrusion Prevention System (behatolást megelőző rendszer); IDS: Intrusion Detection System (behatolás észlelő rendszer)

ANOMÁLIA-ÉRZÉKELÉS gépi tanulás során repülőtérén megtalálható összes védendő eszköz normál tevékenységét megtanulják a különféle erre a célra tervezett - például a Convolutional Neural Network CNN vagy a Long Short Term Memory Neural Network (LSTM) - modellek, amelyek ezen információk alapján minden eltérést támadásként észlelnek. Egyes kutatások reptéri környezethez jól alkalmazható erősen optimalizált Deep Feedforward Network alapú IDS modellt tarták egy lehetséges alternatívának.[16]

INCIDENSREAKCIÓ-TERVEZÉS A kritikus informatikai eszközök megfelelő szolgáltatási szintre történő helyreállítására vészhelyzet esetén technikai eljárásokat kell kidolgozni, mint például katasztrófa utáni helyreállítási terv.

VÉGPONTBIZTONSÁG Zero Trust érettségi modell magasszintű koncepciójának kiterjesztése a légi közlekedésre.

ADATTITKOSÍTÁS TLS: A kvantumkulcs-elosztási (QKD) protokollok kihasználásával a repülőtér páratlan szintű adatbiztonságot és adatvédelmet érhetnek el.[17]

Transport Layer Security titkosítási protokoll, amely az interneten keresztüli kommunikációhoz biztosít védelmet. A TLS az SSL utóda. A TLS és SSL protokollok titkosítják a hálózati kapcsolatok szegmenseit. SSH: Secure Shell Protokoll, amit egy helyi és egy távoli számítógép közötti biztonságos csatorna kiépítésére fejlesztettek ki.

BIZTONSÁGI AUDITOK ÉS TESZTELÉS A rendszeres auditok avagy a rendszerek teljes informatikai átvizsgálása és tesztelése segítenek fenntartani a biztonsági szintet és biztosítani a légiközlekedés információbiztonságát.

EGYÜTTMŰKÖDÉS KIBERBIZTONSÁGI SZAKÉRTŐKKEL Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet az ICAO/A39 is komolyan foglalkozik a rendszeres információcsere kialakításával országok közötti szinten, hogy hathatósan ösztönözzék a légi közlekedés kiberbiztonsági stratégiáját. [12]

SZABÁLYOZÁSI MEGFELELÉS A repülőtér a 114/2008/EK európai uniós irányelv szerint létfontosságú infrastruktúrának minősülnek. Meg kell még felelniük a Hálózati és Információs Rendszerek (Network and Information System) NIS 2 irányelveknek, ENISA Intelligens repülőtér funkciói és eszközei című dokumentumainak, Nemzetközi Repülőtér Tanácsa által a szabványosított webszolgáltatásokra vonatkozó rendeleteinek, a légi közlekedési közösség által ajánlott információ szolgáltatásokra (ACI - ACRIS) vonatkozó előírásoknak stb.[18]

ALKALMAZOTTAK KÉPZÉSE a következő fejezetben lesz részletesebben kifejtve.

Személyzet oktatása

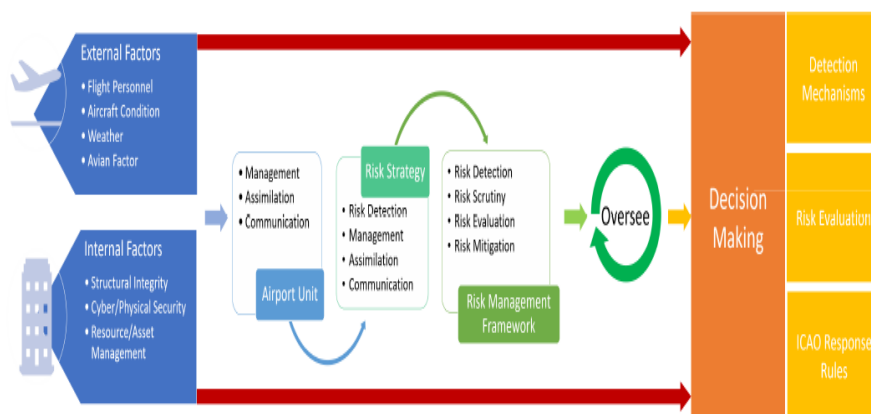
Mivel a repülőtér biztonsága tekintetében is kulcsfontosságú szerepet játszik a human faktor, így egy külön fejezetet szenteltem ennek a témának. Fontos, hogy a munkavállalók megértsék a kiberbiztonság létjogosultságát és saját szerepüket ebben a szisztémában. Kritikus infrastruktúra tekintetében folyamatos képzések és szimulációs gyakorlatok nélkülözhetetlen elemei a földön és a légtérben való biztonság fenntartásának. A továbbiakban kiemelnék az oktatás keretein belül egy-két kihagyhatatlan védelmi elemet. Elsőként megemlíteném a Kétfaktoros hitelesítés és a biometrikus azonosítók használatát, ha lehet kötelező jelleggel. Ebbe nyilván beletartozik a jelszavak bonyolultsága, ahol - a jelszó kódolását végző algoritmustól elvonatkoztatva (rendszerfüggő) - a jelszó hosszától és kombinációjától függ a rendszer feltörésének nehézsége.

Hatáskörök megfelelő elhatárolása, szigorúan csak azzal a hatáskörrel rendelkezzen a munkavállaló, amelyet részére meghatározott a munkáltatói jogkör gyakorlója. Amennyire lehet ezek a hatáskörök IT biztonságból is precízen körül legyenek bástyázva. A repülőtér információs rendszeréhez való hozzáférés engedélyezése előtt a jelölteket célszerű átvilágítani és próbaidő alatt csökkentett hatáskört adni részükre.

Fontos még a Social engineering támadásokra való felkészítés az Alapvető védelmi ismeretek mellett. Hangsúlyozni lehetne a titkosítás irodai programcsomagokban rejlő lehetőségek gyakorlati alkalmazhatóságát. A számítógépeikkel kapcsolatban lévő levelező portok letiltása vagy szűrése, internet használatának teljes zárolása vagy a weboldalak komoly szűrése. A munkavállalók saját eszközeinek ellenőrzése a munkahelyi hálózatra való csatlakozás esetén automatikus leválasztása a rendszerről stb.

Eljárásrend kidolgozása

Az eljárásrend kidolgozása kontinensenként és országoként nagy eltérést mutathat. Ennek ellensúlyozására több szervezet is létrejött, mint például a Nemzetközi Repülőterek Tanácsa, amely különféle jogi és egyéb szabályzók segítségével egységesebbé teszi(k) a légi közlekedés biztonságát és megbízhatóságát. Az Európai Unióban szerencsére nem csak a polgári légi szállítás általános biztonsági aspektusait szabályozzák törvényi szinten, hanem kifejezetten a kiberbiztonság oldaláról is az elmúlt években kijöttek komoly irányelvek. A legfontosabb uniós direktíva a 2024.10.18.-tól hazánkban is hatályos Hálózati és Információs Rendszerek (Network and Information System) NIS 2, amely részletesen szabályozza a kritikus infrastruktúrához tartozó szervezetek kockázatainak felmérését információbiztonsági, auditok és egyéb kiberbiztonsági kérdéseket. Az eljárásrend kezdeti lépéseként fontos tisztázni a repülőtér kockázati tényezőit mind hardver és szoftver oldalon.



Ez követheti egy hiányosságokat feltáró GAP analízis, amely a következő elemeket tartalmazza:

- hatáskörök kialakítása a reptéren és környezetében,
- mely kategóriába tartozik a szervezet?
- biztonsági elvárások azonosítása,
- kockázatok meghatározása a légi közlekedésben,
- megoldandó problémák tervezése.

Ennek az elemzésnek az összefoglalásából egy forgatókönyvet készítenek, amely a repülőtér tágabb környezetét is figyelembe véve a hiányosságokat és az elkövetkezendő évekre szóló akciótervet (pl. folyamatok szervezése, működés dokumentálása stb.) is tartalmazza. Amikor elkészült a forgatókönyv, akkor a hatályos kibervédelmi jogszabályok és szabványok elvárásaival össze kell egyeztetni, mint például az úgynevezett technikai kontrollok beépítése NIS 2 irányelvek szerint.

A védelmi intézkedések bevezetése terén megemlíteném az okos reptereken alkalmazott mesterséges intelligencia, a gépi tanulás, és a mély tanulás optimális mértékű felhasználását, addig míg a rendszerekre gyakorolt hatásuk gyors és megbízható működését szavatolják.

Külső, független szakértők bevonásával egy kiberbiztonsági kockázatkezelési program dolgozható ki, amely magában foglalja a szállítók (beszállítók, alvállalkozók) folyamatos digitális nyomon követését, a kockázatok beazonosíthatóságát, hatásainak minimalizálását és a bekövetkezésük megelőzését

Kihagyhatatlan összetevők az eljárásrendben az ágazatspecifikus repülőtéri IBIR-rendszernek (információbiztonsági irányítási rendszer) kiépítése és működési feltételeinek ISO 27001, NIST SP 800-53 és 800-61 szabványok általi előírások betartásával. Továbbá az incidensek hatékony kezelésében nagy szerepet játszhat egy korszerű kiberbiztonsági monitorrendszer kiépítése az egész repülőtér területén. Ezek az intézkedések és kiberbiztonsági forgatókönyvek a repülőtéri kényszerhelyzeti tervezéssel és az ICAO Repülőtéri Szolgálatok Kézikönyvével karöltve kell, hogy kialakítsanak egy új és megbízható rendszert. [19] [20]

Összefoglalás

Szükséges a személyzet megfelelő oktatása és az elkülönített iker rendszerek kialakítása, hogy a támadásokkal szemben is biztosítani lehessen a zavartalan működést. Biztosítani kell, hogy a repülőtéri informatikai rendszerekhez hozzáférést igénylő személyek megfelelő hozzáférési megállapodásokat írjanak alá, illetve harmadik fél szolgáltatójára vagy beszállítójára vonatkozó személyi biztonsági követelmények meghatározásra kerüljenek. [12]

A gyors és üzembiztos reagálás ennél a kritikus infrastruktúránál is elengedhetetlen feltétele az üzembiztos működésnek.

A kibervédelmeket úgy kell megtervezni, illetve a már meglévőt átalakítani, hogy semmilyen körülmények között se lassítsa az elvárt reakcióidőt.

Fontos elvárás a repülőterek üzemeltetőitől, hogy kialakítsanak egy erre az ágazatra kiélezett eljárásrendet, amely vagy megelőzi a támadásokat vagy a már bekövetkezett károk elhárítása folyamatában vagy utána is üzemképesen kezelje a rendszer helyreállítását és az eseményeket megfelelő törvényi szabályozások szerint dokumentálja, illetve kiértékeli. Továbbá, ha

lehetőségeiből adódik alakítsanak ki egy saját eseménykezelő csapatot, amely nagymértékben hozzá fog járulni a támadók elleni sikeres védekezési modellek gyakorlati alkalmazásához.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet a NextTechnologies kutatóvállalatnak és az Óbudai Egyetem Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának, amely nélkül nem jöhetett volna létre az „Energiaellátás kibervédelmi kérdései repülőtereken” című kutatás.



Irodalomjegyzék

- [1] G. Lykou, A. Anagnostopoulou, és D. Gritzalis, „Smart Airport Cybersecurity: Threat Mitigation and Cyber Resilience Controls”, *Sensors*, köt. 19, sz. 1, o. 19, dec. 2018, doi: 10.3390/s19010019.
- [2] S. K. Aikins, „Managing Cybersecurity Risks of SCADA Networks of Critical Infrastructures in the IoT Environment”, in *Security, Privacy and Trust in the IoT Environment*, Z. Mahmood, Szerk., Cham: Springer International Publishing, 2019, o. 3–23. doi: 10.1007/978-3-030-18075-1_1.
- [3] T. Koch, D. P. F. Moller, A. Deutschmann, és O. Milbredt, „Model-based airport security analysis in case of blackouts or cyber-attacks”, in *2017 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)*, Lincoln, NE, USA: IEEE, máj. 2017, o. 143–148. doi: 10.1109/EIT.2017.8053346.
- [4] Dér Attila, „Villamosenergia-rendszerek aktuális kiberbiztonsága”, *Biztonságtudományi Szemle*, sz. 2024. VI. évf., sz. 2. szám, o. 8.
- [5] Q. Jia, J.-L. Yu, és Z. Tao, „Airports Integrated Multi-energy Complementary Energy System Design and Multi-scenario Application Analysis”, in *2023 International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA)*, Nanjing, China: IEEE, febr. 2023, o. 514–519. doi: 10.1109/ICoPESA56898.2023.10141512.
- [6] S. Kumar, N. Das, S. Deb, A. K. Goswami, és N. B. D. Choudhury, „Machine Learning Based Demand Supply System of an Airport to Minimize Operational Cost”, in *2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, Jaipur, India: IEEE, dec. 2022, o. 1–6. doi: 10.1109/PEDES56012.2022.10080300.
- [7] B. Lancik, „Intelligent airport protection supported by sophisticated security systems”, in *2022 New Trends in Aviation Development (NTAD)*, Novy Smokovec, Slovakia: IEEE, nov. 2022, o. 128–133. doi: 10.1109/NTAD57912.2022.10013551.
- [8] Z. Peredy és M. Venczel, „Nemzetközi repülőterek kiberbiztonsági kihívásai”, *RepTudKoz*, köt. 32, sz. 2, o. 165–180, 2020, doi: 10.32560/rk.2020.2.12.
- [9] A. Chiappetta és G. Cuzzo, „Critical infrastructure protection: Beyond the hybrid port and airport firmware security cybersecurity applications on transport”, in *2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, Naples, Italy: IEEE, jún. 2017, o. 206–211. doi: 10.1109/MTITS.2017.8005666.
- [10] R. Bloudicek, „Power supply networks for the airport LED lights systems”, in *2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, St. Petersburg, FL: IEEE, szept. 2017, o. 1–5. doi: 10.1109/DASC.2017.8102119.
- [11] Y. Wu, J. Weng, B. Qiu, Z. Wei, F. Qian, és R. H. Deng, „Random Delay Attack and Its Applications on Load Frequency Control of Power Systems”, in *2019 IEEE Conference on Dependable and Secure Computing (DSC)*, Hangzhou, China: IEEE, nov. 2019, o. 1–8. doi: 10.1109/DSC47296.2019.8937611.
- [12] G. Lykou, A. Anagnostopoulou, és D. Gritzalis, „Implementing Cyber-Security Measures in Airports to Improve Cyber-Resilience”, in *2018 Global Internet of Things Summit (GIoTS)*, Bilbao: IEEE, jún. 2018, o. 1–6. doi: 10.1109/GIOTS.2018.8534523.

-
- [13] Y. Chen, S. Al-Rubaye, A. Tsourdos, L. Baker, és C. Gillingham, „Differentially-Private Federated Intrusion Detection via Knowledge Distillation in Third-party IoT Systems of Smart Airports”, in *ICC 2023 - IEEE International Conference on Communications*, Rome, Italy: IEEE, máj. 2023, o. 603–608. doi: 10.1109/ICC45041.2023.10279722.
- [14] M. Eleimat, O. Alharasees, és A. Oszi, „Advancements in Airport Security Technologies: A Patent Analysis”, in *2024 Mediterranean Smart Cities Conference (MSCC)*, Martil - Tetuan, Morocco: IEEE, máj. 2024, o. 1–5. doi: 10.1109/MSCC62288.2024.10696990.
- [15] N. Koroniotis, N. Moustafa, F. Schiliro, P. Gauravaram, és H. Janicke, „A Holistic Review of Cybersecurity and Reliability Perspectives in Smart Airports”, *IEEE Access*, köt. 8, o. 209802–209834, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3036728.
- [16] B. Sezari, D. P. F. Moller, és A. Deutschmann, „Anomaly-Based Network Intrusion Detection Model Using Deep Learning in Airports”, in *2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE)*, New York, NY, USA: IEEE, aug. 2018, o. 1725–1729. doi: 10.1109/TrustCom/BigDataSE.2018.00261.
- [17] A. Zaher, J. Rabaa, L. R. Kumar, és N. Rajesh Pandian, „Quantum Key Distribution for ADS-B Data Transmission Security in Aircraft”, in *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Delhi, India: IEEE, júl. 2023, o. 1–8. doi: 10.1109/ICCCNT56998.2023.10307790.
- [18] V. Santoro és L. Pensato, „Critical infrastructure protection: The need for evolving standards: Mutating cyber-space and security issues in ITS”, in *2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, Naples, Italy: IEEE, jún. 2017, o. 219–222. doi: 10.1109/MTITS.2017.8005668.
- [19] L. Ady és D. Tokody, „Komplex rendszerek kommunikációjának hatásai és tervezési irányelvei”, *RepTudKoz*, köt. 31, sz. 2, o. 57–66, nov. 2019, doi: 10.32560/rk.2019.2.4.
- [20] N. Koroniotis, N. Moustafa, F. Schiliro, P. Gauravaram, és H. Janicke, „The SAir-IIoT Cyber Testbed as a Service: A Novel Cybertwins Architecture in IIoT-Based Smart Airports”, *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.*, o. 1–14, 2021, doi: 10.1109/TITS.2021.3106378.

Artificial Intelligence and Machine Learning in Metal Additive Manufacturing: An Overview

Junaid Israr, Döníz Borsos

Kando Kálman Faculty of Electrical Engineering, Óbuda University, Tavaszmező utca 17, 1084, Budapest, Hungary, israr_junaid@yahoo.com

Kando Kálman Faculty of Electrical Engineering, Óbuda University, Tavaszmező utca 17, 1084, Budapest, Hungary, borsos.doniz@kvk.uni-obuda.hu

Abstract: Additive Manufacturing (3D printing) and Artificial Intelligence (AI) are two powerful tools that are changing the way we make things. While AI has already transformed many industries, its potential in 3D printing is just beginning to be realized. 3D printing generates a wealth of data, making it a perfect playground for machine learning. By analysing this data, AI can help us optimize the printing process, improve the quality of the final product, and even design entirely new products. In this paper, we'll dive into the exciting world of AI and 3D printing, specifically focusing on powder bed fusion technology. We'll explore the different types of data generated during the printing process, the complexities associated with this data, and how we can leverage AI to overcome these challenges. In the end, we will also show the capabilities of Machine learning by predicting the Strength of a Metal additive manufactured product with the help of Supervised Learning models.

Keywords: Additive Manufacturing; Machine Learning; Artificial Intelligence; Metal Additive Manufacturing

1 Introduction

The concept of artificial intelligence (AI) was first introduced by John McCarthy [1], who defined it as the ability of machines to demonstrate intelligence. Prior to McCarthy, Alan Turing, a British mathematician and computer scientist, delved into the idea of intelligent machines [2]. Through his famous imitation game, Turing proposed a logical step-by-step process for analyzing information to make decisions that resemble human intelligence. Even earlier, McCulloch and Pitts [3] laid the foundation for neural networks by combining their understanding of how neurons work with ideas from propositional logic, developed by Russell and Whitehead in Principia Mathematica [4], and Turing's computational theory.

AI is broadly divided into two main approaches: symbolic (or traditional) intelligence, which focuses on solving problems using reasoning and knowledge [5], and computational intelligence, which relies on examples and previous data to make decisions [6]. As per IEEE Computational Intelligence Society, computational AI includes fields like artificial neural networks, fuzzy systems, and evolutionary programming [7].

Both symbolic and computational approaches can be developed through methods like machine learning (ML), often involving experiments or simulations. AI also branches into areas like automated reasoning [8], where computer programs enable machines to presumably reason, enabling them to act independently or almost independently.

Sometimes, machines need to make decisions under uncertain conditions [9, 10]. In such cases, decision-making becomes probabilistic rather than deterministic, and advanced methods like fuzzy logic [11] and Bayesian statistics [12] play a crucial role in navigating these complexities.

The most common form of AI is designed to simulate human cognitive characteristics and continuously improve its performance over time. While learning and improving come naturally to

humans, these abilities are the result of millions of years of cognitive and physiological evolution, making them incredibly complex processes. For machines to achieve general intelligence, three key elements are essential: the capability to handle complex computations, sufficient memory, and access to data for learning (Figure 1) [13].

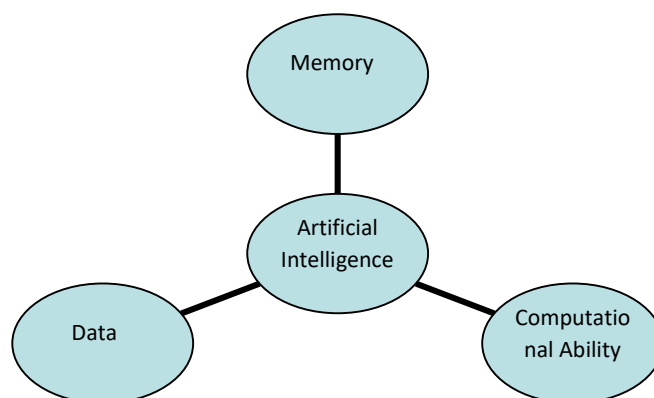


Figure 1
Factors in AI

For humans to learn, three factors are crucial: memory, computational capability, and access to data. Our brains naturally provide the first two—memory and the capacity to execute complex computations. Similarly, both AI and the human brain rely on data to process information and develop learning.

We often think we’ve reached the point where creating truly intelligent machines is possible. However, we’ve only managed to achieve weak AI so far, falling short of general or strong AI and artificial superintelligence [14]. Modern computers are incredibly fast and capable of handling complex computations, as well as storing and recalling the results. Additionally, with the rise of digitization, the internet, and media, data—the third essential ingredient for AI—is more abundant than ever.

Since the idea of AI was first introduced, remarkable progress has been made, thanks to the combined efforts of experts from various fields. Philosophers have drawn thought-provoking comparisons between the mind of a human and intelligent computing systems. Physiologists, neuroscientists, and cognitive scientists have shed light on the way the brain handles information. Simultaneously, computer scientists have developed the algorithms, logic, and mathematical tools necessary to turn these concepts into reality.

In today’s world, we frequently come across terms like data science, AI, and ML, but recognizing the differences between them is crucial. Data science is a broad, interdisciplinary field that uses scientific

methods, processes, and algorithms to extract knowledge from data [15]. While it plays a critical role in AI, data science has applications far beyond AI. As shown in Figure 2, data science forms the foundation for developing data analysis techniques, which are essential for advancing AI.

Figure 2 also highlights machine learning (ML) as a subfield of AI. For machines to become intelligent, they need to learn, making ML a critical component of AI. ML is further divided into supervised, unsupervised, and reinforcement learning [16]. Within the ML domain, numerous learning algorithms exist, with deep learning algorithms being among the most famous and is also a key subset of AI development.

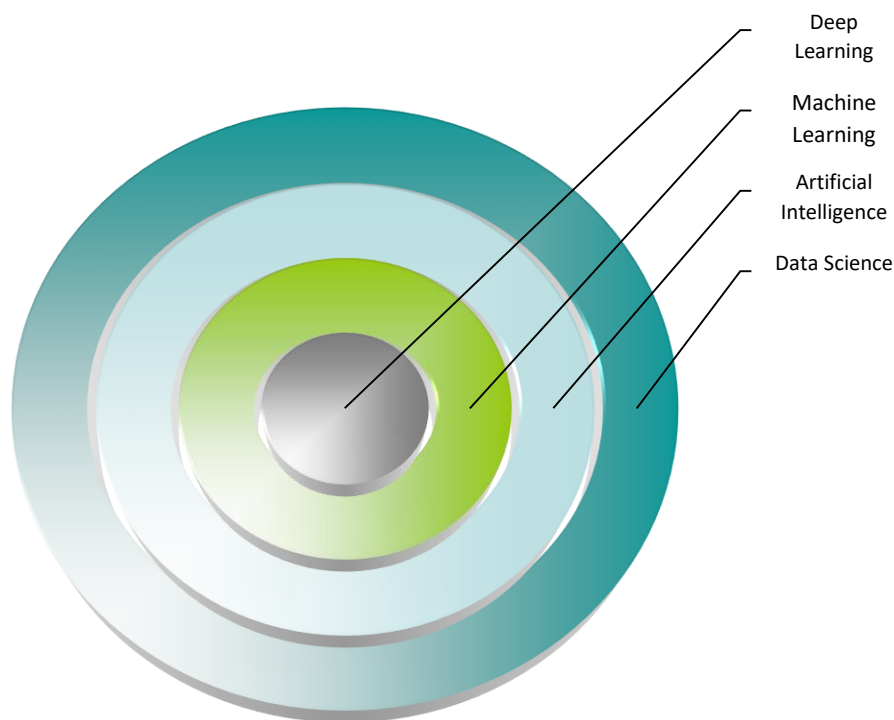


Figure 2
Factors in AI

Machine learning (ML) can be divided into supervised and unsupervised learning, depending on the type of data used. [17]. It involves classifying labeled data and using it to predict trends, which determines the output of the model. On the other hand, unsupervised learning works with unlabeled, open-domain data, using techniques like data clustering to identify patterns and groupings [18]. Reinforcement learning combines aspects of both supervised and unsupervised learning, allowing models to learn through trial and error. Supervised learning relies on labeled historical data to train models, enabling them to make predictions and interpret new inputs based on

rewards and penalties [19]. Figure 3 shows a graphical description of the types of Machine Learning techniques used.

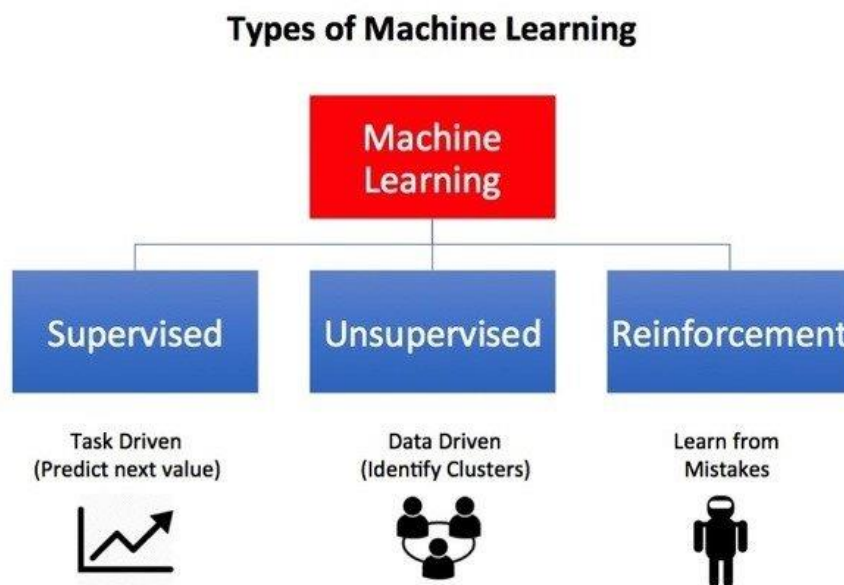


Figure 3

Types of Machine Learning

AI has made significant strides across various fields, including speech recognition, autonomous vehicles, robotics, gaming, computer graphics, cybersecurity, and spam detection. Manufacturing is set to experience transformative changes driven by AI.

AI's role in manufacturing is linked to the adoption of smart manufacturing, which uses sensors to gather real-time information. One advanced concept within smart manufacturing is the Digital Twin—a digital representation of a physical system. This dynamic, two-way process connects the real-world system to its digital counterpart, creating a comprehensive digital footprint of machines, processes, or parts [20]. Initially applied to additive manufacturing (AM), the Digital Twin has been utilized for process modeling, enabling better predictability and system optimization [21]. For instance, Knapp et al. developed a first-generation Digital Twin for laser-based additive manufacturing, focusing on factors like temperature, cooling rates, and material deposition geometry [22]. Integrating cyber-physical systems with Digital Twin technology has further enhanced ML and AI applications in manufacturing.

Additive manufacturing (AM), a fully digital process, stands to benefit significantly from advancements in data science, ML, and AI [23]. Every stage of AM, from design to preparation and printing, generates vast amounts of data that are difficult for humans to analyze and interpret due to

the process's complexity, speed, and enclosed environment [24]. ML can help visualize and model this data, improving image recognition and system analysis to enhance process understanding. It also supports automating labor-intensive tasks in preparation and post-processing stages, enabling smarter planning and decision-making.

For example, ML and AI can optimize process quality by reducing defect rates and enhancing feedback controls, which improve overall production. They also facilitate concurrent design, where information gathered during manufacturing is used to adapt and refine designs in real time. This adaptive approach can achieve goals like reducing residual stress, minimizing weight, and strengthening specific areas where defects occur, thereby leading to superior quality. Given the highly digital and model-driven nature of additive manufacturing (AM), the application of AI is particularly relevant.

1.1 The Machine Learning process

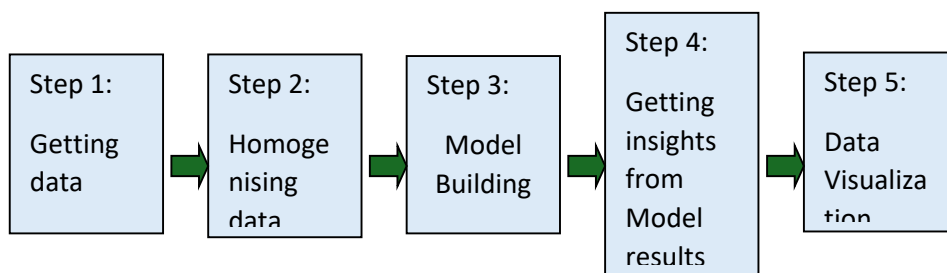


Figure 4

The Machine Learning process

The machine learning process involves a systematic process in which models are taught to learn from data and thereby make predictions or decisions [25]. While it sounds technical, it essentially mirrors how we humans learn and improve with experience. A process flow of the Machine learning process can be seen in Figure 4. Here's a simplified, humanized breakdown as well [25]:

1.1.1 Understanding the problem

Before diving into data or algorithms, it's crucial to define what you're trying to solve. Is it the prediction of house prices, identification of spam emails, or recommendation of movies? Clarifying the goal is the foundation of the entire process.

1.1.2 Gathering Data

Just like a student needs good study materials, machine learning models require quality data. This data could come from surveys, sensors, online activity, or historical records. The more relevant and diverse the data, the better the model can learn.

1.1.3 Data Preparation

Raw data is rarely perfect—it's often messy, incomplete, or inconsistent. Think of this step as tidying up before starting a project. Missing values are filled in, outliers are handled, and data is transformed into a format the model can understand. You might also pick out the most important pieces of data (features) to focus on.

1.1.4 Choosing models

Choosing the right machine learning algorithm is like selecting the right tool for a task. For example:

- If you're predicting something specific (like grades or weather), a supervised learning algorithm might work best.
- If you're grouping similar items (like customer types), an unsupervised method like clustering could be the answer.
- For learning through trial and error (like a robot navigating a maze), reinforcement learning is ideal.

1.1.5 Train the Model

This is where the magic happens! The model is fed training data, and it starts recognizing patterns and relationships. Think of it as a student practicing problems to learn the subject. The goal is for the model to improve with each iteration.

1.1.6 Fine-Tune for Perfection

Even the best students need some guidance, and models are no different. Adjusting certain settings (called hyperparameters) can significantly improve performance. This process is akin to refining a recipe by tweaking ingredient quantities until it tastes just right.

1.1.7 Putting the model to work

Now comes the exciting part—deploying the model to solve real-world problems. Whether it's recommending songs on a streaming platform or detecting fraud in banking transactions, this is where the model makes an impact.

In essence, machine learning is like teaching a very smart student who learns from data instead of books. With the right guidance and practice, it can become a reliable decision-maker in countless applications.

1.2 Metal Additive Manufacturing process

Metal additive manufacturing (AM) can be subdivided into three main types: **Powder Bed Fusion (PBF)**, **Binder Jet Printing (BJP)**, and **Directed Energy Deposition (DED)**. From these, **Powder Bed Fusion** is the most widely used and will be the primary focus of discussion here. Powder bed additive manufacturing (AM) technologies involve using a laser or electron beam to melt powder layer by layer, forming a part based on a computer-aided design (CAD) model. These processes have been evolving for decades. The concept of powder bed technologies began in the mid-1980s when Dr. Joe Beaman and Dr. Carl Deckard who were working at the University of Texas at Austin, introduced laser sintering techniques to the world [26]. Over time, notable progress has been made, particularly because of advancements in laser technology, which led to the development of selective laser

melting (SLM). European innovators also explored using electron beams instead of lasers for the melting process.

The process starts with a CAD design, which is input into machine software that slices the model into layers and creates necessary support structures. Typically, a powder is spread across the build plate with a rack, sometimes compacted with a roller. Next, a laser or electron beam heats and melts the powder. There are several improvements have been made to refine the process, such as preheating the base plate in electron beam machines to reduce part stresses. While additive manufacturing ideally creates parts with minimal post-processing, additional steps often become necessary to finalize the part for its final application. These steps can include removing the component from the foundation plate, taking off support structures, and sometimes polishing or heat treating to alleviate any residual stresses.

2 Machine learning in Metal Additive Manufacturing

The implementation of AI and machine learning (ML) in additive manufacturing (AM) can be better understood by dividing it into three stages: **pre-process**, **process**, and **post-process** [27]. The categorization is also visible in figure 5.

In the pre-process stage, ML plays a significant role in areas like **design space** (which includes geometrical design and topology optimization), **raw material design**, and understanding **powder properties**. For raw material design, recent advancements in ML have enabled accurate predictions of material properties and even development of new materials. These advancements make it possible to leverage AM's unique capabilities to create designs previously impossible.

However, while ML has shown promise in raw material design, its application in other pre-process areas like geometrical design, topology optimization, and powder property analysis is still in its early stages. Among these, powder properties remain the least explored field. Each of these aspects will be discussed comprehensively in subsequent sections.

In the processing stage, ML applications can be broadly categorized into two areas:

1. **Experimental work** focusing on **process monitoring and optimization**, and
2. **Simulation studies** aimed at achieving similar goals.

Process monitoring and optimization through experiments have been the focus of thorough research. This includes using ML to monitor key parameters and improve the quality and efficiency of the AM.

Use of ML in post-process analysis is a relatively new frontier. Most research in this area has focused on linking post-process data (such as final part properties) back to the processing conditions, helping to refine and improve the overall manufacturing process. However, this area has not yet been extensively studied. A brief overview of ML applications in post-process analysis is provided in the subsequent sections.

By structuring AI applications in AM into these stages, it becomes easier to comprehend how ML models are being used to solve the problems of the manufacturing process [28].

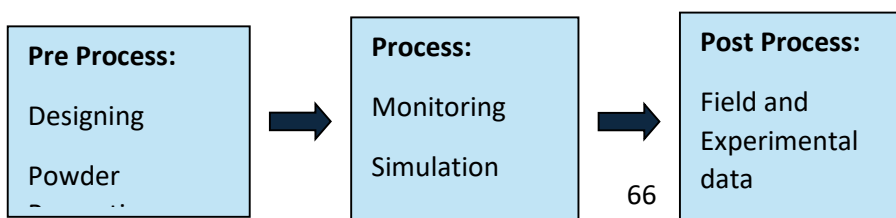


Figure 5

Machine Learning stages in Metal Additive Manufacturing

2.1 Machine Learning in Pre-Process

At the pre-process stage, machine learning (ML) has already made important strides in the fields of materials design. To ease up things, the material design area is often grouped under the broader materials domain. Much of the advancement in materials design is driven by the **Materials Genome Initiative (MGI)**, a program launched by the U.S. government [29]. The MGI aims to accelerate the discovery and design of new materials with specific properties, and ML has played a key role in enabling these advancements. MGI applies to a wide range of materials, including the metals and alloys commonly used in additive manufacturing (AM) processes. For a deeper dive into how ML is transforming materials design, there's an extensive review available in [20].

Thanks to databases that house vast amounts of materials data, the field has access to a wealth of information, thus, making it convenient for researchers and engineers to predict material behaviors and design new materials more effectively.

Coming to the **design space**, which includes digital design tools, computer-aided design (CAD), and related areas, ML has the potential to revolutionize two key aspects:

1. **User interaction with machines** – AM is expected to become more accessible, even for people with little technical experience, from school students to professional engineers [30]. For this to happen, the way users interact with AM machines must be simplified, and ML can make a big difference.
2. **Design software improvements and integration** – ML can enhance the software used for designing and modeling, integrating process characteristics to make the design-to-manufacture process smoother.

In particular, ML and AI can change how humans interact with machines, offering more intuitive ways to communicate with technology. With the help of **image** and **voice recognition**, users could control AM machines using verbal commands or visual inputs, rather than relying on complex programming steps. This would not only make it convenient for everyday users to engage with AM technology but could also expand its applications in fields like medical devices and consumer goods. This kind of interaction would make AM more accessible, helping bridge the gap between advanced manufacturing and broader societal use.

AI can play a significant role in improving the use of databases which are online for CAD models. With the help of AI, users can easily access and pull designs (such as STL and other CAD files) from the internet, leveraging the power of the Internet of Things (IoT) and digital platforms to find available designs. This can streamline the design process by making a wider range of resources easily accessible. Regarding design software, AI can enhance how software is developed to take full advantage of the unique capabilities of additive manufacturing (AM), such as microstructural design and the ability to build from the ground up. For example, AI can help create more informed design processes that make the most of AM's ability to create parts with tailored or directional properties. This could lead to a revolution in design optimization, enabling the development of software that can automatically adapt designs for better performance.

In more recent advancements, the concept of parallel design has emerged, where the design is continuously adjusted during the manufacturing process. This approach allows the design to adapt in real-time to reduce issues like residual stresses or defects. To make this work, it's crucial to examine the impact of different design parameters on their development. Additionally, an in-situ process monitoring feedback loop is essential, allowing the process to gather real-time data and inform design adjustments on the fly. This integration of AI, real-time monitoring, and design optimization has the potential to significantly enhance the capabilities and efficiency of AM.

2.2 Machine Learning during Process

Like in many other fields, applying AI to the additive manufacturing (AM) process relies on having well-developed machine learning (ML) programs and access to quality data for training. In-situ monitoring and process learning in AM is a relatively recent development. Today, several companies and equipment providers offer systems capable of capturing real-time monitoring data during the AM process.

On the research side, ML has been applied to various aspects of process optimization, control, and customization. Key areas of focus include reducing defect density, identifying and addressing local defects, managing internal stresses generated, ensuring design and dimensional accuracy, and understanding microstructural variability, among others.

Managing these parameters is no easy task, as countless variables influence the outcome. While process parameters like temperature, speed, or laser power can be adjusted, factors such as part geometry, material type, design complexity, and environmental conditions play important roles. Many of these variables are difficult to control and often act as "noise" or secondary factors, with their effects only becoming visible over time through accumulated data and analysis.

The scientific literature contains a wealth of data on how these variables interact and impact the AM process [31-32]. ML can be a tool for unravelling these complex relationships, enabling us to predict outcomes more accurately by learning from both controllable and uncontrollable variables. This ability to integrate vast data and uncover patterns makes ML indispensable in pushing AM toward more precise and reliable results.

In additive manufacturing (AM), various types of algorithms—supervised, unsupervised, and reinforcement learning—have all been applied to optimize processes [33-37]. Unsupervised and reinforcement learning algorithms are capable of learning from the process in real time, detecting patterns and modifying parameters during the build process to minimize errors, reduce defects, or customize the material's microstructure. For this to work effectively, local monitoring and real-time data processing are critical, as they allow immediate feedback and adjustments during the manufacturing process.

This approach requires the collection of vast data, rapid analysis, and substantial storage capacity. Additionally, in cases where deterministic methods (predictable, rule-based approaches) fall short, statistical analysis might be necessary to make decisions on probabilities. While this process can be challenging due to requirement for high-speed data collection and analysis, it can however be a good way to optimize processes. Using local data collection and real-time corrections can help eliminate inconsistencies that arise from machine-to-machine differences or test-to-test variations.

However, certain factors, like the spatial distribution of powder, are inherently unpredictable and cannot be precisely replicated. Quantifying these random variables can be quite difficult. Despite this, the ability to analyse and adapt in real-time offers a promising way to explore new processes,

materials, and manufacturing techniques, paving the way for innovations in areas that were previously unexplored or difficult to approach.

Supervised learning can also be employed in additive manufacturing (AM) by utilizing historical, labelled data to optimize and fine-tune the process. However, several challenges persist in this area, particularly regarding the types of data used, how it is standardized, and issues surrounding data storage and sharing. While machine manufacturers often have access to vast databases that could aid in process optimization, the proprietary nature of this data limits its widespread sharing with the research community.

In addition, there is variability in data being collected, which can lead to inconsistencies in reliability and accuracy. This variability makes it difficult to replicate results or apply it to process learning across a wide range of machines and materials.

Over the past decade, the field of in-situ monitoring in AM has grown significantly. This is because the process itself is dynamic and has the potential to improve during the build. In-situ monitoring can provide useful insights in two main ways: first, by offering data to gradually improve the process over multiple runs, and second, by enabling real-time adjustments within a single build, provided the data can be processed quickly enough to provide feedback to the machine.

Most research in in-situ monitoring focuses on improving the quality of final parts. Numerous review articles [38-39] have been published in recent years, summarizing the extensive body of literature in this area. One notable example is from the National Institute of Standards and Technology (NIST) highlights the measurement science requirements for real-time control in additive manufacturing, with a particular focus on powder bed fusion processes [40].

Process improvement is a critical concern in industries like aerospace, where the quality of parts is important. One of the challenges being addressed through in-situ improvements is the occurrence of discontinuities during the manufacturing process. Moreover, surface roughness and the mechanical properties of the finished part are key considerations. Given the intricacy of additive manufacturing (AM), especially in powder bed fusion processes, more than 50 parameters have been recognized as factors influencing the final result [41].

Numerous studies have concentrated on experimentally optimizing the AM process, aiming to develop a holistic optimization strategy [41]. However, substantial variability among machines and operators makes it challenging to implement these optimizations universally [42]. Another challenge is that every new material requires its own optimization process. This makes it difficult to generalize the results of one optimization study to other machines, materials, or users.

With so many variables at play and the differences between machines and operators, there's an increasing need for monitoring systems that can work alongside machine learning to continuously adapt and improve processes on the spot. This is especially crucial when it comes to creating consistent standards. For example, materials used in aerospace have to meet much higher quality standards compared to those in other industries, ensuring safety and reliability.

In powder bed fusion processes, a significant portion of research has been dedicated to in-situ temperature measurements using various technologies [43]. Many of the techniques currently in use rely on thermal or optical imaging methods. Many of the techniques used today depend on thermal or optical imaging methods. One of the most cutting-edge approaches is ultra-fast synchrotron x-ray imaging, which provides valuable insights into both the surface and internal structure of the material

as it undergoes processing [44]. Other studies have focused on measuring surface quality or dimensions of the parts. To simplify this discussion, these research areas can be divided into specific categories, which are explored in detail in the subsequent sections.

1. **Defect Detection and Correction:** This involves identifying and addressing issues like cracks, voids, or other imperfections that can arise during the build process. Detecting these defects early allows for immediate corrections, leading to improved part quality and performance.
2. **Reducing Residual Stresses and Failure During and After Build:** Residual stresses, which form during the AM process because of temperature gradients, can cause parts to warp or fail. By keeping track of and managing these stresses, we can enhance the structural integrity of the final part, both during production and afterward.
3. **Microstructural Design:** This focuses on tailoring the internal materials structure to achieve desired properties, such as strength, flexibility, or thermal conductivity. By controlling factors like cooling rates and material deposition, it's possible to influence the microstructure improve the final part's performance.

These categories represent key areas where advancements in in-situ monitoring and machine learning can greatly enhance the quality, performance, and reliability of parts produced through additive manufacturing.

2.2.1 Defect detection and reduction

Detecting and correcting defects is a major area of research in additive manufacturing (AM), particularly for critical applications like aerospace, where defects could cause early failure or even catastrophic damage. In AM, defects can be identified and prevented in real-time during the build process, thanks to its bottom-up nature, which allows for in-situ monitoring [45]. One area of particular interest has been monitoring the temperature of the molten pool, as it is closely linked to the generation of defects. For years, manufacturers and researchers have aimed to measure this temperature, and with support from the U.S. government, companies have developed tools like infrared (IR) cameras to measure the temperature of the molten pool during the process. However, while temperature data is valuable, it doesn't directly indicate defects; instead, it must be correlated with defects through process learning.

For instance, image processing methods have been applied to detect defects during the build process. Gobert et al. applied layer-wise images and linear support vector analysis to categorize pixels as "flaw" or "nominal" formation [37]. After the build, CT scan images were used to link these flaw locations to the images taken during the process. However, this method faces challenges, like the difficulty in accurately aligning the coordinates of flaws from in-situ images with those from post-build scans, particularly when residual stresses cause the part to expand after being removed from the machine.

Another approach was demonstrated by Caggiano et al., who used a bi-stream deep convolutional neural network (DCNN) instead of a binary classifier [34]. This method analyzes images taken before and after powder spreading and after each layer of selective laser melting (SLM), allowing for a deeper understanding of the surface irregularities in the powder spread. Their system achieved 99.4% accuracy in detecting defective conditions.

In addition to optical imaging, some researchers have turned to infrared imaging and melt pool dimensions to detect defects. By combining infrared cameras with machine learning algorithms like K-nearest neighbor (KNN), support vector machines (SVM), and decision trees (DT), these systems can monitor the melt pool and identify potential porosity in parts. In one study, KNN was found to be

the most accurate at classifying molten pools as either defective or non-defective, while DT performed better at predicting false positives (normal melt pools mistakenly classified as defective).

Further research has also looked at plume and splatter characteristics to determine the melt pool geometry and defects [46]. By using a Deep Belief Network combined with near-infrared imaging, researchers were able to identify five distinct melting states with 83% accuracy.

Another innovative approach involves using acoustic emission signals in conjunction with convolutional neural network (CNN) analysis to assess part quality [47]. Researchers varied machine settings to produce different pore densities and then collected the acoustic emissions during the process. These signals were transformed into images, which were then used to train the network. The results revealed classification accuracies of 83%, 85%, and 89% for poor, medium, and high-quality parts, respectively.

As evident from these examples, there are many different ways to detect defects in AM, with some methods using direct measurements (like acoustic emission) and others using indirect measurements (like temperature). Direct defect quantification has the benefit of reducing the errors that come from interpreting and processing data. When selecting machine learning algorithms for defect detection, researchers must consider factors such as accuracy, speed, requirements of memory, and time of training [48]. Algorithms like SVM, linear regression, and some neural networks can make quick predictions, while more complex methods like KNN and ensemble models may require more time but offer greater accuracy [49]. Choosing the right method is essential for developing effective machine learning models for AM defect detection [48].

2.2.2 Reducing residual stresses

Detecting physical defects like voids, cracks, or un-melted powder, imaging and acoustic methods have proven to be reliable techniques [50]. However, identifying stresses and strains that develop in the material is much more challenging, as these are not visible through visual inspection. Stresses themselves cannot be directly measured; only strains, which are a result of these stresses, can be quantified. In AM processes, measuring these strains is especially challenging due to high temperatures, fast process speeds, vibrations, and other factors that influence the material during production. Traditional strain measurement methods, like strain gauges or extensometers, require direct contact with the part, which can be problematic in the AM environment.

Non-contact methods for measuring strain, such as Moiré interferometry [51], digital image correlation [52], laser measurements [53], x-ray diffraction [54], convergent electron beam diffraction [55], and neutron diffraction [56] (which measures residual stress by assessing lattice distances in strained materials), have been used in conventional manufacturing. However, these methods have not yet been widely applied to additive manufacturing. This gap highlights the requirement for new approaches and innovations to measure and manage stresses and strains in AM parts, given the unique challenges present.

These measurement techniques are often highly sensitive to environmental factors such as temperature and vibration, which can make accurate readings difficult. Currently, No strain measurement methods specifically adapted for in-situ use within the AM build chamber are available. Among the techniques mentioned, x-ray diffraction and electron beam diffraction show the most promise, particularly in laser powder bed and electron beam powder bed processes, since lasers and electron beams are already used to melt the material in these methods.

Given the challenges and limited experimental data regarding stress and strain measurements during the AM process, the most likely path to effective and accurate machine learning (ML) applications in

this area is through simulation and modelling or by leveraging historical data from post-process measurements. Simulations have proven to be valuable, especially when direct experiments are not possible. High-fidelity, physics-based simulations can help us understand the impact of different process parameters on the formation of solid structures, residual stresses, and material deformation. The insights gained from these simulations can inform and refine ML algorithms. The effectiveness of these simulations can be validated by comparing the predicted stresses or deformations with experimental results. A continuous improvement loop combining computational simulations and experimental data will help train the ML algorithms more efficiently and accurately.

Over the past decade, the capabilities of simulation in manufacturing have greatly advanced, allowing for multi-physics and multi-scale modelling of processes [57]. We can now simulate the elastic and plastic behaviour of materials at various temperatures and integrate this with models of metallurgical changes and phase transformations. This progress offers valuable insights, helping to lessen the dependence on experimental testing.

An emerging area of research is simulation-assisted machine learning (ML), which aims to reduce the need for experimental data by using simulations to train ML algorithms [58]. This approach has garnered significant attention in multiple fields, such as biomedical applications, gaming, and manufacturing.

There are two main approaches when combining ML and simulations. The first involves using simulations as a data source to improve training, particularly when the available data is either limited or unrepresentative [59]. This approach is usually used to augment datasets for better model performance. In the second scenario, the process is reversed: ML is used within simulations to optimize and save computational resources. For example, simpler surrogate models can replace more complex simulations. In manufacturing, a study focused on weld distortion used a surrogate model to approximate weld behaviour. This approach was designed to avoid running a full simulation for the large number of potential weld orientations. The surrogate model's data was then combined with the full simulation to identify factors contributing to weld distortion, demonstrating how ML can streamline and enhance simulation processes.

2.2.3 Microstructural Design

When parameters are not intentionally controlled to influence the microstructure of parts made through powder bed additive manufacturing (AM), the resulting microstructure typically forms as a columnar structure [60]. This occurs because of the re-melting and solidification of successive layers, with grains growing in alignment with the build orientation due to the epitaxial growth process. However, one of the important advantages of the AM powder bed process is the ability to control temperature and thermal gradients, which directly influence the grain growth and orientation. By adjusting these factors, it becomes possible to deliberately control the microstructure of the parts being produced [61].

Studies have been conducted to alter this columnar microstructure, aiming to produce a more equiaxed structure by adjusting the thermal gradient-to-solidification rate ratio during the build process. Additionally, recent studies have focused on controlling the formation of specific phases during the additive process, offering another unique opportunity for fine-tuning the material properties. A comprehensive review on metallurgy and mechanistic models used in AM and machine learning (ML) highlights how these technologies can be leveraged to create unique parts [62]. This includes single crystal metallic parts, such as turbine blades, which are crucial for high-performance applications, and for parts with tailored properties like crankshafts (soft core with a hard surface) or metal matrix composites that balance ductility and strength [63].

The ability to design and control microstructure is one of the benefits of AM, particularly in powder bed processes. This is especially important in applications that involve cyclic loading and high temperatures, such as turbine blades in jet engines. In these applications, controlling the microstructure to produce single crystal materials is essential for minimizing fatigue and creep damage, which enhances the component's lifespan. Traditionally, production of single crystal materials is a costly and complex process, but AM offers a more efficient alternative. Early on, researchers recognized that AM's ability to precisely control microstructure could revolutionize the production of single crystal turbine blades.

By varying process parameters locally, researchers can also control site-specific grain growth, tailoring the material's properties exactly where they are needed. This concept was first explored in depth by scientists at Oak Ridge National Laboratory, where they successfully manipulated the process parameters to control the local microstructure, allowing for the producing of parts with highly customized material properties [64].

A recent breakthrough study has demonstrated that single crystal materials can now be produced using additive manufacturing (AM), specifically through advanced scanning strategies, geometry control, and a special parameter, μ -Helix setting in electron beam melting (EBM) machines [65]. The μ -Helix parameter is a variation of the multi-passing technique, enabling the control of the solidification process by forming paths that resemble a microscopic helix at the micrometre scale.

As AM machine technology continues to evolve and processes become more controllable, the potential for integrating machine learning (ML) into the design and creation of new grain structures grows. However, monitoring grain structure in real-time during the build process remains a significant challenge. Traditionally, grain orientation is assessed using electron backscatter diffraction (EBSD), a highly detailed and complex microscopic technique. Due to its meticulous nature, EBSD is not yet good for in situ monitoring that could feed unsupervised learning data into ML models.

Other technologies, like x-ray microscopy, hold promise for in situ grain structure monitoring, but they are limited by factors such as specimen size view of the field [66]. As a result, the necessary data for ML applications aimed at refining and designing grain structures can currently only be gathered through post-build characterization of microstructures of the parts. This data is crucial for supervised learning, allowing ML algorithms to improve and optimize the design of microstructures in AM processes.

2.3 Machine Learning during Post-Process

Usage of machine learning (ML) and artificial intelligence (AI) in post-processing of AM parts has been limited. This is due to the fact that once the parts are built, opportunities for in situ control and improvement are essentially lost. However, information from the post-processing stage can still be useful to optimize future builds. Factors like defect density, surface roughness, dimensional accuracy, and reliability indices such as fatigue strength can often be tracked to the initial design, material choices, and process conditions.

Cyclic fatigue, especially thermo-mechanical fatigue, is a key reliability concern in many AM applications. For instance, parts used in jet engines, which experience cyclic loading, are highly prone to fatigue failure. As AM is more and more used in aerospace, fatigue becomes an even more critical factor. To tackle this, some researchers have used ML to optimize the long-term behaviour of materials by analysing the process parameters. As an example, an adaptive neuro-fuzzy inference system was trained using literature data to predict the fatigue strength of stainless steel [67]. Other

studies have focused on using ML to predict the fatigue of AM parts based on theoretical models and the defects formed during the manufacturing process [68].

Fatigue life of parts is significantly influenced by the microstructure and the defects that form during production, such as porosity and surface defects. Powder bed processes are particularly susceptible to these types of defects, which has led to numerous studies examining porosity as an important quality indicator. X-ray tomography is now mainly used to check porosity and defect density. Much of the research at this stage has focused on applying ML algorithms to optimize the generation and interpretation of X-ray tomography images [69]. For example, one study used micrographs of metallic parts made with laser powder bed processes to train an ML algorithm to classify different types of porosity [70].

To address the limitations and costs of in situ monitoring tools, some researchers have used statistical analysis to find the relationship between downstream mechanical properties and the process inputs. One study found that the part location and post-chamber pressure drop had a significant impact on the mechanical properties of the finished parts [71].

Given the importance of surface roughness and microstructural variations in the long-term performance of AM parts, there is potential for applying ML in evaluating these process outcomes. However, research in these areas is still limited.

3 Summary and Conclusions

Additive Manufacturing (AM) has great potential to benefit from the integration of machine learning (ML) and artificial intelligence (AI). While some advancement has been made, the widespread integration of AI into AM processes—making them as commonplace and efficient as other manufacturing techniques—is still a long way off. AI can drive improvements in process optimization, design correlation, design enhancement, defect reduction, and microstructural design in AM. While the current approaches developed for other manufacturing processes can certainly benefit AM, the biggest challenge at present lies in the availability and reliability of data needed to train ML algorithms.

The experimental data available from the research community or AM manufacturers are often inconsistent, and in a lot of cases, not publicly accessible. To develop effective ML algorithms for AM, it is crucial to establish reliable systems for data collection, storage, and sharing. There are significant discrepancies in the types of experiments being conducted and the data generated, so it is important for the manufacturing community to create a single platform for storing and sharing data. For the data to be truly useful and for ML algorithms to perform effectively, the conditions under which the data is generated needs to be documented and shared. This should include key information such as parameters, detailed specifications of raw materials (e.g., powder or feedstock), material properties (e.g., flowability of powder, particle size), and machine types used, as well as any other relevant data to help recreate and label the data accurately.

Moreover, the inherent challenges of AM, such as high temperatures and high-speed processes, make it difficult to monitor the process effectively. Most existing technologies rely on thermal or optical imaging to check the surface of the material; however these methods often fail in providing information about the material's depth. There is a pressing need for advanced tools that can monitor a multiple range of parameters and conditions in real time with high accuracy and speed. For instance, defect detection, ability to produce 3D images of the build during the process, and monitoring of microstructure and grain orientations remain areas that are not completely realized

yet. These challenges present exciting opportunities for a dedicated and innovative community to address.

Acknowledgement

This work was supported by data provided by Pakistan Council of Scientific and Industrial Research (PCSIR). I would also like to acknowledge the support provided by my Master's thesis supervisors, Dóníz Borsos and László Ady.

References

- [1] McCarthy J: The inversion of functions defined by turing machines, Automata Studies (AM-34) (Princeton, NJ: Princeton University Press) pp 177–82, 1956
- [2] Turing A M, Computing machinery and intelligence Comput. Mach. Intell. Mind, 433–60, 1950
- [3] McCulloch W S and Pitts W, A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity Bull. Math. Biophys., 115–33, 1943
- [4] Whitehead A N and Russell B, Principia Mathematica (Seaside, OR: Rough Draft Publishing, 1910
- [5] Hoehndorf R and Queralt-Rosinach N, Data science and symbolic AI: synergies, challenges and opportunities Data Sci. 27–38, 2017
- [6] Bhatia R, Understanding the difference between symbolic AI & non symbolic AI Analytics India Magazine, 2017
- [7] IEEE What is computational intelligence IEEE Comput. Intell. Soc., 2021
- [8] Robinson A J and Voronkov A, Handbook of Automated Reasoning (Amsterdam: Elsevier) 2011
- [9] Monostori L AI and machine learning techniques for managing complexity, changes and uncertainties in manufacturing Eng. Appl. Artif. Intell. 16 277–91, 2003
- [10] Wu J and Shang S, Managing uncertainty in ai-enabled decision making and achieving sustainability Sustainability 12 1–17, 2020
- [11] Dubois D and Prade H, What does fuzzy logic bring to AI? ACM Comput. Surv. 27 328–30 1995
- [12] Blundell C, Cornebise J, Kavukcuoglu K and Wierstra D, Weight uncertainty in neural networks 32nd Int. Conf. Mach. Learn. ICML 2015 vol 2 pp 1613–22, 2015
- [13] Hashemi M et al, Learning memory access patterns (arXiv:1803.02329) , 2018
- [14] Scott E, What are the 3 types of Ai? A guide to narrow, general, and super artificial intelligence, 2017
- [15] Dhar V, Data science and prediction Commun. ACM 56 64–73, 2013
- [16] Chinnamagri S K, Machine Learning Projects: Implement Supervised, Unsupervised and Reinforcement Learning Techniques Using R 3.5 (Birlingham: Packt Publishing), 2019
- [17] Sathya R and Abraham A, Comparison of supervised and unsupervised learning algorithms for pattern classification Int. J. Adv. Res. Artif. Intell. 2 34–38, 2013
- [18] Donalek C, Supervised and unsupervised learning, 2011
- [19] Kaelbling L P, Littman M L and Moore A W, An Introduction to Reinforcement Learning (Berlin: Springer), 1995

-
- [20] Tao F, Qi Q, Wang L and Nee A Y C, Digital twins and cyber–physical systems toward smart manufacturing and industry 4.0: correlation and comparison Engineering 5 653–61, 2019
 - [21] Liu C, Le Roux L, Körner C, Tabaste O, Lacan F and Bigot S, Digital twin-enabled collaborative data management for metal additive manufacturing systems J. Manuf. Syst. accepted (<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.010>), 2020
 - [22] Knapp G L, Mukherjee T, Zuback J S, Wei H L, Palmer T A, De A and DebRoy T, Building blocks for a digital twin of additive manufacturing Acta Mater. 135 390–9, 2017
 - [23] Cummings C and Barnes J, Machine learning and additive manufacturing: what does the future hold? Metal AM Magazine pp 127–35, 2020
 - [24] Huang D and Li H, Review of machine learning applications in powder bed fusion technology for part production Proc. Int. Conf. Prog. Addit. Manuf. 2018 709–16, 2018
 - [25] Murphy, K. P., Machine Learning: A Probabilistic Perspective. MIT Press, 2012
 - [26] Beaman J J and Deckard C R , Selective laser sintering with assisted powder handling Google Patents no. 19 p 17, 1990
 - [27] Leila Jannesari Ladani, Applications of artificial intelligence and machine learning in metal additive manufacturing, J. Phys. Mater. 4 042009, 2021
 - [28] Onuchukwu, Godwin & Ahmad, Norhayati & Basheer, Uday. (2023). Machine Learning Applications In Metal Additive Manufacturing: A Review. 12. 139-147.
 - [29] MGI.GOV 2009 Materials Genome Initiative
 - [30] Milić M, Maričić S and Radolović D 2017 Implementation of additive technologies in elementary education MATEC Web Conf. vol 137 p 5
 - [31] Moges T, Ameta G and Witherell P, A review of model inaccuracy and parameter uncertainty in laser powder bed fusion models and simulations J. Manuf. Sci. Eng. Trans. ASME 141 040801, 2019
 - [32] Kürsteiner P, Wilms M B, Weisheit A, Gault B, Jägle E A and Raabe D High-strength Damascus steel by additive manufacturing Nature 582 515–9, 2020
 - [33] Ling J et al, Machine learning for alloy composition and process optimization Proc. ASME Turbo Expo 6 1–7 , 2018
 - [34] Caggiano A, Zhang J, Alfieri V, Caiazzo F, Gao R and Teti R, Machine learning-based image processing for on-line defect recognition in additive manufacturing CIRP Ann. 68 451–4, 2019
 - [35] Iquebal A S and Bukkapatnam S, Consistent estimation of the max-flow problem: towards unsupervised image segmentation IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence 1–1, 2018
 - [36] Khanzadeh M, Chowdhury S, Marufuzzaman M, Tschopp M A and Bian L 2018 Porosity prediction: supervised-learning of thermal history for direct laser deposition J. Manuf. Syst. 47 69–82
 - [37] Gobert S, Reutzel C, Petrich E W, Nassar J and Phoha A R , Application of supervised machine learning for defect detection during metallic powder bed fusion additive manufacturing using high resolution imaging. Addit. Manuf. 21 517–28, 2018
 - [38] Everton S K, Hirsch M, Stravroulakis P I, Leach R K and Clare A T, Review of in-situ process monitoring and in-situ metrology for metal additive manufacturing Mater. Des. 95 431–45, 2016
 - [39] Spears T G and Gold S A, In-process sensing in selective laser melting (SLM) additive manufacturing Integr. Mater. Manuf. Innov. 5 1–25, 2016
 - [40] Mani M, Feng S, Lane B, Donmez A, Moylan S and Fesperman R , Measurement science needs for real-time control of additive manufacturing powder bed fusion processes, 2015
 - [41] Van Elsen M, Complexity of Selective Laser Melting: a new optimisation approach, 2007
 - [42] Dowling L, Kennedy J, O’Shaughnessy S and Trimble D, A review of critical repeatability and reproducibility issues in powder bed fusion Mater. Des. 186 108346, 2020
 - [43] Grasso M and Colosimo B M, Process defects and in situ monitoring methods in metal powder bed fusion: a review Meas. Sci. Technol. 28 044005 , 2017

-
- [44] Chen Y, Clark S J, Leung C L A, Sinclair L, Marussi S, Olbinado M P, Boller E, Rack A, Todd I and Lee P D, In-situ synchrotron imaging of keyhole mode multi-layer laser powder bed fusion additive manufacturing Appl. Mater. Today 20 100650, 2020
- [45] Ladani L J and Razmi J, Interaction effect of voids and standoff height on thermo-mechanical durability of BGA solder joints ASME Int. Mech. Eng. Congr. Expo. Proc. 5 113–20, 2010
- [46] Ye D, Hsi Fuh J Y, Zhang Y, Hong G S and Zhu K, In situ monitoring of selective laser melting using plume and spatter signatures by deep belief networks ISA Trans. 81 96–104, 2018
- [47] Shevchik S A, Kenel C, Leinenbach C and Wasmer K, Acoustic emission for in situ quality monitoring in additive manufacturing using spectral convolutional neural networks Addit. Manuf. 21 598–604, 2018
- [48] Ramya V Ho, to select the right machine learning algorithm | lionbridge AI pp 2020–2, 2020
- [49] Heineman G T, Pollice G and Selkow A, Algorithms in A Nutshell: A Practical Guide (Newton, MA: O'Reilly Media), 2016
- [50] Mian M J, Razmi J and Ladani L, Mechanical behavior of electron beam powder bed fusion additively manufactured Ti6Al4V parts at elevated temperatures J. Manuf. Sci. Eng. Trans. ASME 143 1–14, 2021
- [51] Wang K , Optical Measurement Mechanics (Berlin: De Gruyter) pp 1–41, 2018
- [52] Bartlett J L and Li X An, Overview of residual stresses in metal powder bed fusion Addit. Manuf. 27 131–49, 2019
- [53] Anwender M, Zagar B G, Weiss B and Weiss H, Noncontacting strain measurements at high temperatures by the digital laser speckle technique Exp. Mech. 40 98–105, 2000
- [54] Motazedian F, Wu Z, Zhang J, Samsam Shariat B, Jiang D, Martyniuk M, Liu Y and Yang H, Determining intrinsic stress and strain state of fibre-textured thin films by x-ray diffraction measurements using combined asymmetrical and Bragg-Brentano configurations Mater. Des. 181 108063, 2019
- [55] Randle V, Barker I and Ralph B, Measurement of lattice parameter and strain using convergent beam electron diffraction J. Electron Microsc. Tech. 13 51–65, 1989
- [56] Wang Z, Denlinger E, Michaleris P, Stocia A D, Ma D and Beese A M, Residual stress mapping in Inconel 625 fabricated through additive manufacturing: method for neutron diffraction measurements to validate thermomechanical model predictions Mater. Des. 113 169–77, 2017
- [57] Francois M M et al, Modeling of additive manufacturing processes for metals: challenges and opportunities Curr. Opin. Solid State Mater. Sci. 21 198–206, 2017
- [58] Sobie C, Freitas C and Nicolai M, Simulation-driven machine learning: bearing fault classification Mech. Syst. Signal Process. 99 403–19, 2018
- [59] Asadi M and Goldak J A, Combinatorial optimization of weld sequence by using a surrogate model to mitigate a weld distortion Int. J. Mech. Mater. Des. 7 123–39, 2011
- [60] Ladani L, Razmi J and Farhan Choudhury S, Mechanical anisotropy and strain rate dependency behavior of Ti6Al4V produced using E-beam additive fabrication J. Eng. Mater. Technol. Trans. ASME 136 1–7, 2014
- [61] Yan F, Xiong W and Faierson E J, Grain structure control of additively manufactured metallic materials Materials 10 1260, 2017
- [62] DebRoy T, Mukherjee T, Wei H L, Elmer J W and Milewski J O, Metallurgy, mechanistic models and machine learning in metal printing Nat. Rev. Mater. 6 48–68, 2021
- [63] Angel N M and Basak A, On the fabrication of metallic single crystal turbine blades with a commentary on repair via additive manufacturing J. Manuf. Mater. Process. 4 101, 2020
- [64] Dehoff R R, Kirka M M, Sames W J, Bilheux H, Tremsin A S, Lowe L E and Babu S S, Site specific control of crystallographic grain orientation through electron beam additive manufacturing Mater. Sci. Technol. 31 931–8, 2015
- [65] Gotterbarm M R, Rausch A M and Körner C, Fabrication of single crystals through a μ -helix grain selection process during electron beam metal additive manufacturing Metals 10 313, 2020

-
- [66] Escano L I, Parab N D, Xiong L, Guo Q, Zhao C, Fezzaa K, Everhart W, Sun T and Chen L, Revealing particle-scale powder spreading dynamics in powder-bed-based additive manufacturing process by high-speed x-ray imaging *Sci. Rep.* 8 1–11, 2018
 - [67] Zhang M, Sun C-N, Zhang X, Goh P C, Wei J, Hardacre D and Li H, High cycle fatigue life prediction of laser additive manufactured stainless steel: a machine learning approach *Int. J. Fatigue* 128 105194, 2019
 - [68] Zhan Z and Li H, A novel approach based on the elastoplastic fatigue damage and machine learning models for life prediction of aerospace alloy parts fabricated by additive manufacturing *Int. J. Fatigue* 145 106089, 2021
 - [69] Gobert C, Kudzal A, Sietins J, Mock C, Sun J and McWilliams B, Porosity segmentation in X-ray computed tomography scans of metal additively manufactured specimens with machine learning *Addit. Manuf.* 36 101460, 2020
 - [70] García-Moreno A I, Alvarado-Orozco J M, Ibarra-Medina J and Martínez-Franco E, Ex-situ porosity classification in metallic components by laser metal deposition: a machine learning-based approach *J. Manuf. Process.* 62 523–34, 2021
 - [71] Huang D J and Li H, A machine learning guided investigation of quality repeatability in metal laser powder bed fusion additive manufacturing *Mater. Des.* 203 109606, 2021

Egy kihalt mesterség 2. rész – A vízimolnárok szerszámai

Szerző: Jakab István egyetemi gyakornok

Óbudai Egyetem

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet

Műszertechnikai és Automatizálási Tanszék

1084 Bp. Tavaszmező u. 17., B ép. 115.

Tel.: +36-1-666-5178

Fax.: +36-1-666-5169

E-mail: jakab.istvan@uni-obuda.hu

Absztrakt:

Az előző, 2023. évi XXXIX. Kandó konferenciára írt „Egy kihalt mesterség – A vízimolnárok” cikkem folytatásaként a mostani előadásomat a vízimolnárok legfontosabb eszközeiről és szerszámairól szól. Az előzmény cikkben a molnármesterek tudását 16 pontban foglaltam össze. E tapasztalat átadásához, az oktatásához is érteniük kellett. A gyakorlati oktatás mindig a szerszámok eszközök ismeretével kezdődött, mivel, ha a mester elküldte az inast, vagy tanoncot a kritikus pillanatban a Löscheimer-ért (oltóvederért), akkor annak tudnia kellett mi az és hol keresse. A munkafolyamatok megismerése és elsajátítása gyakran évekbe, évtizedekbe telt. Mire mesterei lettek a szakmának és elkészítették a mesterművet valamint sikeresen letették a mestervizsgát, elsajátították és ismerték a munkát és a hajóépítést, malomüzemeltetést, karbantartást, eszköz és szerszámhasználat fortélyait. A vízimolnárok a víz hajtotta őrlő és szitáló berendezésen kívül, szinte kivétel nélkül kéziszerszámokat, eszközöket használtak. Egyszerű gépeiket is saját maguk hajtották. A vízimolnár-mesterek a munkájuk és a malmuk elkészítéséhez használt eszközöket megbecsülték, mivel gyakran apjuk, nagyapjuk szerszámaikat használták.

kulcsszavak: szerszámok, vízimolnár, ipartörténelem

1 Bevezetés

Előző cikkemben leírtam egy kihalt mesterség a vízimolnárok, valamint a legfontosabb „kenyéradó” szerszámuk a hajómalom történetét, a szakmájuk fejlődését, tündöklését és kihalását.

Jelen cikkemben a további emlékéllítés mellett részletesen leírom, hogy a hajómalom készítéséhez és üzemeltetéséhez, karbantartásához milyen szerszámokat használtak, mert egy ilyen szerszám nem csak egy, de akár több nemzedéknek használatául szolgált. A mai időkben, amikor a számítógép, a telefon, a CNC gépek a mesterek elhagyhatatlan eszközei, a vízimolnárok csak kézi eszközöket használtak.

Most egy kutatással bizonyított, de mégis kitalált történeten keresztül szeretném bemutatni a vízimolnárok szerszámaikat

1.1 A történelmi háttér

A Pallasz Nagylexikon szerint:

“A mohácsi vész után a törökök a lakosság legnagyobb részét kipusztították. Ekkor Esterházy István birtokába került a sziget, kitől 1695. Heiszler tábornok 25 000 frton megvette; tőle 3 év múlva Savoyai Jenő herceg vette meg 85 000 frton, aki annyit tett a sziget emelésére, hogy róla Eugén-szigetnek is nevezték; ekkor nyerte a sziget szerb és sváb lakóit, kik közül a szerbek azonban máig nagyon megfogytak. Savoyai Jenő halála után III. Károly özvegye, Erzsébet vette meg, ennek halála után pedig Mária Terézia magának tartotta fenn és kezelését a magyar kamarára bízta. 1780. Mária Krisztina lett birtokosa, akinek halála után (1790) férje Albert szásztescheni herceg kezébe került. Halála után (1822) ismét a királyi családra szállott, mely most is bírja. 1848. szept. 30. Görgei Artúr a szigeten, Lórén végeztette ki Zichy Ödön grófot, az ellenséggel folytatott benső viszonya miatt.”

(forrás: Pallas Nagylexikon <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-pallas-nagy-lexikona-2/cs-60BB/csepelsziget-631B/>)

1.2 A történet kezdete

Valamikor a XVII. században vízimolnár őseimet a már említett, Csepel sziget ura **Esterházy István**, vagy később a XVIII. század elején **Savoyai Jenő** hívta örölni, a sziget lakosságát lisztel ellátni.

Őseim a Csepel-sziget nyugati részén, Szigetújfaluban találták meg letelepedési helyüket, a Duna mellett. Ide valószínűleg csónakon vagy egyéb vízi járművön érkeztek családosul, és 1710-ben anyakönyvileg bizonyítottan, itt született már Barbaró (vagy Bavaro) Ludovicus fiuk.

1.3 A malomépítés előkészítése.

Munkájukhoz Csepel sziget akkori urához fordultak. Az úszómalomhoz alapanyagot szerettek volna kivágni. Az uraság beleegyezett, és az intézője kíséretében kimentek a Csepel szigetet borító erdőségbe (királyi vadászterület volt sokáig).

Az intézővel egyeztetve megjelölték a szükséges mennyiséget, és nekifogtak a kivágni a fákat. A mester megjelölte a vágás helyét és a segédek nekiláttak keretes fűrészszel, baltával, fejszével kivágni a megjelölt törzsűeket. Ehhez a következő szerszámokat használták:



1. kép: keretes fűrész (forrás: saját gyűjtemény)



2. kép: fejsze (felső), és balta (alsó)(forrás: saját gyűjtemény)



3. kép: keretes fűrészek szétzerelve (forrás: saját gyűjtemény)

A keretes fűrész szétzerelve vitték magukkal, és ott állították össze.

A kivágott fákról levágták az ágakat és gallyakat, és lekérgezték vonókéssel. Kéregteleníteni azért kellett, mert a gatteros, a fűrész védelmében csak így fogadta el. A törzset a megfelelő hosszúságú rönkökre fűrészelték, és lóvontatással szekérhez vitték, majd ráemelték, és elszállították a gatteroshoz, a vízajtású fűrészmalmoshoz gerendákat, pallókat és deszkákat vágatni. A maradékokból a tetőzetre való zsindelyt hasítottak. Az elkészült fűrészárút pihentették, szárították.



4. kép: vonókés (forrás: saját gyűjtemény)

1.4 A malomépítés.

A malomhajó testét gerendákból ácsolták egybe. A felfűrészelt gerendákat gyaluval egyengették és simították. Ehhez különféle nagyoló és simító gyalukat használtak. Minden gyalunak meg volt a sajátos szerepe.

A gerendák minden oldalát síkba gyalulták, de a belső oldalán külön lecsapást csináltak a tömítés részére.



5. kép: gyalu (forrás: saját gyűjtemény)



6. kép: gyaluk (forrás: saját gyűjtemény)



7. kép: gyaluk (forrás: saját gyűjtemény)

A gerendákat kettésével szorítóban összefogták, és keményfa ékekkel rögzítették.

Az összeszorításhoz két ilyen eszközt használtak, ami a faipari szorító őse volt.



8. kép: szorító (forrás: saját gyűjtemény)

A gerendákat faszeggel csapolták össze szükség szerint többel is.

A szegeket esztergán állították elő.



9. kép: lábbal hajtott faeszterga (forrás: <https://mek.oszk.hu/02100/02115/html/1-2023.html>)



10. kép: faszegek (forrás: saját gyűjtemény)

A szegek helyeit a gerendákban előfúrták kézi fúróval (cigányfúró), vagy furdanccsal.



11. kép: furdancs fúrószár nélkül (forrás: saját gyűjtemény)



12. kép: fúrószárak (forrás: saját gyűjtemény)



12. kép: kéz vagy cigányfúrók (forrás: saját gyűjtemény)



12. kép: további kézi vagy cigányfúrók (forrás: saját gyűjtemény)

A gerendákat megszámozták, majd összeszorítás és összefűrés után egyet összeszegeztek majd a párját a következővel megint összefűrték, és megint összeszegezték. A malomhajó alja nem volt túlzottan áramvonalas, síkokból állt össze, a fara pedig síkban végződött.

A hajótestben belülről a gerendák letöréseit párhuzam jelölővel karcolták be, és gyaluval munkálták meg.



13. kép: párhuzam jelölők (forrás: saját gyűjt.)

A gerendák letöréseiben a tömítőanyagot egy ék alakú eszközzel döngölték, majd egy léccel lezárták, és iszkába szöggel rögzítették a lécz két oldalán. Az iszkába szöveget a léczbe nem verték bele csak a fejével szorították a helyére.



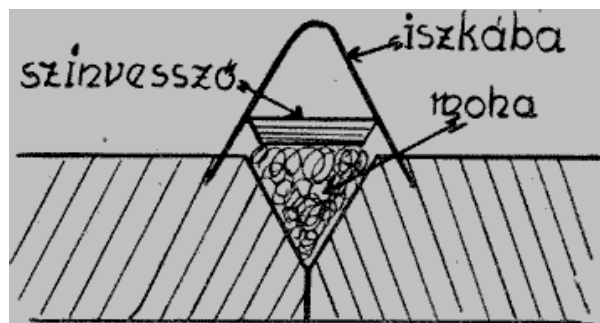
14. kép: szigetelés döngölő (forrás: Ráckevei Hajómalom múzeum)



15. kép: iszkába szögek bemutatása külön, nem a helyükön (forrás: Ráckevei Hajómalom Múzeum)



15. kép: iszkába szög vasból, forrás: <https://bencsik.rs3.hu/a-sarki-jeg-a-2020-as-evekben/234-hajok-toertenete-a-kelet-mediterraneum-a-minosziak-a-huekszoszok-es-a-tengeri-nepek-hajoepitese-az-i-e-1100-as-evekig.html>



16. kép: Iszkába szög használata a középkorban, forrás: <https://bencsik.rs3.hu/a-sarki-jeg-a-2020-as-evekben/234-hajok-toertenete-a-kelet-mediterraneum-a-minosziak-a-huekszoszok-es-a-tengeri-nepek-hajoepitese-az-i-e-1100-as-evekig.html>

Az iszkába szögek beverésével a hajómalom-házhajó aljának váza elkészült.

A völgyhajó teljesen megegyezett a házhajó aljával, de a házhajóra az őrlőberendezés és házrész megtartására komoly gerendafedélzetet kellett ácsolni.

Ezután, mind a két hajószerkezetet pallókkal összeerősítették, úgy hogy a vontatás, javítás idejére szétszerelhető legyen. Az összeácsolás egyfelől azért szükséges, hogy a vízkereket egy vonalban a csapágyfészekben tartsák, másfelől, mert a két szerkezetet átjárhatóvá kellett tenni. Azért, hogy a vízkerek tengelyét ne kelljen feleslegesen meggyengítve megvénni, a következő küllőagyat szereltek fel a küllőket tartani:



17. kép: vízkerek-küllőagy (forrás: Ráckevei Hajómalom Múzeum)

A vízkerékre deszkából készült falapátokat szereltek a víz sodrásának megfelelően.

A vízkerék egy hat-hét méter széles a két hajó közt forgó szerkezet, amely a víz energiáját a forgásán keresztül fafogaskerekeken adta át az őrlőkőeknek a mozgást. A következő ábrán látható meghajtás már modernebb, mivel az őrlés ennél hengersizéken történik.

A szítálást is innen kihajtva gépesítették szitaszekrényben lévő szitakereteken.



18. kép: fa fogaskerekek kiegészítve modernebb fém kerékkel (forrás: Ráckevei Hajómalom Múzeum)

A vízkerék tengelyének mindkét hajóban csapágyfészket építettek.



19. kép: csapágyfészek a házhajóban (forrás: Ráckevei Hajómalom Múzeum)

A házhajó fedélzet feletti részét kisebb gerendákból vagy pallókból állították össze, a hajó aljának a vonalát követve. A felépítményt ajtóval és ablakokkal látták el. A hajó orrába és tatjába lévő tetőgerendázatra harangot és petróleumlámpát függesztettek.



20. kép: hajóharang (forrás: Ráckevei Hajómalom Múzeum)



21. kép: petróleum viharlámpa (forrás: Ráckevei Hajómalom Múzeum)

Ugyancsak a hajó orrába és tatjába rögzítési pontot gerendából képeztek ki, ahol a hajószögnek nevezett a folyóágyba levert gerendákhoz kötélzettel rögzítették a hajót. Később ide kerültek a horgonyok a láncsal elhelyezésre.



22. kép: horgonyok láncsal és közepén a rögzítés céljára faragott gerenda (forrás: Ráckevei Hajómalom Múzeum)

A hajómalom falaira gerendázatból építettek nyereg- vagy sátor-tetőszerkezetet, és a lécezésre fassindelyeket rögzítve készült el a tetőhéjazat.



23. kép: Az eredeti ráckevei hajómalom

(forrás: Ráckeve város honlapjáról <http://onkormanyzat.rackeve.hu/48-statikus/253-hajomalom.html>)



24. kép: Az újjáépített ráckevei hajómalom

(forrás: Pestmegye honlapjáról <http://www.pestmegye.hu/ertektar/hajomalom-rackeve>)

Így épült fel őseim hajómalomának váza, és berendezésének egy része is.

A további eszközök, szerszámok és berendezések bemutatása a következő cikkem tárgyául szolgálnak, nem azért mert kevésbé fontosak, csak nem fértek el ebbe az előadásomba és cikkembe.

Összegzés

A történetet a hajómalom-építés kedvéért találtam ki, a képeket többségében a családi örökségből, illetve a Ráckevei Hajómalom Múzeumban fotóztam.

A családomnak köszönetemet fejezem ki, hogy részemre megőrizték eme kincseket!

Köszönöm a Ráckevei Hajómalom Múzeum gazdag szerszám és eszköz bemutatását!

Források:

- [1] Jakab István: Egy kihalt mesterség – A vízimolnárok (2023. évi XXXIX. Kandó konferencia közlöny)
- [2] saját gyűjteményű szerszámok, eszközök és tárgyak fotói (szürke kisényzet-hálós háttérrel)
- [3] Ráckevei Hajómalom Múzeum kiállítási tárgyainak saját készítésű fotói (2300 Ráckeve, Szegedi Kis István sétány)
- [4] Magyar Elektronikus Könyvtár - Országos Széchenyi Könyvtár (<https://mek.oszk.hu/02100/02115/html/1-2023.html>)
- [5] Pallas Nagylexikon - ARCANUM (<https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-pallas-nagy-lexikona-2/cs-60BB/csepelsziget-631B/>)
- [6] Bencsik István : HAJÓK TÖRTÉNETE: A KELET- MEDITERRÁNEUM (A MINÓSZIAK, A HÜKSZÓSZOK ÉS A TENGERI NÉPEK) HAJÓÉPÍTÉSE AZ I.E. 1100-AS ÉVEKIG (<https://bencsik.rs3.hu/a-sarki-jeg-a-2020-as-evekben/234-hajok-toertenete-a-kelet-mediterraneum-a-minosziak-a-huekszoszok-es-a-tengeri-nepek-hajoepitese-az-i-e-1100-as-evekig.html>)
- [7] Az eredeti ráckevei hajómalom Ráckeve város honlapjáról (<http://onkormanyzat.rackeve.hu/48-statikus/253-hajomalom.html>)
- [8] Az újjáépített ráckevei hajómalom Pestmegye honlapjáról (<http://www.pestmegye.hu/ertektar/hajomalom-rackeve>)

Field and station level control system, communication redundancy

Ádám Richárd János¹ and Tamás Márk Baross²

¹ Óbuda University, Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering, Bécsi út 96/b, H-1034 Budapest, Hungary; adam.richard.janos@gmail.com

² Óbuda University, Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering, Bécsi út 96/b, H-1034 Budapest, Hungary; baross.mark@kvk.uni-obuda.hu

Abstract One of the most important features of electricity networks is security and reliability. Today, the continuous development and modernisation of substation systems is a key issue. In order to ensure efficient and seamless communication, various standards and protocols have been developed to enable fast, accurate and secure data transmission between substations and between substation equipment. The aim of our work is to present standards and communication protocols used in electrical substations, industrial automation and power distribution. We will analyse in detail the IEC61850 standard, which is the basis for substation automation. The differences between IEC61850 and a conventional system will be presented. Since the smallest failure can cause a serious malfunction with serious consequences such as power outages, network disruption or even financial loss, we will show why network redundancy is important for operation. Special attention will be paid to RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), PRP (Parallel Redundancy Protocol) and HSR (High-availability Seamless Redundancy) protocols, showing their operation, advantages, disadvantages and applications in the substation environment.

Keywords: substation, IEC61850, redundancy, RSTP, PRP, HSR

1. Protocols

Protocols are very important in the life of both information communication and high-current electrical substations, especially in industrial automation and in the distribution of electricity, as they ensure reliability, fault tolerance and availability.

But what are protocols? Protocols are sets of rules that define how different participants or systems within a network establish communication links with each other. So, we can say that the protocol is the "language" of the network itself. They define how information is described and conveyed. [1]

Types:

- Network protocols: The protocols that define the route and labeling of data packets within the network, such as IP (Internet Protocol). It is the defining protocol of the Internet.
- Transport protocols: Their role is to ensure that data reaches its destination correctly and without damage. For example: TCP (Transmission Control Protocol). This guarantees the correct sequence and completeness of the data packets.
- Data-link protocols: They regulate the transmission of data in the physical layer of the network (e.g. on Ethernet).
- Application protocols: These protocols would serve higher level protocols. For example, viewing web pages (HTTP), sending e-mails (SMTP), and transferring files (FTP).

In the substations we use different types of protocols, for example:

- International standards (e.g. IEC60870-5-103, IEC60870-5-101/4, DNP, Modbus, RTU)
- Manufacturer specific protocols (e.g. ABB-SPA)

1.1. Disadvantages of "traditional" communication protocols used in substation environments:

Of course, for all the good things, there are also disadvantages to the protocol. They can only be used in a narrow, so-called functional domain. Their extension can be very difficult, and the number of devices used is limited. Even today, specialised serial communication devices are still needed, which are highly sensitive to changes and developments in infocommunication technologies. Compliance with the standard is not fully defined in protection and control technology, we can find too many different solutions to the same problem, which can also be very expensive.

1.2. IEC 61850

The solution was created by developing a standard that allows unconditional data transfer between different manufacturers, products and devices. It is essential that it can be used in the long term and is independent of the rapid evolution of data transmission technologies. This standard became the IEC61850. The main differences between the traditional system and the IEC61850 system are illustrated in the table below:

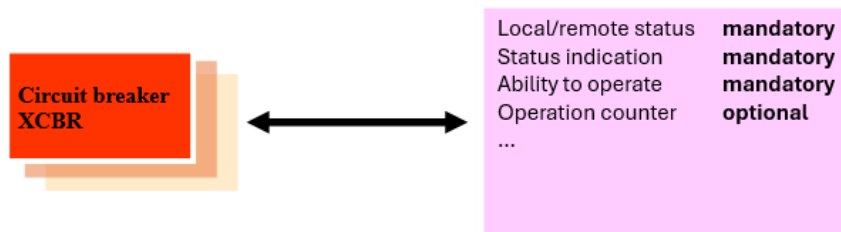
1. Table differences between the traditional system and the IEC61850 system

Conventional system		IEC61850
• Limitations due to different protocols • Gateway required • Complex, complicated cabling	Design	• Simple system structure • Protocol certified
• Different data formats • Complicated database creation	Configuration	• Communication in one language • One system integration software
• Complicated debugging and tracking for serial protocols	Commissioning	• Simpler systems are easier to debug

There is no doubt, therefore, that the basis for automation and communication in electrical substations is IEC61850. We have already mentioned above that its aims include standardisation - so that devices from different manufacturers can communicate with each other - and safety. The standard covers the entire data model, which applies to all the functions and devices of the substation. So, it applies to both protections and relays, as well as various communication and energy monitoring devices.

1.2.1. IEC61850 data model

One of the most significant innovations of IEC 61850 is the use of an object-oriented data model, in which the participants in substation communication and the functions of the participants have clearly identified data structures. This data model allows all devices in the system to communicate directly with each other and share data in real time. This real-time communication enhances the responsiveness and efficiency of the network, especially for protection and control functions. In the standard, devices, also known as IEDs (Intelligent Electronic Devices), are modelled in such a way that they contain the status, quality, alarms, commands, and other relevant data of the devices. [2]



4. Figure IEC61850 data model of

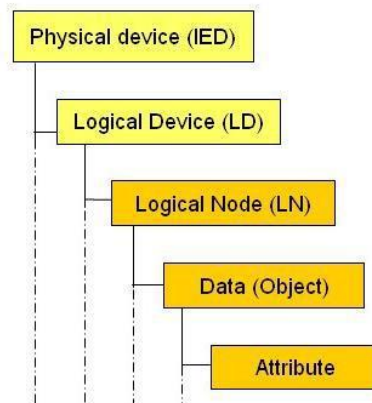
the circuit breaker

Each object has mandatory and optional data. As you can see in the example above (Figure 1), a circuit breaker has a separate "code", which is given by the standard. For example, mandatory data is the local/temporal status. The status indication and the ability to operate are also mandatory, for example to save human lives.

1.2.2. Hierarchical structure of IEC61850

IEC61850 is a very well-structured standard. It uses a very well-organized multi-layered approach, in which all devices, all data models and serving communication are fully separated. The hierarchical structure can be divided into several main levels, in which each level performs a different task or function: [3]

- Physical layer (Physical Layer)
- Device layer (IED – Intelligent Electronic Devices)
- Logical layer (Logical Nodes and Logical Devices)
- Data service layer (Data Services and Communication Services)



5. Figure Hierarchical structure of IEC61850

The physical layer includes all physical devices and equipment, such as switchgear, relays, sensors, etc. They perform measurement, protection or control functions. All physical devices are referred to as IEDs in IEC61850. They are smart electronic devices that measure, manage and communicate data with other devices. Their main functions include, for example, controlling relays, monitoring networks or operating equipment. All physical devices (IEDs) are made up of logic devices (LDs), which can be further broken down into smaller logic nodes (LNs) in further interpretation. These logical nodes represent equipment functions such as measurement, control or protection functions. A physical device can consist of several logical devices, as each LD fulfills its own specific role. It can be a protection logic device, a control device or a communication device. Logic nodes are even smaller units representing more specific functions, such as circuit breaker control (CSWI), measurements (MMXU) or protection functions (PTOC). One such logical node is shown in the figure above, where the circuit breaker is marked as XCBBR. [4]

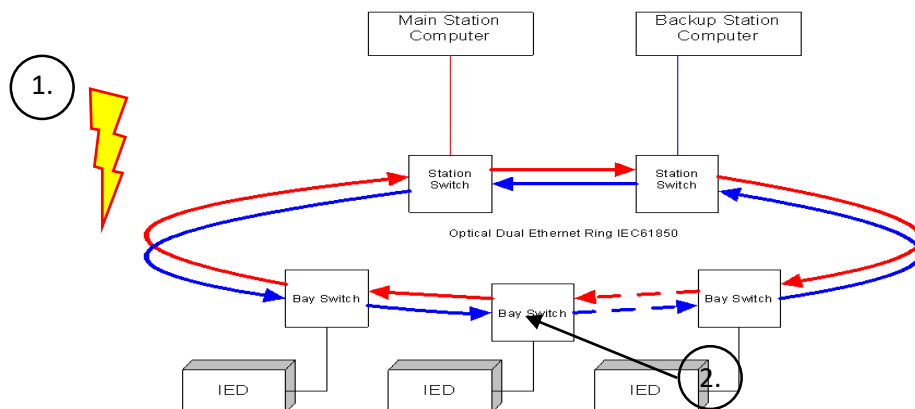
2. REDUNDANCY

The main purpose of redundancy is to increase system reliability and reduce the chance of failure. The simplest way to explain this is if, for example, there are several independent paths or communication connections for a data transmission, and one path might fail, the system would switch to another working line automatically, quickly, preferably without error or data loss. We can see that this is extremely important in the case of substations, since the operation must be continuous, because in the event of an interruption of the energy supply, both the infrastructure, the industry and the population can be in a critical situation.

The first edition of the IEC61850 standard did not address the issue of redundancy. Later, the working committee realized that, for the sake of interoperability, the redundancy solution should be included in the standard. The second edition (IEC61850 Edition 2) already includes redundancy. At the same time, a separate standard was defined for PRP/HSR solutions, the name of which was IEC62439. [5]

2.1. RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol)

RSTP is currently one of the most widely used topologies. It implements redundancy by creating logical network loops. It does not immediately use parallel paths, which is one of its major drawbacks. This problem is solved by HSR and PRP. [6]

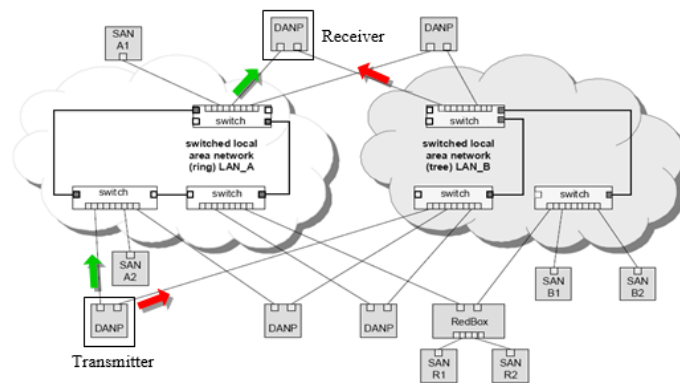


6. Figure Structure of RSTP

As soon as RSTP detects that a route fails in the network (case 1), it reconsiders the network and activates a backup line (case 2, the dashed lines become "liquid" lines). This backup is only activated if the primary route fails. This way, your data packet will reach its destination even if some routes fail. It redesigns the network relatively quickly (in less than a second), but this time is more than enough to lose important packets. So the recovery time is fast, but not with zero latency. Its huge advantage is that it supports all topologies (tree, star, ring, meshed).

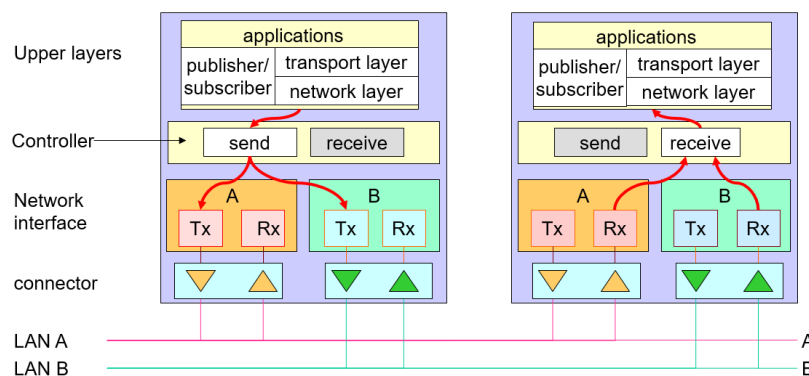
2.2. PRP (Parallel Redundancy Protocol)

One of the key features of PRP is zero data loss. This protocol complies with the IEC62439-3 standard. It can be used in several network architectures, but is most common in star topology. The point is that there are two completely independent networks. In this design, the devices supporting redundancy are called DANP (Double Attached Node implementing PRP), because these devices are connected to both independent networks.



7. Figure Structure of PRP

On both networks, we send the same packet that we want to forward to the receiver. If there are no errors in the routes, the receiver receives the desired data package via both networks. It processes the first one, the one it received first, and discards the second one.

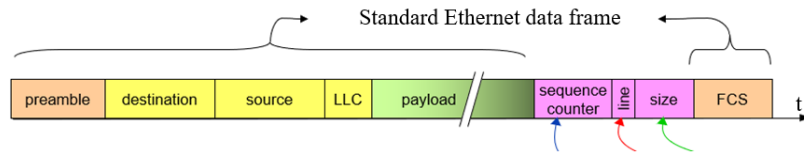


8. Figure PRP dataflow

The figure above illustrates the process very well. The data frame is sent to both LAN A. and LAN B. Of course, the data packets arrive at the receiver with some delay. Before they arrive at the receiver, the controller between the network layer and the network interface filters out duplicated data packets, as it is responsible for handling the data flow. The two directions are completely equal, with no privileged path between them. Of course, in the event of a failure on one path, the receiver will continue to receive data packets from the other path without failure. As we mentioned at the beginning, the main advantage of this application method due to this parallel path is the zero transmission delay. In PRP, both network interfaces have the same IP address and physical address (MAC address). In summary, the advantages of PRP include support for different topologies, network design independent of IEDs, flexible speeds (up to 1 GB/s). As it uses standard Ethernet-based building blocks, no special equipment is required. The entire bandwidth can be used and memory does not saturate quickly due to duplication filtering. Recovery time is zero, so there is no data loss. If an IED were to fail, there would be no impact on network operation. It is also possible that there are devices in the network that do not support redundant communication. Fortunately, with this protocol, this problem is solved, as they can be connected directly to the network, or another possible method is to insert so-called "RedBoxes". With a "RedBox" you can connect them to both networks at the same time. Besides the many advantages, there are of course also disadvantages. The main disadvantage of the system is the high installation cost due to switches and cabling.

2.2.1. IEC62439-3 PRP – Filtering out duplicates

The question may arise as to how duplicates are filtered out by the network interface. The same method is used for PRP and HSR (discussed in the next unit), so we will now discuss it. Each data packet sent by PRP and HSR protocols has special fields appended to it that characterize the path.

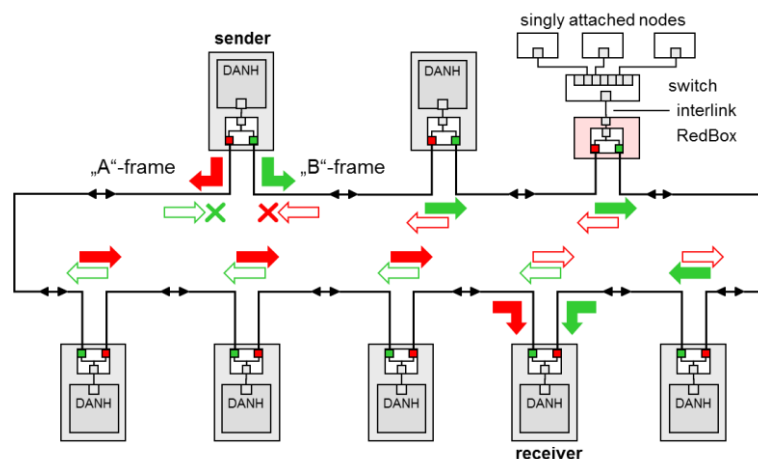


9. Figure Filtering out duplications in the case of PRP, HSR

Each standard Ethernet-based data frame is accompanied by a sequence number, a line pointer, a size, and the FCS (Frame Check Sequence, IEEE 802.3 cyclic redundancy check) field. This is the information that is located at the end of the data frame, after the "useful" data. This makes them almost transparent when analysing network traffic. The sender's packet in both directions has the same sequence number. If a new data packet is sent into the system, the sequence number bit will be incremented by one. The receiver keeps a database of serial numbers and physical addresses of the sources. If a data packet with the same sequence number arrives at the receiver from the same physical address, but from a different network, the receiver simply drop the frame. The node list of the other network is logged in each node, so the error can be easily filtered out. [7]

2.3. HSR (High-availability Seamless Redundancy)

HSR, like PRP, is a redundancy protocol with zero data loss. This protocol can only be used in ring topology. The naming of the communication devices that support redundancy is similar to PRP, except that they are called DANH (Double Attached Node implementing HSR) instead of DANP. Here we are also talking about two independent networks, and the devices are connected in series.



10. Figure Structure of HSR

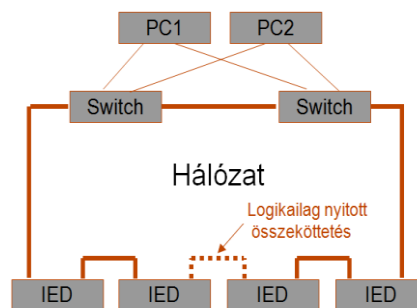
HSR provides a parallel path for the data, i.e. the transmitters send data packets in both directions ("frame A", "frame B"). Data packets sent over two independent networks are received by the receiver through both ports, of course with some delay. If no error occurs, the first data packet is processed and the second data packet is discarded. How the HSR filters duplication has already been discussed in section 3.2.1. In case of any network failure, the other network automatically transmits the data to the receiver, so the system works continuously without interruption. It is important to think ahead when designing such networks, and to consider the principle of single fallback (N-1). DANH nodes also perform the function of a bridge between their ports in the network.

The advantages of HSR are zero recovery time and a low budget, as it does not require switches and extra cabling. Unfortunately, this method of solution has more negatives. It can only be used in a ring topology, because the IEDs and their ports are an integral part of the network. Special tools are also required, as it does not only contain standard Ethernet-based building blocks. It has a fixed network speed, usually 100 MB/s, but may be slightly higher. The usable bandwidth is reduced to only half of

the full bandwidth due to the parallel data flow. Similar to PRP, we can use "RedBoxes" here, but this is the only way to connect devices that do not support redundancy to the network, we cannot implement them directly into the network. If two or more IEDs fail at the same time, our communication link may be broken, with a high probability that the data packet will not get from the sender to the receiver.

2.4. Application examples with experiences

In recent years, looped Ethernet networks based on the RSTP topology have become increasingly popular. This is probably the most cost-effective solution, as it only provides redundancy of the interconnection between devices. In the event of a failure, it is unlikely, but data loss may occur. The recovery time was around one second when the topology was first developed, but has now been reduced to around 100ms for about 20 devices.



11. Figure Designing a redundant network in practice

If special functions such as lock, enable, disable, release commands are used in the network, in that case it must be ensured that the recovery time is limited to a maximum of 4ms. Well-known multinational companies have now started experimenting with the introduction of PRP and HSR. ABB, and later, after the transformation, Hitachi Energy, use PRP in many projects, with which they guarantee a high level of reliability and availability at substations. Relion series of protection devices support PRP, which enables parallel redundant communication. Relion devices thus ensure that continuous communication is maintained with the control centre and other devices in the event of a network failure. Long-term, intensive testing is ongoing to date at Hitachi Energy's test centre in Switzerland.

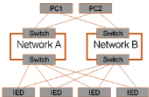
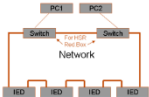
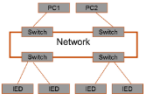


12. Figure Hitachi Energy Swiss test center

Although the configuration requires minimal extra work because redundancy has to be handled at the hardware level.

Conclusions

We can see that the room for improvement is there, it is money that is the limiting factor in building state-of-the-art networks. The table below summarises the advantages and disadvantages of the redundant networks discussed in this thesis:

	IEC 61850		Architektúra		Teljesítmény				
	Megoldás	8-1	9-2	Redundáns hálózat	1 portos IED	Adatvesztés	Helyreállítási idő	Hálózat	Készletelés
	PRP IEC 62439-3	Igen	Igen	Igen	Igen	Nincs	0 ms	Teljes sávszél., rugalmas sebesség	Nincs
	HSR IEC 62439-3	Igen	Igen	Nem	Nem, „RedBox” szükséges	Nincs	0 ms	Fél sávszél., Fix sebesség, 100Mbps	Készletelés minden IED-nél
	RSTP	Igen	Nem	Nem	Igen	Van	átlagosan 100ms (gyűrű 20 csomópont)	Teljes sávszél., rugalmas sebesség	Nincs

As we have already mentioned several times, one of the most common solutions is RSTP, but at the rate at which technology and IT are developing, it could be that after tomorrow we'll be using PRP or HSR as standard, or even some newer, better, faster method.

References:

- [1] C. Haidong et al., "IED modeling based on IEC61850 standard," Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology, Harbin, China, 2011, pp. 2967-2970, doi: 10.1109/EMEIT.2011.6023716.
- [2] Sz. Gábor, ABB Kft MEE szakmai nap előadás, Online, Link: <https://docplayer.hu/8578405-Szaniszlo-gabor-abb-kft-mee-szakmai-nap-eliadas-2010-05-27-az-iec61850-es-szabvany-gyakorlati-alkalmazasa-abb-group-june-1-2010-slide-1.html> [Accessed: 10.10.2024]
- [3] Cs. György, Az IEC61850 szabvány, Online, Available: <https://docplayer.hu/8567355-Az-iec61850-szabvany-csipke-gyorgy-fejlesztomernok-2010-november-17-1.html> [Accessed: 10.10.2024]
- [4] UNIDEB.hu, Feszítőfa protokoll (STP), Online, Available: [srwe:05. fejezet - feszitofa protokoll stp \[Hálózati eszközök programozása\] \(unideb.hu\)](http://srwe:05.fejezet-feszitofa-protokoll-stp[Hálózati eszközök programozása](unideb.hu)) [Accessed: 30.10.2024]
- [5] M. Rentschler and H. Heine, "The Parallel Redundancy Protocol for industrial IP networks," 2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Cape Town, South Africa, 2013, pp. 1404-1409, doi: 10.1109/ICIT.2013.6505877. Shantanu Kumar, S. I. (2015). High Performance Communication Redundancy. 2015 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC).
- [6] S. Kumar, N. Das and S. Islam, "High performance communication redundancy in a digital substation based on IEC 62439-3 with a station bus configuration," 2015 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Wollongong, NSW, Australia, 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/AUPEC.2015.7324838.
- [7] Zsigmond S., Centroszet, Online, Available: https://www.cisa.gov/sites/default/files/202301/RP_Managing_Remote_Access_S508NC.pdf [Accessed: 30.10.2024]

Szimulációs környezetek alkalmazása a gyakorlatorientált villamosmérnök oktatásban

Juhász Gergő, Fazekas Balázs János

Híradástechnika és Infokommunikáció Tanszék, Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Óbudai Egyetem, Bécsi út 96/B, Budapest, 1034, HUN
juhasz.gergo@kvk.uni-obuda.hu, fazekasbalazs5@gmail.com

Absztrakt: A gyakorlatorientált villamosmérnök oktatásban a szimulációs környezetek alkalmazása lehetővé teszi a hallgatók számára, hogy elméleti ismereteiket a gyakorlatban is kipróbálják és fejlesszék. Az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki karán számos szimulációs környezetet és szoftvert alkalmaznak az alap- és mesterképzések kurzusain. Ilyenek például a Matlab, Tina, Ansys, AutoCAD és GNU Radio szoftverek. A szimulációs környezetek alkalmazása a gyakorlatorientált villamosmérnök oktatásban jelentős előnyökkel jár, mivel lehetővé teszi a hallgatók számára a valós világbeli problémák szimulációját és megoldását. Kutatásaim során megvizsgálom a különböző szimulációs környezetek alkalmazásának lehetőségeit az egyes tantárgycsoportokban és képzési területeken, illetve kitérek a szimulációs környezetek alkalmazásának hatékonyságára. Előadásomban bemutatom a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karon jelenleg, az egyes tantárgyak oktatásában előforduló szimulációs és tervező programokat, amelyekről előzetesen kérdőíves felmérést végeztem a Kollégáim körében. Részletesen beszámolok ezen szoftverek előnyeiről és hátrányairól, használhatóságukról, továbbá a kérdőívekről és kiértékelésükről. Ilyen, a tanulást és az oktatást elősegítő szimulációs programokat használunk a Villamosságtan laboratóriumában is. A XXXIX. Kandó Konferencián ismertettem azt a folyamatot, melynek során az F tanterv keretében a másodikból az első félévbe előrehozott Villamosságtan laboratórium méréseit, berendezéseit és tematikáját megújítottam. Az eddigi, kizárólag hagyományos műszeres mérések mellett számítógépes szimulációs programokkal (MatLab és Tina) elvégzendő feladatokat találtam ki. Most – egy másodéves hallgatómmal, Fazekas Balázssal együtt – szeretnénk bemutatni, milyen eredményekkel zárult a megreformált Villamosságtan I. mérés. Ehhez kérdőíveket készítettünk és töltöttünk ki a tavalyi F, illetve a harmadéves É tanterves hallgatókkal. A kapott eredményeket kiértékeljük a felhasznált szimulációs környezetek hatékonyságáról, továbbá meghatároztuk a jövőbeli fejlesztési lehetőségeket, amelyeket előadásunkban ismertetni fogunk.

Kulcsszavak: szimulációs környezet, innovatív oktatás, villamosmérnök képzés, villamosságtan

1 Szimulációs környezetek és jelentőségük

1.1 Szimulációs környezetek fogalma

A szimulációs környezetek olyan számítógépes programok, amelyek lehetővé teszik számunkra, hogy egy adott problémát vagy jelenséget virtuális térben leképezzünk és manipulációkat végezzünk rajta. A számítástechnika fejlődésének eredményeként a szimulációs programok rendkívül sokrétűvé és nagy kapacitásúvá váltak, így képesek összetett jelenségek és folyamatok valósághű leképezésére. Ezekkel az eszközökkel a felhasználók különféle számításokat végezhetnek, modellezhetnek, továbbá elemzéseket és statisztikákat készíthetnek rövid idő alatt, kis energiabefektetéssel. A szimulációk elvégzése után az eredmény sokféle lehet: adatok, virtuális modellek, de akár kézzelfogható tárgyak is, amennyiben valamilyen perifériát (nyomtató, 3D nyomtató, CNC maró) alkalmazunk. A számítási folyamat közben lehetőségünk van a paraméterek dinamikus módosítására, és új parancsok kiadására.

Ezen szoftverek működését az alábbi folyamatábra modellezi:



1. ábra

Szimulációs szoftverek működésének folyamatábrája
 Forrás: saját szerkesztés

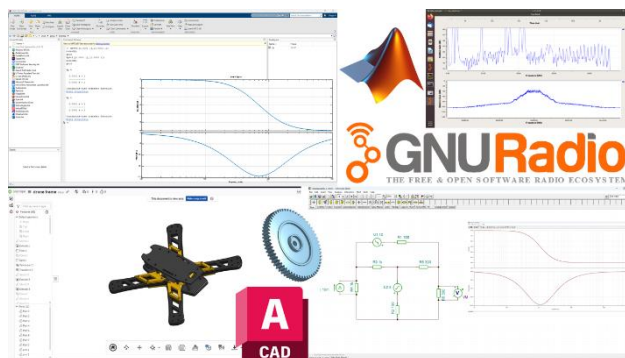
1.2 Szimulációs környezetek jelentősége az oktatásban

A szimulációs környezetek alkalmazása számos előnnyel jár mind az oktatásban, mind pedig az iparban. Fontos megemlíteni, hogy az Ipar 4.0, illetve az IoT (Internet of Things) egyik legfőbb alappilléretek képezik ezek a programok, illetve használatuk és beágyazásuk a gyártási folyamatokba. A legfontosabb előnyük egyértelműen a bonyolult problémák egyszerűbb és költséghatékonyabb megoldása. Egy szimulációs szoftverrel végzett adatfeldolgozás sokkal gyorsabb és effektívebb lehet, mint a hagyományos, papíron végzett számítások. A digitális környezetben egyszerűen módosíthatók a paraméterek, akár számítás közben is, illetve lehetőséget kapunk a problémák többoldali megközelítésére. [1]

A szoftverek integrációja a különféle ipari folyamatokba nemcsak a termékfejlesztést gyorsítja, hanem hozzájárul a fenntarthatóbb és innovatívabb jövő kialakításához is, mivel költséghatékony alternatívát jelentenek a valóságban elvégzett kísérletekkel és mérésekkel szemben. Továbbá, a programok egymásba ágyazhatóak, ezért használatukkal olyan jelenségek is modellezhetőek, amikhez nem rendelkezünk kézzel fogható eszközökkel. [2]

Ezen okokból kifolyólag a szimulációs környezetek alkalmazása rohamosan növekvő szerepet kap az oktatásban is, különösen a villamosmérnök képzésben. Ennek oka, hogy az ipar olyan elvárást támaszt az egyetem elvégző, friss diplomás hallgatókkal szemben, mely szerint a modern mérnököknek jól kell ismerniük a szimulációs környezeteket. Ezért az egyetemeknek a 21. században elengedhetetlen feladata, hogy olyan képzést nyújtsanak, amely ennek a követelménynek megfelel, és biztosítja, hogy a hallgatók készség szinten elsajátítsák ezeknek a programoknak a kezelését. [3]

A szimulációs szoftverek bevezetése az oktatásba több előnyt is hordoz. Egyrészt leegyszerűsíti és felgyorsítja az oktatás és a tanulás folyamatát, mivel a programok révén a hallgatók olyan különböző mérési és számítási feladatokat tudnak elvégezni, amelyek máskülönben a valóságban bonyolultak vagy kivitelezhetetlenek lennének. Ezen felül a hallgatóknak olyan feladatok is adhatóak, amelyeket otthon kell elvégezniük a programok segítségével, ezzel megszilárdítva a kurzusokon megszerzett tudást. Az Óbudai Egyetem számos szimulációs szoftverhez rendelkezik licensszel, amelyek révén különféle területeken (áramkörtervezés, infokommunikációs hálózatok, gyártásautomatizálás) kaphatnak a hallgatók innovatív és korszerű tudást. A megszerzett készségek alapvetőek lesznek számukra a kihívásokkal teli villamosmérnöki pályán, ahol egyre több szakterületen kell helytállniuk. [4]



2. ábra

A KVK-n leggyakrabban alkalmazott szoftverek
Forrás: összeállította a szerző

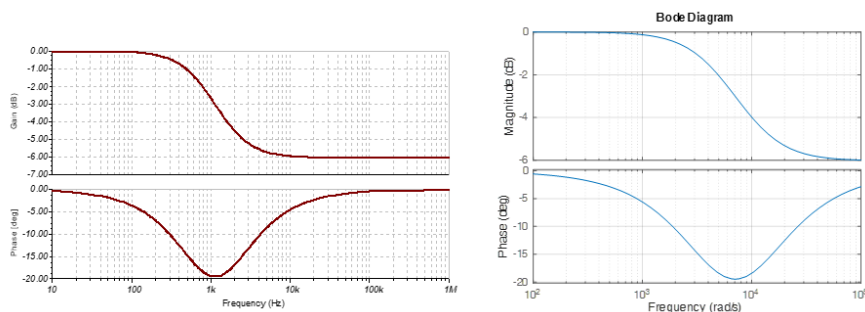
2 Szimulációs szoftverek bevezetése a Villamosságtan laboratóriumban

2.1 Alkalmazott szoftverek és hasznuk

A fentebb leírtak figyelembevételével került bevezetésre 2023. őszétől a szimulációs környezetek használata és oktatása az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karának Villamosságtan laboratóriumában, ami egy megújulási folyamat egyik alappillére volt. Az új F tanterv értelmében a hallgatóknak az első félévben, az elméleti tananyaggal párhuzamosan kell 5 mérést teljesíteniük, ezáltal szükségessé vált a régi mérések és az útmutatók, illetve a tananyag teljes átdolgozása. Ezek mellett került sor a tanterem teljeskörű felújítására, illetve a műszerek modernizációjára és a PC-k beszerzésére.

A számítógépeket eredetileg csak jegyzőkönyv írásra, illetve a Moodle oldal elérésére szerettük volna igénybe venni, viszont a korral haladva bevezettük a modern szimulációs méréseket a régi analógokkal párhuzamosan, ezzel jelentős előrelépést téve a korszerű, gyakorlatorientált oktatásban. Az új szimulációs szoftverek alkalmazásával a hallgatóknak lehetőségük van arra, hogy számítógépes programok segítségével is lemérjék az áramköröket, és a kapott eredményeket összehasonlítsák és kiértékeljék. [5]

Az áramkörök működését a TINA szimulációs szoftverrel modellezhetik, míg a MatLab segíti a hallgatókat a matematikai műveletek és a grafikus ábrázolások elvégzésében, amely fontos szerepet játszik az eredmények kiértékelésében. Továbbá mindkét program lehetőséget nyújt a hallgatóknak arra is, hogy használatukkal akár otthon is gyakoroljanak és saját projektjeiken dolgozzanak, ezzel fejlesztve a problémaközpontú tanulást. [6]



3. ábra

A méréseken Tinában és MatLab-ban ábrázolt Bode-diagramok

Forrás: saját szerkesztés

2.2 Hallgatói kérdőívek és értékelésük

Az F tanterves hallgatók első szemeszterének végén kérdőíves felmérést végeztünk a hallgatói elégedettség mérésére, melynek az volt a célja, hogy megtudjuk, mennyire volt célravezető a laboratóriumi környezet megújítása, illetve a szimulációs szoftverek használatának bevezetése. Továbbá, javaslatokat vártunk a hallgatóktól további fejlesztésekre és javításokra. Ehhez a Google Forms rendszerét alkalmaztuk, amely átlátható platformmal rendelkezik, ezzel elősegítve a kapott válaszok gyors és szemléletes kiértékelését. A kérdőívben egyaránt alkalmaztunk 1-5-ig skálán pontozást különböző szempontok szerint, illetve kifejtendő kérdéseket. A konklúziók levonásához szükségünk volt viszonyítási alapra, ezért a formulát az előző, É tanterves hallgatókkal is kitöltöttük. [7]

2.2.1 Az É tanterves hallgatók válaszai

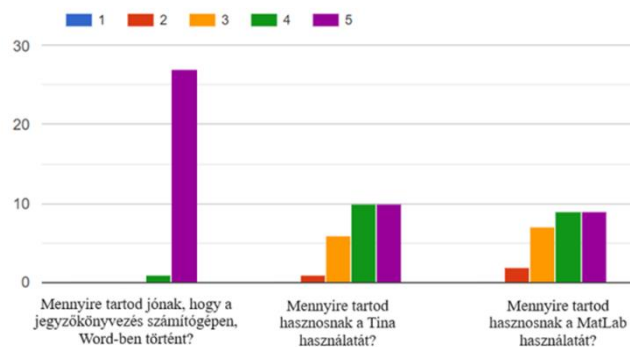
A hallgatók körében számos probléma merült fel a mérések kapcsán. Bár a szükséges műszerek rendelkezésre álltak, azokat elavultnak ítélték. Kiemelték a segédanyagok hiányát, valamint az elektronikus jegyzőkönyvezés bevezetésének szükségességét. A szimulációs mérésekre tett javaslat vegyes fogadtatásban részesült: egyes hallgatók hasznosnak, míg mások felesleges időhúzásnak ítélték azokat. Továbbá többen javasolták az óraszám növelését, illetve az elméleti és gyakorlati tananyag együtt futását.

2.2.2 Az F tanterves hallgatók válaszai

A megújult Villamosságtan mérések az F tanterves hallgatók körében számos pozitív változást eredményeztek, például kiemelték az elméleti órák és a laborgyakorlatok párhuzamosságának az előnyét. A műszerekkel kapcsolatban lényegesen kevesebb panasz érkezett, mint korábban, továbbá az elektronikus jegyzőkönyvezést is pozitívan fogadták. Az elkészült segédanyagok hatékonyak bizonyultak, viszont igényüket fejezték ki további, főként audiovizuális tananyagokra. A valós műszeres és a szimulációs mérések együttes alkalmazása előnyösnek bizonyult, főként az önellenőrzés szempontjából.

2.2.3 A kérdőív konklúziója

A megújult Villamosságtan mérések sikeresen hozzájárultak az elégedettség növeléséhez. Az eredmények alapján szükség van még a jövőben további segédanyagok elkészítésére, különös tekintettel videókra a mérésekről. Továbbá, javasolt az óraszám megnövelése, illetve további szimulációs környezetek bevezetése.



4. ábra

Részlet a hallgatói kérdőívből

Forrás: saját szerkesztés

3 Kérdőív a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karon alkalmazott szimulációs környezetekről

3.1 A kérdőív

Az előzőekben szerzett tapasztaltokból és visszajelzésekből levontam a konklúziót, és arra a következtetésre jutottam, hogy érdemes lenne ezt a kutatásomat a teljes Karra kiterjeszteni, és egy globális képet összeállítani arról, hogy a villamosmérnök oktatáshoz jelenleg mely szoftvereket alkalmazzák aktívan az oktató Kollégák. Ebben főként az motivált engem, hogy további ötleteket és javaslatokat szerezzek arról, hogy a jövőben még milyen programok használatával tudnám kibővíteni az oktatói munkám spektrumát. Továbbá a célom az, hogy a kutatásom során szerzett eredményeket és adatokat széles körben elterjesszem a Karon, ezzel is elősegítve a problémaközpontú villamosmérnök oktatás fejlődését.

Ehhez egy kérdőívet készítettem, amelynek kitöltésében a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karon oktató kollégák közreműködését kértem. A kérdőívet a Google Forms felületén állítottam össze még 2024. nyarán. A célom pedig az volt, hogy feltérképezzem, hogy a villamosmérnök hallgatók tanításában milyen szimulációs szoftvereket használnak az oktatók az egyetemi laboratóriumokban, és ezeket a szoftvereket milyen tantárgyakhoz, évfolyamokhoz és konkrét feladatokhoz kötik. A kérdőív maximum 3 darab program feltüntetését tette lehetővé kollégáinként. [8][9]

A kérdőív a következő főbb pontokra tért ki:

- A szoftver neve: az alkalmazott környezet pontos neve.
- Tantárgyi alkalmazás: mely kurzusokon kerül alkalmazásra?
- Hányadéves hallgatók használják?
- Alkalmazási terület: Milyen típusú tevékenységekre használják a szoftvert (számolás / feladatmegoldás / tervezés / modellezés / ábrázolás)?

3.2 A kapott válaszok összefoglalása

Az előző pont bemutatott kérdőívre számos választ kaptam, amelyeket az alábbi táblázat foglalok össze:

Szoftver neve:	Felhasználása:	Tantárgy:	Évfolyam:
TinkerCAD	Virtuális Arduino programozás	Programozás 2.	2.
TINA	Áramkörszimuláció	Digitális technika, Elektronika, Villamosságtan	1. és 2.
MatLab	Számolás, ábrázolás, jelanalízis, rendszerek szimulálása	Infokommunikáció, Jelanalízis, Automatika, Matematika, Fizika	Mindegyik évfolyam
Neplan	Villamos hálózatok modellezése	Villamos hálózatok számítása és méretezése	MSc-s évfolyamok
Picoscope	Oscilloszkóp szimulációja	Kapcsolástechnika	-
Wireshark	Hálózati protokollok és átvitel tanulmányozása	Híradástechnika, Infokommunikáció	2. és 3.
LabVIEW	Vizualizáció, szimuláció	Jelfeldolgozás 1. és 2.	3. és 4.
wokwiki.com	Áramkörszimuláció	Programozás, Projektmunka	1-3.
LTSpice	Áramköri modellezés	Teljesítményelektronika és elektronikus átalakítók	MSc-s évfolyamok
Eagle	NYÁK tervezés	Elektronikai technológia	2.
CAD szoftverek	Tervezés, ábrázolás, modellezés	Optikai hálózati technológiák, Kapcsolástechnika	3.

MPLAB-X	Mikrokontroller programozás	Digitális jelfeldolgozás, Beágyazott szoftverfejlesztés	3.
---------	-----------------------------	---	----

4 Szoftver – tantárgy mátrix összeállítása

Kutatásom egyik fő mérföldköve az előző fejezetben összegyűjtött és elemzett szoftverekből egy szoftver – tantárgy mátrix összeállítása. Ennek során az F tanterv tantervi táblázatában szereplő alapképzéses kötelező tantárgyakat fogom egy táblázatban összepárosítani azokkal a programokkal, amiket érdemes lehet az oktatásuk során alkalmazni. [10]

Jelenleg egy összekapcsoló táblázatot készítettem (lásd: fentebb), amely a tantárgyakat és a kérdőívben hozzájuk rendelt szoftvereket tartalmazza. A továbbiakban ezt szeretném kibővíteni az alábbi szempontok szerint:

- További kérdőívek készítése, főként a hallgatók körében.
- A hallgatók eredményeinek felmérése, kihangsúlyozva a felhasznált szoftverek hasznát és jelentőségét.
- További szoftverek feltérképezése és használatuk elemzése az oktatásban.

A célom az, hogy az így megszerezett információk birtokában a mátrixot kibővítssem további, eddig nem alkalmazott szoftverekkel, illetve olyan tantárgyakhoz is társítsak szimulációs programokat, amelyeknél eddig nem alkalmazták őket. Az elkészült mátrixot az egyes tantárgyak tárgyfelelőseivel szeretném a jövőben megosztani, ezzel elősegítve a gyakorlatorientált oktatást.

Konklúzió

A kutatásom első lépését végrehajtottam, hogy feltérképezsem a szimulációs szoftverek szerepét és hatását a gyakorlatorientált villamosmérnök oktatásban a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karon. A szimulációs környezetek jelentős mértékben hozzájárulnak a hallgatók tudásának elmélyítéséhez és gyakorlati készségeik fejlesztéséhez. A kutatás során elkészített kérdőív segítségével adatokat gyűjtöttem az oktatók szimulációs szoftverhasználati szokásairól, tantárgyspecifikus alkalmazásairól, valamint az egyes szoftverek oktatási célú felhasználási területeiről.

A kutatás során összegyűjtött adatok alapján a szimulációs szoftverek oktatásba való integrálása sokszínű és széles körű a Karon. A válaszok rávilágítottak arra, hogy a villamosmérnöki oktatásban ezek a programok nem csupán a számítások elvégzésére szolgálnak, hanem modellezésre, ábrázolásra és áramkörtervezésre is alkalmazzák őket. A válaszadó oktatók egyértelműen kiemelték, hogy a hallgatók könnyebben megértik az elméleti ismereteket, ha azokat szimulációk során sajátíthatják el és próbálhatják ki.

Összességében a kutatás eredményei alátámasztják, hogy a szimulációs környezetek használata jelentős pozitív hatással van a villamosmérnöki oktatásra, és számos lehetőséget biztosít a gyakorlatorientált tanulás támogatására.

Köszönetnyilvánítás

„A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM 2024-2.1.1 KÓDSZÁMÚ EGYETEMI KUTATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.”



Források

- [1] D. Mourtzis, M. Doukas, D. Bernidaki, Simulation in Manufacturing: Review and Challenges, Procedia CIRP, 2014, Pages 213-229, ISSN 2212-8271, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114010634>, 2024. 11. 06.
- [2] Gunal, Murat M., Simulation and the Fourth Industrial Revolution, 2019, Simulation for Industry 4.0 (pp.1-17), DOI: 10.1007/978-3-030-04137-3_1
- [3] Rennie, A. E. W., Lambert, C. G., & Gunawardhana, N., Virtual Laboratories in Undergraduate Science and Engineering Courses: a Systematic Review, 2009–2019 (2020). Education Sciences, 10(10), 291. DOI: 10.3390/educsci10100291.
- [4] Szabó, Csilla Marianna, Bartal, Orsolya, Nagy, Bálint, The Methods and IT-Tools Used in Higher Education Assessed in the Characteristics and Attitude of Gen Z, Acta Polytechnica Hungarica. Vol. 18, No. 1, 2021.
- [5] Sáiz-Manzanares, M.C.; Marticorena-Sánchez, R.; Muñoz-Rujas, N.; Rodríguez-Arribas, S.; Escolar-Llamazares, M.-C.; Alonso-Santander, N.; Martínez-Martín, M.Á.; Mercado-Val, E.I. Teaching and Learning Styles on Moodle: An Analysis of the Effectiveness of Using STEM and Non-STEM Qualifications from a Gender Perspective. Sustainability 2021, 13, 1166. <https://doi.org/10.3390/su13031166>.
- [6] Ellis, R. A., Goodyear, P., Calvo, R. A., & Prosser, M. (2008). Engineering through students' conceptions of and approaches to learning discussions in face-to-face and online contexts. Learning and Instruction, 18(3), 267-282. doi: 10.1016/j.learninstruc.2007.06.001
- [7] M. T. Baross, "5G Mobile Technology in Education," 2023 IEEE 6th International Conference and Workshop Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE), Budapest, Hungary, 2023, pp. 000295-000300, doi: 10.1109/CANDO-EPE60507.2023.10418032.
- [8] Vasantha Raju, Narayanaswamy, N.S., Harinarayana, Online survey tools: A case study of Google Forms, 2016, Scientific, Computational & Information Research Trends in Engineering, GSSS-IETW, Mysore
- [9] M. T. Baross, "Passive Optical Black Box," 2022 IEEE 20th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), Subotica, Serbia, 2022, pp. 163-168, doi: 10.1109/SISY56759.2022.10036261.
- [10] F tanterv, https://kvk.uni-obuda.hu/static/2023/06/17/Villamosmernok_BSC_nappali_F.pdf, 2024. 11. 07.

A LÍTIUM-ION AKKUMULÁTOROK ÖREGEDÉSE

Novothy Ferenc

Az egyre növekvő globális energiaigény miatt fontos, hogy az energiatároló eszközök hosszabb ideig megbízhatóan működjenek anélkül, hogy az akkumulátor kapacitása jelentősen csökkenne.

Mindezek ellenére minden akkumulátor előregedő mechanizmusok során megy keresztül, amelyek korlátozzák élettartamát és ezáltal használatát.

Az öregedési mechanizmus többféle okra vezethető vissza, amelyek számos töltési/ kisütési ciklus következtében a kapacitás folyamatos csökkenéséhez vezetnek. Az alábbiakban az öregedés különféle okait, mechanizmusait mutatjuk be és elemezzük.

A lítium-ion akkumulátor általában többé-kevésbé komoly öregedési folyamaton megy keresztül. Nagyon fontos tényező többek között az úgynevezett SEI képződés (SEI; solid electrolyte interphase), ez egy elektródát védő réteg, amely az elektródából és az elektrolitból származó bomlástermékek hatására jön létre. Ennek a rétegnek a lehető legstabilabbnak és a lítium-ionok számára mégis áteresztőnek kell lennie. Minden töltéskor és kisütéskor azonban vastagodhat vagy vékonyodhat.

Az elektródaanyag-elektrolit rendszerben lévő SEI rugalmasságától és stabilitásától függően az akkumulátor gyorsabban vagy lassabban öregszik

[1] [2]. Egy másik fontos öregedési tényező a lítium-fémleakódás, lítium bevonat „Plating” képződése. A jelenséget például nagy áramcsúcsok vagy túl alacsony kisülési feszültség válthatja ki. A bevonat képződés során a lítium — tű alakú kristályok — ún. dendritek formájában rakódik le az elektródák felületén, amely áthatolhat a szeparátoron és ezáltal (mini) rövidzárlatot okozhat, ami nagy hőfejlődéshez és az akkumulátor gyors öregedéséhez vezet [3] [4].

Ezen túlmenően a lítium reverzibilis tárolása miatt töltésátvitelkor nagy térfogatváltozás következhet be az érintett elektródákon. A folyamat elektródában repedéseket okozhat, ami által az érintkezés fokozatos csökken. Az érintkezési felület csökkenése az aktív anyag elvesztését és így folyamatos kapacitásvesztést jelent. A legfontosabb öregedési mechanizmusokat vázlatosan az 1. ábra mutatja be. Az öregedés okait elvileg két csoportba sorolják ún.: ciklikus öregedésekre és naptári öregedésekre. A ciklikus öregedés az egyik fő oka annak, hogy a Li-ion akkumulátorok ismétlődő töltése és kisütése jelentősen befolyásolja az élettartamot. Minden töltési és kisütési ciklusban kémiai reakciók lépnek fel, amelyek az elektródákban lévő aktív anyagok lebomlására vezetnek. Idővel ez a folyamat csökkenti az akkumulátor kapacitását és növeli az akkumulátorok belső ellenállását [5].

Mint láthattuk az akkumulátorok használatuk közben veszítenek tölthetőségi képességükből, azonban a gond az, hogy nyugalmi állapotban is előregednek – ezt a jelenséget nevezzük naptári öregedésnek. Ebben a szakcikkben az akkumulátorok ciklikus és naptári öregedését vizsgáljuk, ennek okait és hatásait egyaránt feltárjuk, és olyan megoldásokat mutatunk be, amelyek javaslatok az élettartam meghosszabbítására.

Naptári öregedés

Az akkumulátorok naptári öregedését jelentősen befolyásolja, hogy milyen hőmérsékleten és töltési állapotban tárolják. A naptári öregedést az idővel bekövetkező kémiai reakciók okozzák, amelyek még

akkor is bekövetkeznek, ha az akkumulátort egyáltalán nem használják. Ezeket a kémiai reakciókat több tényező is befolyásolhatja:

Fontos befolyásoló tényező a tárolási hőmérséklet. A nagy hőmérséklet kémiai melléreakciókat vált ki, amely az öregedés felgyorsulásához vezethet [6]. Alapszabály, hogy 10 K-es hőmérséklet-emelkedés az öregedési sebesség megkétszereződését eredményezi (2. ábra). Az alacsony hőmérséklet csökkenti a fém diffúzióját, és megváltoztathatja az akkumulátor kémiai állapotát.

Egy másik befolyásoló tényező az akkumulátor tárolása során az akkumulátorcellák töltöttségi állapota (SOC; State of Charge). Az SOC a megfelelő elektródák lítium-ion tartalmát jelenti. A cellák ugyanazon a hőmérsékleten különböző képpen öregsznek, ha az elektródák SOC-je, töltöttségi állapota különböző. Elvileg nagyobb akkumulátorromlás figyelhető meg nagyon magas és nagyon alacsony SOC mellett, lásd a 3. ábrát. Általánosságban elmondható, hogy a nagyon nagy és nagyon kicsi SOC nagy potenciális egyensúlyhiányt okoz az elektród-elektrolit határfelületen, és ezáltal elősegíti a nemkívánatos kémiai melléreakciókat, ami fokozott öregedéshez vezet. A közepes töltöttségi állapot ezért optimális a lítium-ion akkumulátorok számára [7] [8] [9].

Az akkumulátor kémiai állapota is befolyásolja az öregedést, mivel a különböző elektródaanyagok — anyagspecifikus tulajdonságaik miatt — különböző SOC-k esetén eltérően viselkednek, és öregsznek [5] [10] [11].

A naptári öregedés csökkentése

A naptári öregedés csökkentésének módjai közé tartozik az kisebb reakcióképességű és jobb stabilitású anyagok fejlesztése [5].

Például a hűtőrendszerek használata segíthet az akkumulátor hőmérsékletének szabályozásában, és így csökkentheti a naptári öregedését [6].

Fontos intézkedés a nagy töltöttségi szint elkerülése, különösen az olyan eszközök esetében, amelyek gyakran csatlakoznak a hálózathoz, ilyenek például a laptopok is. Ma már számos eszköz energiagazdálkodásában beállítható a maximális töltési szint, ami az eszköz élettartamának meghosszabbodását is jelenti.

A ciklikus öregedés

A ciklikus öregedés arra a folyamatra utal, amelynek során az akkumulátor teljesítménye az ismételt töltési és kisütési folyamatok következtében idővel csökken. A ciklikus öregedést is számos tényező befolyásolja:

Az akkumulátor töltése és kisütése során elektrokémiai reakciók lépnek fel, amelyek kémiai vegyületek képződéséhez vezetnek. Ezek a reakciók azonban nem teljesen reverzibilisek, és fokozatosan visszafordíthatatlan kémiai vegyületek is keletkeznek, amelyek az elektróda anyagának elvesztése miatt csökkentik az akkumulátor kapacitását.

A kisülési mélység (DOD; Depth of Discharge) szintén jelentős hatással van az akkumulátor öregedésére. Az akkumulátor üzemében a jelentős mélykisülési (DOD) érték az akkumulátor teljesítményének elvesztését okozza. Ennek oka elsősorban a pozitív elektróda fogyása és a szeparátor (SEI) — a nagyon magas és nagyon alacsony töltöttségi állapot (SOC) miatti — destabilizációja [12]. Az ürítési mélység hatását a maximális lehetséges ciklusszámmra a 4. ábra mutatja.

A megfelelő töltési és kisütési végfeszültségek betartása és a nagy áramcsúcsok elkerülése szintén kulcsfontosságú. Általános szabály, hogy a megnövelt töltési feszültség és a nagy áramcsúcs jelentős energiatöbbletet vagy energia felszabadítást eredményez az akkumulátorban. Ezek viszont megnövekedett hőmérsékletet okoznak, amely nemkívánatos mellékreakciókat vált ki, és így az akkumulátor további állapotromlását okozzák. A nagy áramok viszont túlfeszültséget okozhatnak, ami elősegíti a lítium fémes lerakódását a negatív elektródán (lásd a degradációs mechanizmusokat). Az akkumulátor teljesítményének és élettartamának biztosításához ezért elengedhetetlen ezen paraméterek precíz szabályozása.

Egy másik tényező az anyagfáradás. A töltési és kisütési ciklusok során különösen az elektródákban lévő elektrokémiai aktív anyagok deformálódhatnak, ami repedésekhez és ezáltal érintkezési veszteségekhez vezet, amely kapacitáscsökkenésben nyilvánul meg [13] [14].

A degradációs mechanizmus

A „Solid elektrolyte interphase” SEI passzíváló réteg keletkezése

Az elektrolitnak az anódpotenciállal szembeni instabilitása miatt az anód felületén kémiai reakció lép fel, amelynek során egy passzíváló réteg képződik, és ez megakadályozza az akkumulátor további degradációját. Ez az úgynevezett SEI, amelyet előbb említettünk, lehet instabil vagy állandóan változó, ami viszont fokozott elektrolitreakciót és ezáltal felgyorsuló kapacitásvesztést eredményez. A lítium-ion akkumulátorok élettartamának és teljesítményének növelése érdekében a SEI képződésének ellenőrzése és funkciójának megértése fontos szempont az akkumulátortechnológiában. Folyamatosak azok a kutatási erőfeszítések, amelyek a SEI réteg kialakulásának és viselkedésének stabilizálására irányulnak, hogy az akkumulátorok élettartama minél hosszabb legyen. Egy grafit elektródán képződő SEI sematikus felépítése az 5. ábrán látható.

Lítium bevonat

Lítium-ion akkumulátorok esetében a töltési folyamat során a lítium fémes lerakódása, az úgynevezett lítium-bevonat „Plating” keletkezhet.

Ez azt jelenti, hogy a lítium-ionok nem vándorolnak vissza a negatív elektródához, hanem fémes formában rakódnak le az elektróda felületén.

Ez a lítium fém hegyes szerkezeteket, úgynevezett dendriteket képezhet, növelve a rövidzárlatok kockázatát és tovább rontva az akkumulátor teljesítményét. A „Plating”, lemezképződést a 6. ábra mutatja vázlatosan, és mellette olvasható kapacitáscsökkenésre gyakorolt hatása. A fémes lerakódás különösen intenzív nagy áram és alacsony hőmérséklet mellett, és gyakran fordul elő olyan elektródaanyagokban, amelyek cellareakciója a lítium fémes lerakódásának feszültséghatárának közelében megy végbe.

A negatív elektródákhoz gyakran használt grafit különösen érzékeny a „Plating” képződésre, bevonatokra, ezért hasznos lehet alternatív anyagok, például lítium-titanát alkalmazása [15].

„Cracking” (Reccsenés)

A „Particle Cracking” részleges repedés elektródákban lévő aktív anyagrészecskék mechanikai igénybevétel miatti megrepedését, megroppanását vagy törését jelenti (7. ábra). Ez különösen akkor fordul elő, amikor a töltési állapot (SOC; State of Charge) megváltozik, aminek következtében az aktív anyag, különösen az anód térfogata változik, és mechanikai feszültséget vált ki. Az aktív anyag térfogatváltozása az aktív anyag kristályszerkezetének nem folyamatos, hanem „ugrásszerű” változása miatt következik be.

A „Particle Cracking” előfordulása a SOC-tól és a kisülési mélység változásától (ΔDOD) függ, amelyben a ciklus zajlik. A mechanikai igénybevétel növekedhet az elektrolit komponensek (dendritok) elektródába való behatolásával, de gázképződéssel is, különösen magas hőmérséklet és nagy feszültség esetén. A nagy mechanikai terhelés mechanikai feszültségeket okoz az aktív anyagban, és ennek következtében hozzájárul a repedések kialakulásához és terjedéséhez, ami viszont az aktív anyag csökkenéséhez, elvesztéséhez, és ennek következtében kapacitásvesztéshez és a szilárd elektrolit interfázis (SEI) átalakulásához vezet [13] [16].

A ciklikus öregedés csökkentése

Bár a ciklusos öregedés elkerülhetetlen folyamat, vannak módok az akkumulátorok élettartamának meghosszabbítására.

Ez megtehető például a töltési folyamat optimalizálásával. Ez azt jelenti, hogy különösen a túltöltést vagy a mélykisülést —az irreverzibilis kémiai vegyületek képződésének csökkentése érdekében — el kell kerülni.

Az új fejlesztésű anyagok használata a cellareakció reverzibilitását (visszafordíthatóságát) is javíthatja, és így lassíthatja az öregedési folyamatot.

Az öregedés mértékének megállapítása

Ellenőrző vizsgálat (Check-up-Tests)

Az akkumulátorok öregedésének megértéséhez és számszerűsítéséhez általában ellenőrző vizsgálatokat (Check-up-Tests) végeznek. Ezen vizsgálatok eredményeit a paraméterek azonosítására az akkumulátor paraméterek számszerű értékeinek mérésére használják, mint például a kapacitás, a belső ellenállás és egyéb teljesítménymutatók. A Check-up-Tests-be tartozik például az önkisülés mértéke, a ciklusszám szerinti élettartam és a hőtermelés meghatározása is.

Kapacitásmérés

Az akkumulátor kapacitása alapvető paraméter, amely jelzi, hogy mennyi energiát képes tárolni. A kapacitásmérés általában úgy zajlik, hogy az akkumulátort meghatározott feszültségre feltöltik, majd állandó terhelés mellett kisütik, miközben mérik a kinyert energiát. A kapacitás idővel történő csökkenése anyagromlást és egyéb öregedési mechanizmusokat jelezhet. A kapacitásmérések a töltési hatékonyság és a teljesítőképesség értékelésére is használhatók.

A belső ellenállás mérése

Az akkumulátor belső ellenállása fontos mutatója teljesítőképességének és öregedésének. A nagyobb belső ellenállás megnövekedett veszteséget és csökkent reakcióképeséget jelez. A belső ellenállás mérése úgy történik, hogy ismert áramot vezetünk az akkumulátorba, és mérjük a feszültségeséseket. A belső ellenállás időbeli növekedése az elektrokémiai rendszer változásait, az aktív anyagok csökkenését vagy más öregedési mechanizmust is jelezhet.

Elektrokémiai impedanciaspektroszkópia (EIS)

Az elektrokémiai impedanciaspektroszkópia az akkumulátorok jellemzésére és elektrokémiai tulajdonságaik meghatározására szolgáló módszer. Az akkumulátorra szinuszos váltakozó feszültséget vagy áramot kapcsolva, és a frekvenciától függő impedanciát mérve kaphatunk információkat a töltésátvitelről, az elektrokémiai reakciókról és -hatásokról. Az EIS lehetővé teszi olyan összetett akkumulátorparaméterek meghatározását, mint a töltésátviteli ellenállás, a kétrétegű kapacitások és a diffúziós folyamatok [17] (8. ábra).

További paraméterek identifikálása

A Check-up-Tests (ellenőrző tesztek) a kapacitáson és a belső ellenálláson kívül más fontos paraméterek azonosítására is használhatók.

A méréseket kombinálva részletes információk nyerhetők az akkumulátor állapotáról és öregedési mechanizmusairól.

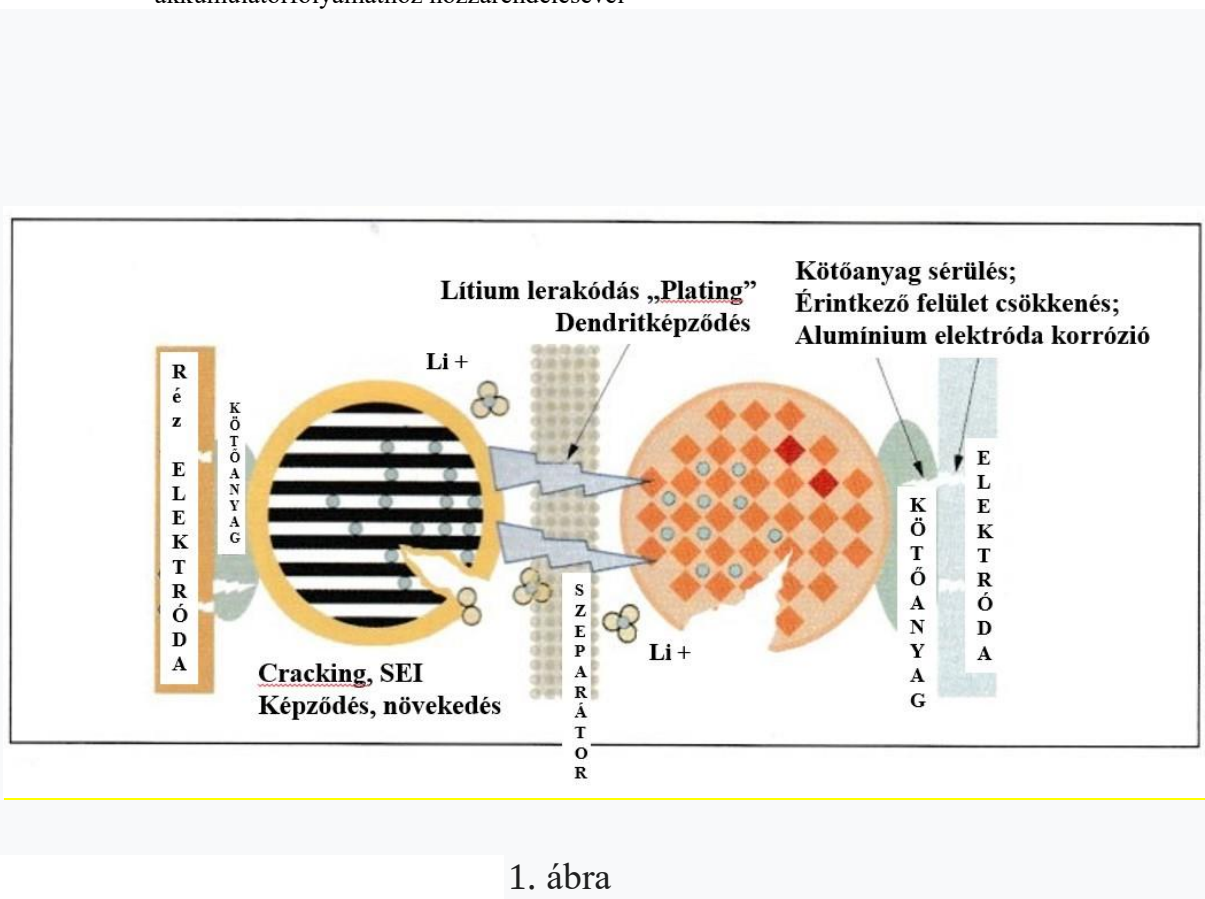
- [1] Kabir, M. M.; Demirocak, D. E.: Degradation Mechanisms in Lithium-Ion Battery: A State-of-the-Art Review. International Journal of Energy Research. John Wiley and Sons Ltd. November 1, 2017, pp. 1963-1986
- [2] Laresgoiti, I.; Käbitz, S.; Ecker, M.; Sauer, D. U.: Modeling Mechanism Degradation in Lithium Ion Batteries during Cycling: Solid Interphase Fracture. J Power Sources 2015, 300, 112-122.
- [3] Lin, X.; Khosravinia, K.; Li, J.; Lu, W.: Lithium Plating Mechanism, Detection and Mitigation in Lithium-Ion Batteries. Progress in Energy and Combustion Science. Elsevier Ltd. November 1, 2021
- [4] Liu, Q.; Du, C.; Shen, B.; Zuo, P.; Cheng, X.; Ma, Y.; Yin, G.; Gao, Y.: Understanding Undesirable Anode Lithium Plating Issues in Lithium-Ion Batteries. RSC Adv 2016, 6 (91), 88683-88700.
- [5] Palacin, M. R.: Understanding Ageing in Li-Ion-Batteries – a Chemical Issue.
- [6] Maures, M.; Zhang, Y.; Martin, C.; Delétage, J. Y.; Vinassa, J. M.; Briat O.: Impact of Temperature on Calendar Ageing of Lithium-Ion Battery Using Incremental Capacity Analysis. Microelectronics Reliability 2019, 100-101.
- [7] Liu, K.; Ashwin, T. R.; Hu, X.; Lucu, M.; Widanage, W. D.: An Evaluation Study of Different Modelling Techniques for Calendar Ageing Prediction of Lithium-Ion Batteries. Renewable and Sustainable Energy Review 2020, 131.
- [8] Barré, A.; Deguilhem, B.; Grolleau, S.; Gérard, M.; Suard, F.; Riu, D.: A Review on Lithium-Ion Battery Aging Mechanisms and Estimations for Automotive Applications. Journal of Power Sources. 2013, pp 680-689.
- [9] Keil, P.; Schuster, S. F.; Wilhelm, J.; Travi, J.; Hauser, A.; Karl, R. C.; Jossen, A.: Calendar Aging of Lithium-Ion Batteries. J Electrochem SOC 2016, 163 (9), A1872-A1880.
- [10] Dubarry, M.; Qin, N.; Brooker, P.: Calendar Aging of Commercial Li-Ion Cells of Different Chemistries – A Review. Current Opinion in Electrochemistry. Elsevier B. V. June 1, 2018, pp 106-113.
- [11] Eddahech, A.; Briat, O.; Vinassa, J. M.: Performance Comparison of Four Lithium-Ion Battery Technologies under Calendar Aging. Energy 2015, 84, 542-550.
- [12] Wikner, E.; Björklund, E.; Fridner, J.; Brandell, D.; Thiringer, T.: How the Utilised SOC Window in Commercial Li-Ion Pouch Cells Influence Battery Aging. Journal of Power Sources Advances 2021, 8.
- [13] Dudézert, C.; Reynier, Y.; Duffault, J. M.; Franger, S.: Fatigue Damage Approach Applied to Li-Ion Battery Ageing Characterization. Materials Science and Engineering: B 2016, 213, 177-189.
- [14] Yan, P.; Zheng, J.; Gu, M.; Xiao, J.; Zhang, J.-G.; Wang, C.-M.: Interganular cracking as a critical barrier for high voltage usage of layer-structured cathode for lithium-ion batteries: Nature Communications volume 8, Article number: 14101 (2017)

Cite this Article.

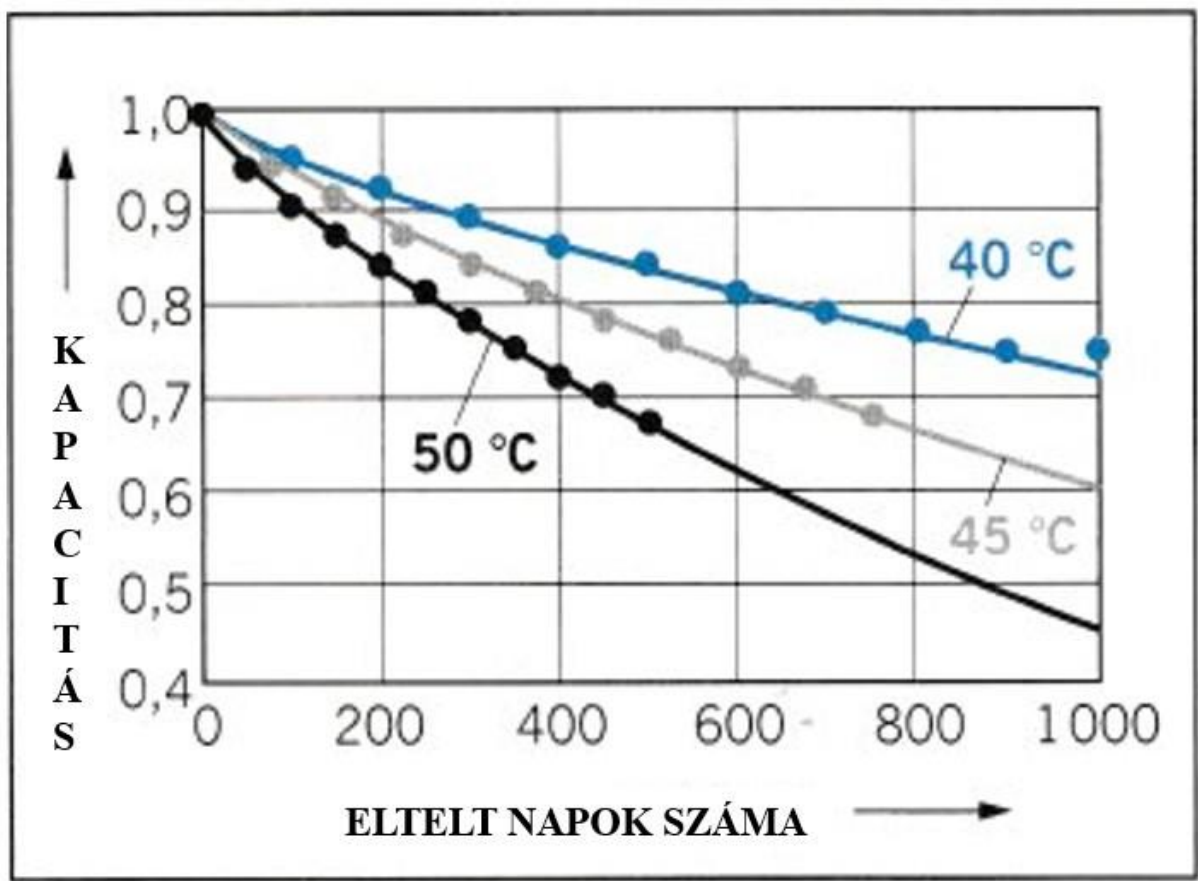
- [15] <https://doi.org/10.2016/j.elecom.2023.107588>
- [16] Kowal, J.: Alterung von Lithium-Ionen-Batterien: Elektropraktiker, Berlin 78 (2024) 3, 34-37.
- [17] Goldammer, M. S.E.; Kowal, J.: Investigation of Degradation Mechanisms in Lithium-Ion Batteries by Incremental Open-Circuit-Voltage Characterization and Impedance Spectra. In 2102 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2020 – Proceedings; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020.

Ábrafeliratok:

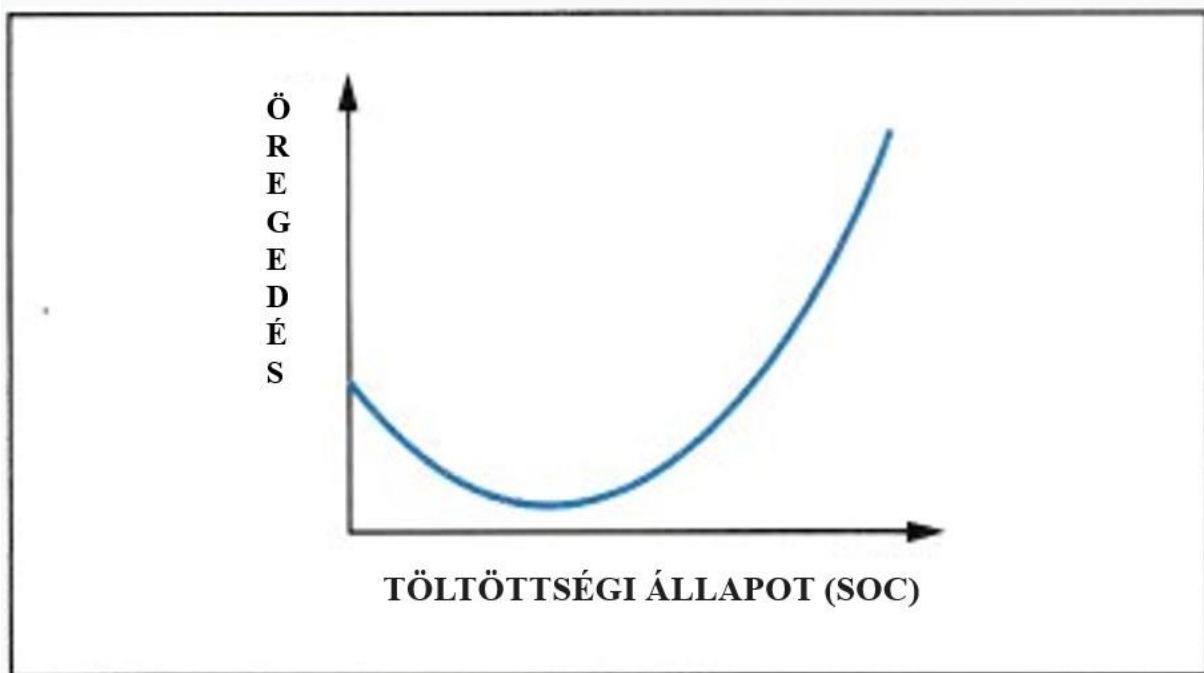
1. ábra. Öregedési mechanizmusok illusztrálása
2. ábra. Az akkumulátor relatív kapacitáscsökkenése az idő függvényében, ha hőmérséklete 40 °C, 45 °C és 50 °C
3. ábra. Az akkumulátorcella öregedési sebességének sematikus ábrázolása a töltöttségi állapottól függően
4. ábra. Sematikus példa a ciklusszám kisülési mélységtől függésére (DOD; Depth of Discharge)
A ciklusok maximális száma a töltési állapot ciklusonként bekövetkező változásától függ. A töltés kis változtatásai több ciklust tesznek lehetővé, mint a teljes töltési és kisülési ciklusok
5. ábra. Egy passzíváló réteg, az úgynevezett „szilárd elektrolit interfázis” (SEI) sematikus kialakulása grafit-elektródán
6. ábra. „Plating” és „Dendrit” képződés
7. ábra. „Particle Cracking” egy grafit-elektródában
8. ábra. Egy lítium-ion akkumulátorcella diagramjának sematikus ábrázolása az egyes területeknek az akkumulátorfolyamathoz hozzárendelésével



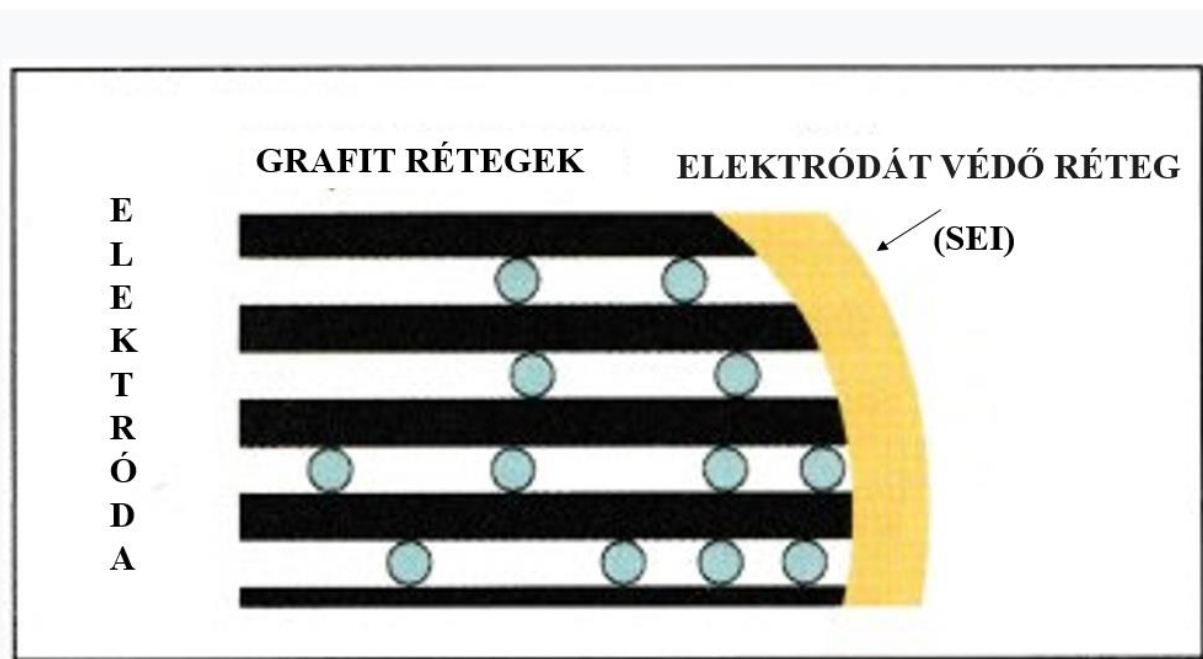
1. ábra



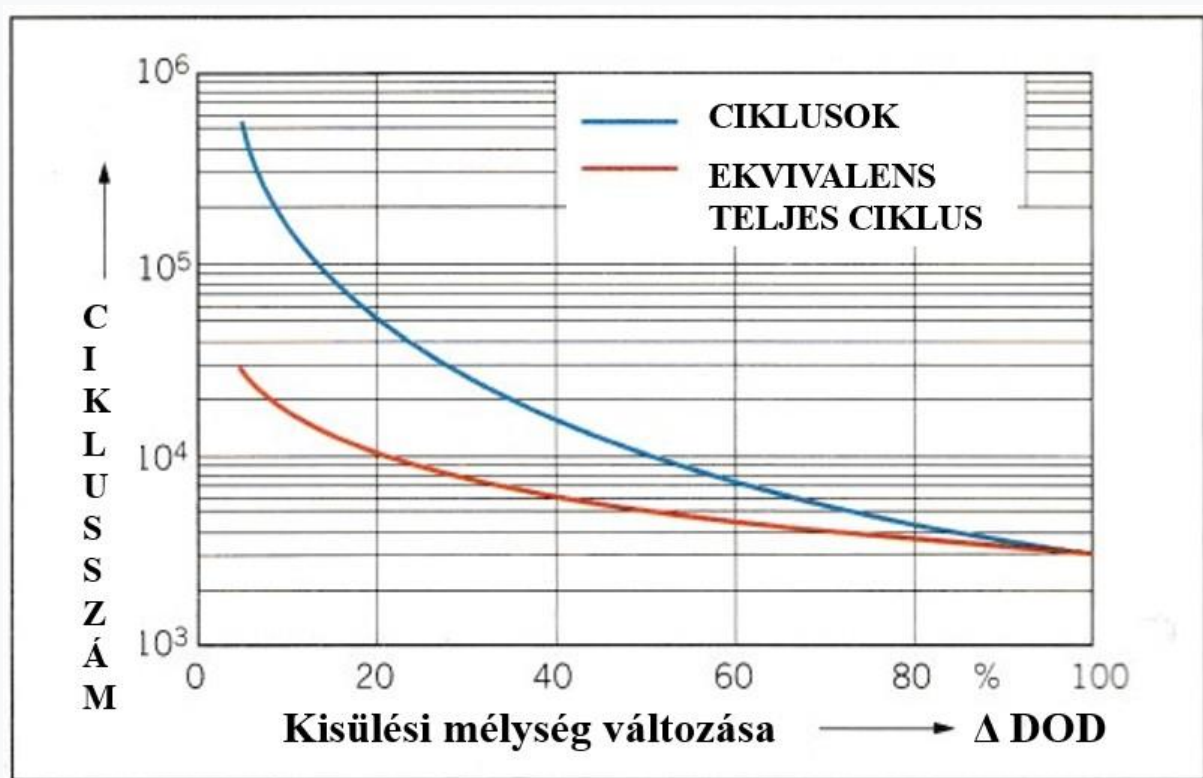
2. ábra



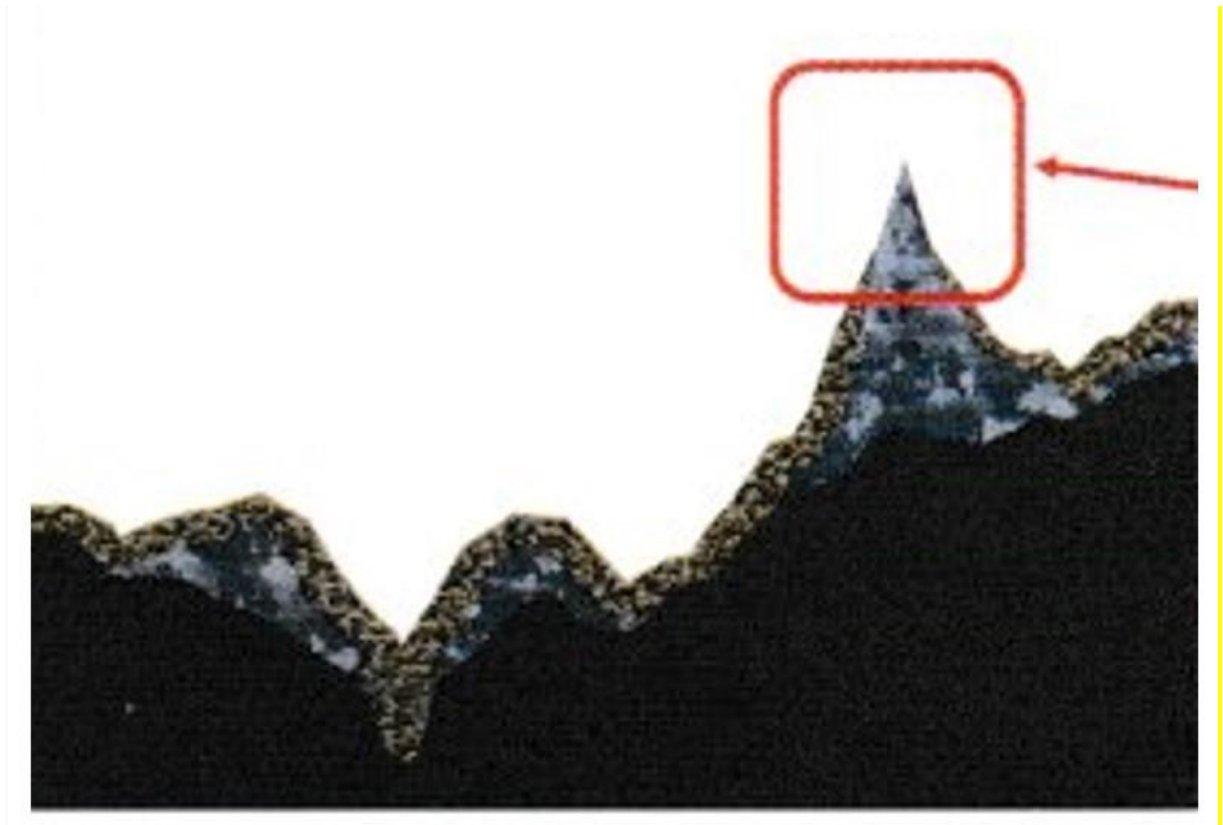
3. ábra



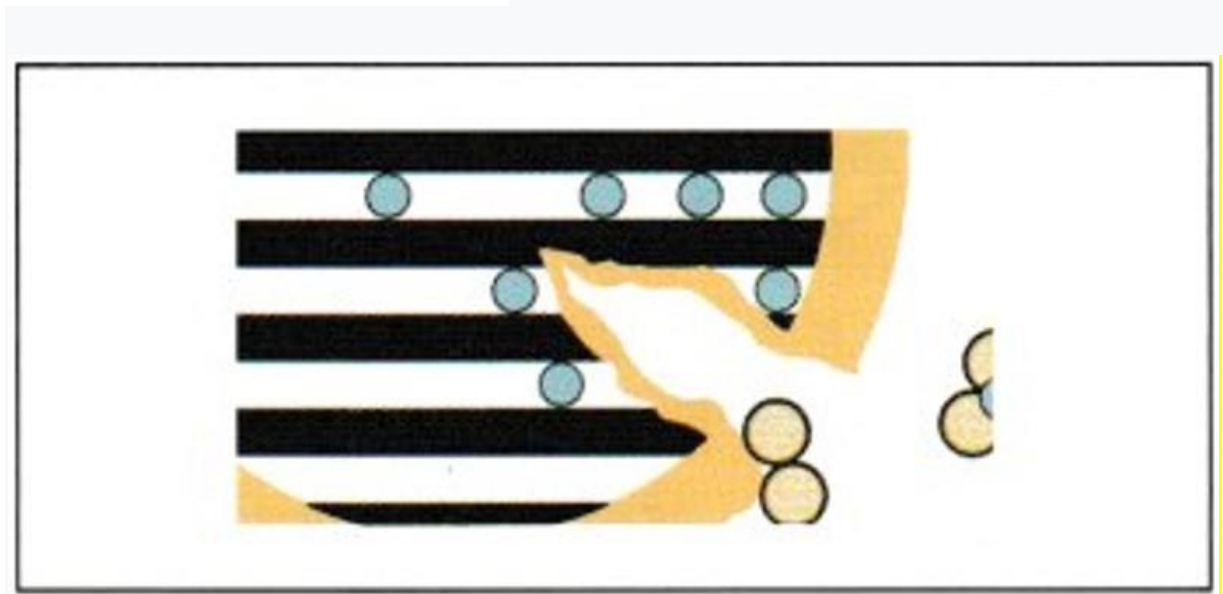
4. ábra



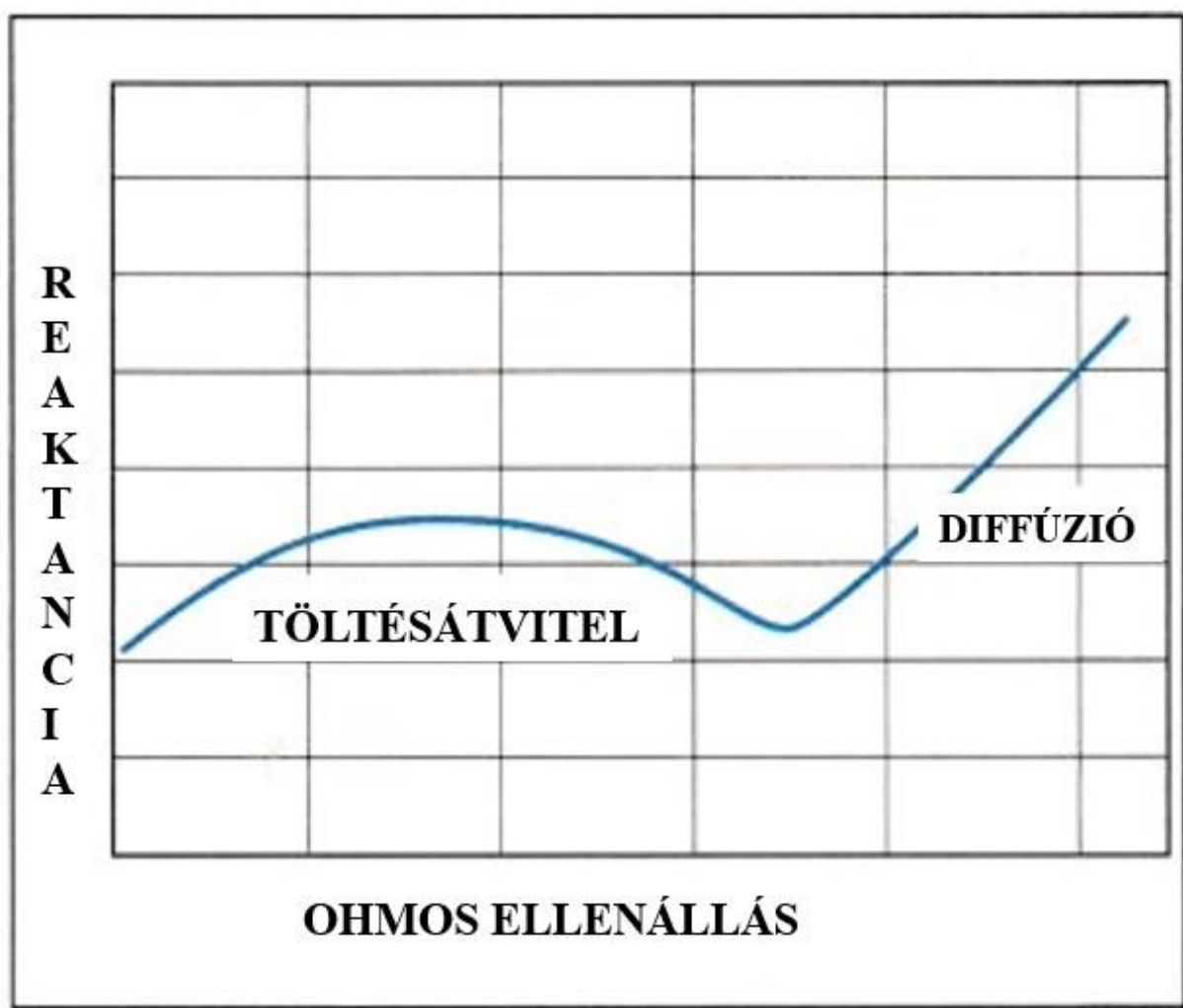
5. ábra



6. ábra



7. ábra



8. ábra

Implementation of intelligent building on KNX bus network

Daniella Dominika Nyika¹ and Tamás Márk Baross²

¹ Óbuda University, Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering, Bécsi út 96/b, H-1034 Budapest, Hungary; nyddaniella@gmail.com

² Óbuda University, Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering, Bécsi út 96/b, H-1034 Budapest, Hungary; baross.mark@kvk.uni-obuda.hu

Abstract: In recent decades, the rapid development of intelligent technologies has opened up new dimensions in many areas of everyday life. Smart devices and IoT (Internet of Things) applications have made it possible for our homes, workplaces and social spaces to become smarter, more energy efficient and more conveniently controlled. In our article, we discuss the spread of smart networks and their deployment options. In the article, we analyse in detail the spread of smart homes and its trend in comparison with our previous 2021 poll and our latest 2024 poll, which already dissects the topic of the spread of smart buildings among the respondents. In our work, we present the construction options that are common in home use, which we can develop in our own image, and I also describe the professional solutions that are less modifiable. Solutions used in smart buildings, which already comply with strict regulations, will also be presented. We also describe the development and areas of use of KNX, one of the most widespread systems used in building automation. Through an example, we describe in detail the network of the room of the smart building we designed, which is specifically tailored to the needs of a modern gym. We selected the lighting and shading control and temperature (HVAC) control system of a gym room, in which system the communications are implemented uniformly via KNX bus.

Keywords: intelligent building, network, communication, automation, KNX bus

1. Introduction of possible solutions

In recent decades, the rapid development of smart technologies has opened up new dimensions in many areas of everyday life. Smart devices and IoT (Internet of Things) applications have made it possible to make our homes, workplaces and community spaces such as gyms smarter and more efficient. In my thesis, I will present a design for a smart grid that is specifically tailored to the needs of a modern gym. The network design involves the design and demonstration of a light, temperature and air quality control system for a room in a potential gym.

My aim is to illustrate how a gym can be made not only more comfortable for the users, but also more environmentally friendly and cost-effective through the use of smart technologies.

I will also address the technical and ethical issues involved in the design and implementation of smart grids, and suggest directions for future developments and extensions.

1.1 Communication network technologies between industrial devices in the lighting control system

For the automation of lighting control, the following network technologies can be used and after a thorough examination of these, I decided to use KNX communication technology.

KNX is an open standard, integrated network communication protocol widely used for building automation, including the automation of lighting systems. Its advantages include wide support and interoperability, compatibility and flexibility between different systems. These features were decisive in the design of the gym room network. [1] [2]

The DALI standard is specifically designed for lighting control. It has the advantage of being able to accurately control and monitor devices, and is easier to install, and configure, not to mention that it is widely supported. In my design, I did not choose DALI as the basis for lighting automation, as it avoided the need to use two different communication protocols within the building, one for lighting and the other for the other automation processes, this type of solution would also mean a large increase in cost in terms of deployment costs and would greatly increase the payback time for this automation investment. [3] [4] [5] [6]

The DMX512 is used to automate lighting in parks, events, festivals, stages and concert halls to a greater extent, and is also suitable for the proper illumination of exhibits in museums. Due to its better integration and reliability, the KNX system is more suitable for the lighting of a gym room and can also be used to automate the whole gym. [7] [8] [9]

The DC (0-10 V) system is suitable for simpler lighting control, but not for complex automation, so it is not an optimal choice for automating the lighting of a gym room, as it is not possible to integrate intelligent devices and sensors, and remote control is not feasible on the DC (0-10 V) system. Moreover, the installation and maintenance of the system is much more complex and complicated, so this solution was not chosen. [10] [11]

1.2 Communication network technologies between industrial devices in a temperature control (HVAC) system

The following network technologies could have been used for the automation of the temperature control and I chose the KNX technology.

Wired communication provides higher transmission speeds and higher reliability and stability than wireless BAS solutions.

KNX is a peer-to-peer communication system in which there is no need to control the central server centrally, as the devices can communicate directly with each other, speeding up the reaction of the devices to each event. [1] [2]

Overall, I chose KNX for the HVAC and shading automation of my gym room because it is sufficiently fast, flexible, interoperable and as I mentioned earlier in my thesis, I wanted to implement the lighting and HVAC automation on a single communication system. [1] [2]

BACnet is a client-server based communication system in which the central server centrally controls the devices. It is mainly used to control the temperature and air quality of HVAC systems in large commercial and industrial environments. It is designed for large systems with excellent integration capabilities and high reliability. It would have been an excellent alternative for me, but an important aspect to be considered was the use of unified communication technology for lighting automation. [1] [2]

Like BACnet, LonWorks is a client-server based communication system in which the central server centrally controls the devices. In terms of use, they are most suitable for temperature and air quality control in automated systems. Since LonWorks is designed for large systems and this technology is not in demand anymore, its use was not the optimal choice for me. [12] [13]

Modbus, like BACnet and LonWorks, is a client-server based communication system in which the central server centrally controls the devices. It is mainly used in industrial automation for simple, non-complex building automation processes where you want to exchange data and perform command and control. The main feature of Modbus is its simple implementation and configurability.

It is also important to note that Modbus devices are typically priced more favourably than their peers. However, for me, this communication technology would not have been the best choice for gym automation. [13] [14] [15] [16] [17]

Wireless BAS solutions offer a number of advantages over wired BAS solutions, such as easier deployment, as there is no need to install cables and connectors in the wall. Another advantage over wired solutions is that the system is more flexible and adaptable, and it is much easier to integrate new devices into an existing system.

Like KNX, Zigbee is a peer-to-peer communication system that does not require central control of a central server, as devices can communicate directly with each other. In terms of application, Zigbee is mainly used in home automation systems, for applications with lower data rates and short ranges. They are also ideal for battery-powered devices as they have low power consumption. They are not the best choice for gym automation, but are an excellent choice for residential home automation. [18] [19]

Similar to Zigbee and KNX, Z-wave is a peer-to-peer communication system that does not require central control of a central server, as devices can communicate directly with each other, increasing reliability and range. It is also similar to Zigbee in terms of its application area, as it is mainly used in small and medium sized residential systems. Their low power consumption also makes them ideal for battery-powered devices.

Devices using Z-wave and Zigbee are typically lower in price, thus reducing deployment costs. Like Zigbee, this communication technology is more suitable for home automation. [20] [21]

Similar to Zigbee, Z-wave and KNX, EnOcean is a peer-to-peer communication system that does not require central control of a central server, as the devices can communicate directly with each other.

EnOcean is optimised for use in buildings. It is suitable for office use where devices are located in a smaller area. It can control lighting wirelessly, as well as HVAC systems, shading and security systems. EnOcean could be a suitable choice, but I opted for wired KNX technology. [22] [23] [24] [25] [26]

2 The Gym room control system

Based on my ideas, I would like to equip the lighting control of the gym room with presence sensors, as these sensors not only detect motion but also static conditions, unlike motion sensors which only have a PIR sensor and therefore only react to motion.

I also want to control the amount of light in the room optimally for better energy efficiency. To change the brightness of the lighting, I need a sensor to measure the amount of light and a motorised shutter system to shade the windows. Shading with blinds also contributes to a more efficient HVAC system.

The following diagram shows the network and communication system of my proposed system.

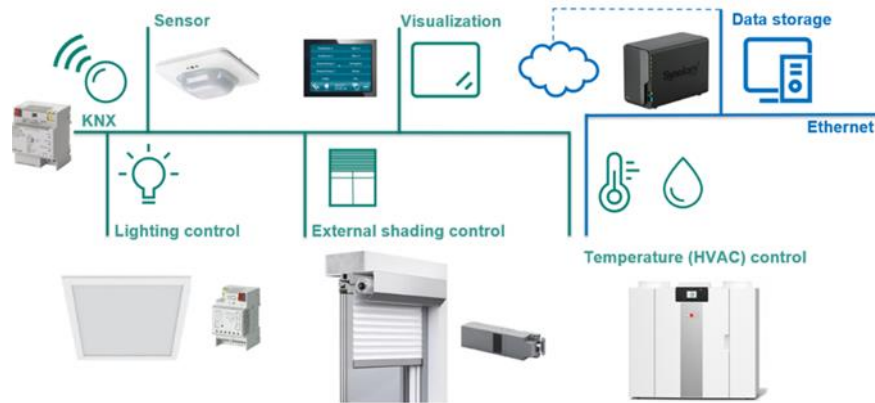


Figure 1

Schematic diagram of the gym room network

Source: My own schematic diagram based on my own idea

As illustrated in the previous figure, the KNX network communicates with the multifunction sensor, the dimmer for lighting control, the actuator for the motorised shutter for shading control, the dashboard for visualisation and the air ventilation system.

The air handling unit communicates with the local server computer via Ethernet, creating an integration point between the KNX network and the Ethernet connection. Cloud-based data storage can be implemented by having the air handling unit send data to the server machine, which in turn sends data to the cloud.

2.1 List of devices used for gym room control

Philips LED dimmable ceiling lamp SCENE SWITCH LED/12W/230V 4000K:

The dimmable ceiling lamp allows you to adjust the intensity of the light as required and to ideally set the colour temperature. In addition, the LED technology makes it energy efficient and long-lasting, so maintenance costs are low. [27]

Siemens universal dimmer N 528/31:

Since the ceiling lamp itself is not able to communicate via KNX, a dimmer capable of communicating via KNX is required to set the desired brightness. [28]

Siemens universal sensor:

I chose the multifunctional passive infrared presence sensor because it communicates via my chosen communication technology, KNX, and is capable of measuring temperature and relative humidity in addition to presence detection.

In addition, the sensor can also measure the amount of light and is equipped with a built-in CO2 sensor and air quality monitor. Other important factors were the ability to be ceiling mounted and to detect movement in 360° of the area, and of course to properly and correctly collect information about its environment.

In the present case, a sensor in the centre of the room is sufficient, as the layout of the gym room is rectangular and therefore clearly visible. [29]

Smart shutter system with Siemens actuator 5WG11184AB01:

I chose to implement the shading technique with the motorised shutter because it not only helps to create the right lighting conditions, but also provides physical protection. It also plays an important role in temperature control.

As motorised shutters cannot be connected to the KNX network, an actuator is required to enable central control of the motorised shutters. [30]

Wolf Comfort domestic ventilation system CWL -2-325:

I chose this ventilation system because of its extremely low power consumption and its heat recovery efficiency of up to 99% due to the counter-current heat recovery. It does this by opening the bypass shutter when the indoor and outdoor temperatures are sufficient and allowing outside air to enter the room by bypassing the heat recovery. It also helps to control the humidity in the room by incorporating a special membrane heat transfer surface, which ensures a perfect separation of fresh and used air, while still allowing moisture transfer between the two air streams. As the unit is equipped not only with a humidity sensor but also with a CO₂ sensor, it is able to control the air quality and filter the fresh air intake through G4 and F7 pollen filters, thus benefiting allergy sufferers. [31] [32]

The Siemens power supply unit device is necessary for the operation of the KNX network. The 29 V DC voltage output and 160 mA current provide enough power to connect the desired devices to the KNX network. [33]

The central control panel (Siemens dashboard UP 588/23) allows the user to control the gym room lighting, temperature and other automations. Changes to the physical touchscreen interface are quickly and easily accessible to users. The dashboard communicates via KNX network. [34]

The NAS DiskStation® DS224+ server was the best choice for me for storing data on the local central server, as it has strong security features. Remote access can also be provided on demand by connecting to the internet. NAS servers have built-in RAID technology, which is a great help in case of hardware failures, as it stores data on multiple drives, so that even in case of unexpected events, the data is safe. It is suitable of giving different users access to data according to their job role. [35]

Data can be transferred to cloud storage via the NAS server. This optional solution allows remote access to the data by the owners. One of the big advantages of this solution is that it allows for lower hardware costs, as it is not necessary to install a local server machine with storage space.

Controlling the amount of light in the gym:

The LED ceiling light is set to the desired values by the dimmer. You can also adjust the desired light levels and lighting scenes via the dashboard. As the chosen device is multifunctional, the light quantity and the scene detection are continuously measured via a sensor. This allows the system to automatically adjust the luminous intensity of the lamp and the amount of external shading by moving the blinds, based on the expected values between 200 lux and 400 lux.

Temperature control in the gym room:

The multifunction room sensor continuously measures and collects data on temperature, humidity and CO₂ levels. According to the preset values, the system controls the room temperature via the heat recovery ventilation system. Of course, the temperature can also be slightly adjusted on the dashboard, for example by up to $\pm 3^{\circ}\text{C}$ in increments of 0.5°C , but within a few hours this

adjustment will be cancelled and the system will control the room temperature based on the original settings, which is 21°C by default in the colder winter season and 23°C in the warmer summer season.

Humidity control in the gym room:

Humidity control is one of the most important aspects as my chosen room is a gym, which is more humid by default. In order to maintain the required humidity of 45-60%, the humidity is controlled by using a multi-function sensor to obtain real-time data on the humidity in the room and the HVAC system automatically controls it according to the range of set values.

Air quality control in the gym:

The CO₂ level in the gym room is measured by the multifunctional sensor and, if necessary, fresh air is blown in through the HVAC system and the maximum 800 ppm value is set, thus improving the air quality in the room.

Central control of the gym room:

The communication of the above listed devices in the boiler room via KNX is ensured by a KNX power supply unit, which supplies the KNX network with the required voltage and current. All environmental parameters can be controlled and monitored in one place on a central dashboard, so I decided to place it in the office for easy accessibility.

The following picture shows my idea of the layout of the rooms in the gym. Upon entry, you reach the reception area, from where guests with active privileges can swipe their cards and proceed to the other rooms and changing rooms. The reception area opens into the office, where only employees have access, and the server room, where only the owner and the IT manager have access.

I plan to place the dashboard in the office and the server machine in the server room.

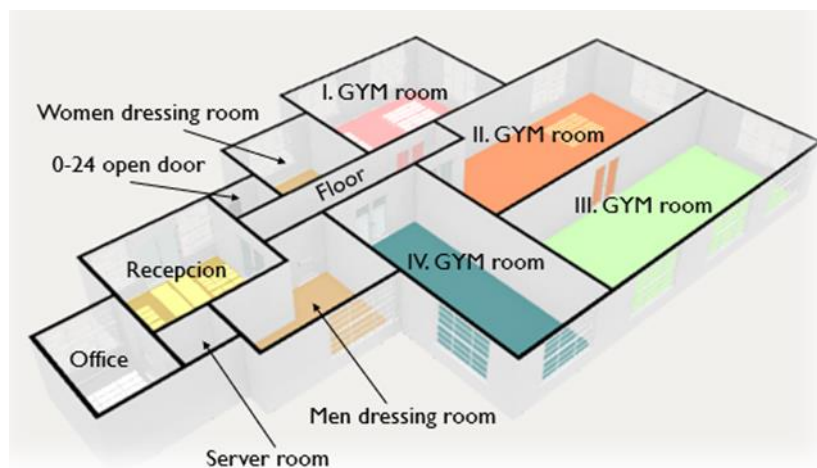


Figure 2

Layout of the gym

Source: My own schematic diagram based on my own idea

The room included in my design is Gym I, which is the room used for cardio training.

3 Opportunities for Development

The first further development option for the smart gym is to equip every room of the gym with the automation capabilities presented so far. As this is a smart gym operating 0-24 hours, it is also necessary to automate the automatic access system and the opening and closing of the lockers.

Security in such a complex is also of high importance, so in the following paragraphs I will describe these solutions, as well as some sustainable and environmentally friendly technologies. Access card readers and even biometric IDs increase the security and efficiency of gyms. The automatic access system allows you to enter the gym outside opening hours when no one is at the reception. You can enter through the side entrance via the facial recognition system, and then through a second door that opens after using the access card. You will then be taken to the corridor, where you will have free access to the changing rooms and the gym.

These automatic systems not only make the gym more comfortable to use, but also significantly increase security, as access is strictly controlled and restricted to authorised persons. With this system, the gym can be open around the clock, allowing members to work out whenever it is convenient for them, without requiring the constant presence of staff. This not only improves the user experience but also reduces labour costs. The opening and closing of lockers can be fully automated and secure thanks to the RFID access cards. As gym members can easily access the lockers, they only need to touch their access card to the right place. Not only does this make use convenient, it also ensures that only authorised persons have quick and easy access to their personal belongings, while also maximising security.

In a smart gym, a range of security systems can be used to protect visitors and equipment, and to restrict access to certain rooms, whether they are server rooms or offices for the owners. Security systems are particularly important in the gym, as the external camera system monitors the gym perimeter and parking areas, while the internal camera system records what happens inside the gym. The alarm system is activated outside opening hours in the reception, office and server room. The CO, smoke and fire alarm system is also an important part of the security measures, but should only be designed by a suitably qualified professional. In addition to these safety-enhancing systems, panic buttons can be installed at various points in the building to provide a rapid emergency alarm and rescue call for occupants. These systems not only increase safety, but also improve the visitor experience, as users know they can play sports in a safe environment.

In a smart gym, energy efficiency systems and solutions are key to sustainable operation and cost-effectiveness. However, the use of renewable energy is also key to a smart and environmentally conscious gym. Energy management systems monitor and optimise energy use, and solar panels on the roof or in the parking area can generate their own renewable energy. Battery energy storage systems efficiently store and release electrical energy, and electric car chargers installed in the parking lot of the smart gym are a great way to further enhance sustainability and increase visitor convenience. These charging stations can even be integrated into an existing energy management system so that the energy generated by the solar panels can be used to charge cars. This solution can further reduce energy consumption and operating costs, while further underlining the gym's commitment to the environment. In this way, the gym not only serves its visitors inside, but also outside, in the car park, with smart and sustainable solutions.

Conclusions

In my article, I explored the extensive possibilities for building a communication network for a smart gym. I focused on the implementation of KNX technology, presenting a detailed design and demonstration of a lighting, temperature, and air quality control system tailored for a possible gym setting. Through this design, I aimed to showcase how smart technologies could enhance user comfort, promote environmental sustainability, and achieve cost-effectiveness.

My analysis delved into the various technical considerations involved in deploying smart grids, highlighting potential challenges and solutions. I also proposed directions for future advancements and expansions in this field. Overall, the article aimed to provide a comprehensive overview of how smart technologies could revolutionize gym environments, making them more efficient and user-friendly.

References:

- [1] Optigo Networks, "What is KNX?" <https://www.optigo.net/what-knx/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [2] Home Auto Techs, "What is the difference between BACnet and KNX?" <https://homeautotechs.com/What-is-the-difference-between-BACnet-and-KNX/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [3] DALI Alliance, "DALI Overview" <https://www.dali-alliance.org/dali/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [4] Wikipedia, "Digital Addressable Lighting Interface" (n.d.) https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Addressable_Lighting_Interface [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [5] Lumos Controls, "DALI Lighting Controls Basics and Beyond" (n.d.) <https://lumoscontrols.com/resources/dali-lighting-controls-basics-and-beyond/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [6] Upward Lighting, "DALI Lighting Control System: The Ultimate Guide" (n.d.) <https://upwardlighting.com/dali-lighting-control-system-the-ultimate-guide/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [7] element14 Community, "DMX Explained: DMX512 and RS-485 Protocol Detail for Lighting Applications" <https://community.element14.com/technologies/open-source-hardware/b/blog/posts/dmx-explained-dmx512-and-rs-485-protocol-detail-for-lighting-applications> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [8] Encore Lighting, "Complete Guide to DMX Lighting Control" <https://encore-lite.com/complete-guide-to-dmx-lighting-control/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [9] The Lighting World, "KNX vs DALI vs DMX Lighting Protocol" <https://www.thelightingworld.com/post/knx-vs-dali-vs-dmx-lighting-protocol> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [10] Wikipedia, "0-10 V lighting control" https://en.wikipedia.org/wiki/0-10_V_lighting_control [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [11] Lutron Electronics Company Inc., "Control type: 0-10V" <https://assets.lutron.com/a/documents/10v.pdf> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [12] HogoNext, "How to Choose the Right Building Automation Protocol (BACnet, KNX, etc)" <https://hgonext.com/how-to-choose-the-right-building-automation-protocol-bacnet-knx-etc/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [13] Optigo Networks, "Which is Better: BACnet, LonWorks, Modbus, or KNX" <https://www.optigo.net/which-better-bacnet-lonworks-modbus-or-knx/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]

-
- [14] Zenatix, "Difference Between BACnet, Modbus, and LonWorks Protocols" <https://www.zenatix.com/difference-between-bacnet-modbus-and-lonworks-protocols/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [15] Setra, "Difference Between BACnet, Modbus, and LonWorks" <https://www.setra.com/blog/what-is-the-difference-between-bacnet-modbus-and-lonworks> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [16] Wikipedia, "Modbus" <https://en.wikipedia.org/wiki/Modbus> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [17] National Instruments, "The Modbus Protocol In-Depth" (2024) <https://www.ni.com/en/shop/seamlessly-connect-to-third-party-devices-and-supervisory-system/the-modbus-protocol-in-depth.html> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [18] Electrical Blog, "KNX vs Zigbee: Battle of Two Home Automation Technologies" <https://www.electrical-blog.com/knx-vs-zigbee-battle-of-two-home-automation-technologies/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [19] ByRetreat, "What is the Difference Between Zigbee and KNX?" (n.d.) <https://byretreat.com/what-is-the-difference-between-zigbee-and-knx/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [20] KNX Hub, "KNX vs Other Building Automation Protocols: A Comparison Guide" (n.d.) <https://www.knxhub.com/knx-vs-other-building-automation-protocols-a-comparison-guide/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [21] Technomatic, "Wired KNX Automation vs Wireless Systems" (n.d.) <https://www.technomatic.co/blog/wired-knx-automation-vs-wireless-systems> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [22] EnOcean Alliance, "Wired vs Wireless Smart Building" (2021) <https://www.enocean-alliance.org/wp-content/uploads/2021/09/Wired-vs-Wireless-Smart-Building.pdf> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [23] EnOcean Alliance, "Comparison Building Automation with and without Wireless: KNX vs EnOcean" (2021) <https://www.enocean-alliance.org/wp-content/uploads/2021/07/Comparison-Building-Automation-with-without-wireless-KNX-vs-EnOcean.pdf> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [24] Pressac Communications, "EnOcean or LoRaWAN: Which IoT Protocol is Right?" <https://www.pressac.com/insights/enocean-or-lorawan-which-iot-protocol-is-right/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [25] EnOcean, "Building Automation Applications" <https://www.enocean.com/en/applications/building-automation/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [26] EnOcean, "Smart Buildings Applications" <https://www.enocean.com/en/applications/building-automation/smart-buildings/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [27] Lámpák.hu, "Philips LED Dimmerelhető Mennyezeti Lámpa Slim Scene Switch LED 12W 230V 4000K" https://www.lampak.hu/philips-led-dimmelhető-mennyezeti-lampa-slim-scene-switch-led-12w-230v-4000k/?gad_source=1 [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [28] Siemens, "Product Catalog: 5WG1528-1AB31" <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?rc=AP&lang=en&module=Catalog&action=ShowProduct&key=5WG1528-1AB31> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [29] Siemens, "Product Catalog: 5WG1258-2DB51" <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=HU&lang=hu&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=5WG1258-2DB51> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [30] Siemens, "Product Catalog: 5WG1118-4AB01" <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?rc=HU&lang=hu&module=Catalog&action=ShowProduct&key=5WG1118-4AB01> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [31] Wolf Magyarország, "CWL-2-2" <https://wolf-hu.eu/termek/cwl-2-2/> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [32] Wolf Magyarország, "CWL-2-325 Szerelési és Kezelési Utasítás" (2020) https://wolf-hu.eu/wp-content/uploads/szerelési_utasitasok/szellozo-berendezesek/CWL-2-325%20szerelési%20A9si%20C3%A9s%20kezel%20C3%A9si%20utas%20C3%ADt%20C3%A1s_7100745_202002.pdf [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]

-
- [33] Siemens, "Product Catalog: 5WG1125-1AB02" <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=HU&lang=hu&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=5WG1125-1AB02> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [34] Siemens, "Product Catalog: 5WG1588-2AB23" <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=HU&lang=hu&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=5WG1588-2AB23> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]
- [35] Synology, "DS224+" <https://www.synology.com/hu-hu/products/DS224+> [Online]. [Date of access: 06. 11. 2024.]

TEACHING ALGORITHMS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION A IN PUBLIC EDUCATION

Author's Name (Oláh Róbert) 12 pt Left

City : Budapest

Email: olah.robert0721@gmail.com

Abstract: The rapid pace of technological development, especially artificial intelligence (AI) its rise fundamentally transforms the content and methods of education. The introduction of the teaching of algorithms into primary and secondary education is increasing becomes more important as they form the foundations of the digital world. The algorithms are based on a series of logical steps that provide a solution to a given problem, critical thinking and structured can help with this to develop problem solving. Algorithmic thinking is not only a in programming, but also useful in many areas of everyday life, since it helps to break down complex problems into simpler parts and is systemic understanding. The application of artificial intelligence in education offers many new opportunities offers, among other things, in terms of teaching algorithms. It is based on AI systems make it possible to tailor learning processes to tests, since they can adapt to the individual needs, pace and interests of students. The Development of adaptive educational platforms using AI algorithms they constantly analyze the students' performance and shape the curriculum difficulty situation. This promotes deeper understanding and your students increasing motivation, as students can progress at a pace that this is the most appropriate.

1 Algorithms

Algorithms are an integral part of our lives, from writing pseudocode activities to finished and tested programs. If we were to define the concept of an algorithm, we could say that an algorithm is a sequence of process activities with conditional branches, cycles and iterations. When we write a program, we first look at the specification, this is the description that tells us what the program must do, i.e. what activities it must perform with the help of the executable environment. The program becomes a program with the help of algorithms, which must also comply with syntactic and semantic rules. The program is primarily designed using a flowchart, which can provide insight into the planned events of the algorithms and the output depending on the input data and operations. Preconditions and postconditions are also important when designing a program. It is necessary to choose a programming language for the given specification (during the program description), with the help of which we will decode, run and test the program. It can be important to refactor the program, which means that the program composition of the coded specification and the improvement of its implementation, which can help the readability of the code, make potentially complicated algorithm operations simpler and clearer, which can lead to easier maintainability.

1.1 Teaching an algorithm

Imagine a classroom where students sit and monitor the current progress of the lesson. The instructor explains the definition of the algorithm and the basic concepts. A flowchart shows the steps in which the instructions are executed in the given program. E.g. In the ordering algorithms programming lesson, we present a specific algorithm to the students, considering the operation of

pseudocode, illustrating it with a flowchart, using presentation and animation, and showing practical examples. We can also use a visual display during the presentations, draw.io also offers this option, which is suitable for drawing flowcharts thanks to the graphical GUI display, or by presenting the given algorithm simulation in the form of a video. E.g. Quicksort sorting algorithm. Students have to solve problems from everyday life, for which they can also write a program. E.g.: application of a graph algorithm to the Königsberg bridges problem. Students work in teams on complex tasks and apply their knowledge. Mentoring was mentioned in the previous point, but in this section I describe the learning methods that, based on my experience, have shown effectiveness in teaching the algorithm. In the first round, the programming items must be taken over with the students, such as counting theorem, decision theorem, maximum and minimum selection theorem. After taking over the programming items, the students understood the program's operation better, I illustrated what I had to say with a graphic diagram, on which they could follow the operation of the algorithm. An important key aspect is the program specification, which describes how the program should work, i.e. what activities it should perform. Eaching the algorithm is not minis a simple task, since students have different abilities. Some people need more time to understand and understand the topic, some people need a shorter time. First of all, write the algorithm or present it to the student with the option of a presentation ppt. During the explanation, let's use an animated presentation of the discussed algorithm. With the help of the visualization, the students will have a visual idea of the operation of the discussed algorithm. During my years of education, I have experienced that we first describe the algorithm's input and output, precondition and post-condition criteria. When we have clarified this with the students, we can continue to write the algorithm on the board, illustrating the operation of the algorithm with animation, and then we give them practical tasks.

Algorithm:

Proceedings

S:=0

Cycle from I=1 to N

S:=S+A(I)

End of cycle

Who: S

End of procedure

Example

```
print('This program calculates your average.')
```

```
print('If you don't want to enter more tickets, write 0!')
```

```
print('-----')
```

```
piece = 0
```

```
amount = 0
```

```
mark = int(input('Enter the first mark: ')) while
mark != 0:
piece = piece + 1 sum =
sum + mark
grade = int(input('Enter the following grade: '))
if piece != 0:
print('Average of your marks: ', amount / piece)
else:
print('You haven't entered a single ticket!')
```

Source:https://sulipy.hu/alapveto_algoritmusok/osszegzes?tab=peldak

Gamification is a playful activity that helps students master the given topic. Playful learning can make learning interesting, almost so that the student learns without noticing, e.g. The english words. Which can be a word duel or a playful word-guessing game in a group format and in the process you learn new words or previously learned words can come to the fore. Another goal is to make the session effective, to make the tasks interesting by putting them in a playful form. During the session, players can feel as if they are being challenged by something that gives meaning to completing the tasks. Goals are important, so it is worth paying attention to the goal points in the given task. The level of the tasks must be defined and prepared according to the age, the load level of the tasks must also be taken into account for the given age group, and last but not least, the reward system must also be established. The student's initial experience of success is an important determinant of the further output, which can encourage the student to continue playing, and in the meantime acquire new knowledge thanks to the given scope of tasks. At the beginning of the game, we involve the student in playful learning, initially with small goals towards big goals. It is recommended to divide a complex end goal into several smaller goals, so that the experiences of success can be denser, which can give the student additional motivation. Until we reach the end goal for the student, it is important to have dynamics and optimally balanced tasks. The so-called flow state appears, which can also be the key to successful experiences, this is present when there is a balance between the teacher and the student in playful learning, in operational activities gamification in the framework of. However, there is also a need for a so-called feedback, i.e. a feedback system, which is both rewarding and punishing, aimed at the student. We have to find the right proportions when creating and applying the task, but especially when assigning it to the students. The player prioritizes learning in the form of gamification, playful activities and the operation of a given value system. There are many educational games with which the student can gain new knowledge, whether it is a simple paper-based (e.g. card) game or an educational software game program. The playful activity is characterized by the use of a points system classified according to certain aspects, which can be used to make learning effective on the part of the student, since presumably, if the student has delved a little into the gamification activities, he can start collecting points and, knowing that, to redeem the points for rewards. This can also give motivation to the student. The other view is that failure is more avoidable for the student, since a poorly completed task does not mean an insufficient grade, here he only receives fewer points if the given part or topic of the task solution is not good. I think the point system is also good because it is possible to track the degree of development in the case of a

given student and the student receives immediate feedback on what he did well and what area or part of the task he should practice. We can introduce not only feedback, but a good example could be the seal you once received in elementary school, which if you did not do well in the task you received a fox, if you did the task well, then you received a bunny seal, which we also collected once. This was in 1984. Some where it was applied, some where not. I don't know about that. One thing is for sure, this acted as a motivating force for me as a former student. If you want to organize a playful programming lesson with an interactive interface, I have revealed the following possibilities. (Gamification in education Kozma, Laszlo 2016)

1.1.1 Application program for students

I have found some famous program which help to improve algorithms thinking. The program can work without a physical robot. With its help, we can introduce the students to robot programming in a playful way in a visual environment, they learn the basic algorithms and test the instructions in a visual environment. Below are some robot simulator diagrams showing the current position of the robot. It can give visual environments under the learn. The webots program is suitable for learning the basics of robotics, and is capable of C++ and Python implementation. I mostly use the Python language in the program, since the Python program is dominant in public education as well and in vocational training there are also programming tasks in the IT industry exam. I also looked at several other programs that are free and prioritized webots. During the running of the program, it was important to have a visual display, trying out the source code program. Considering the costs, it showed efficiency during the teaching of the algorithm, which was also due to the visual display. The program has many virtual sensors that we can use to create our robot project. We use the so-called Open Dynamic engine for simulating the movement of the virtual body and recognizing possible collisions in time, but it also includes light and touch sensors and servo motors.

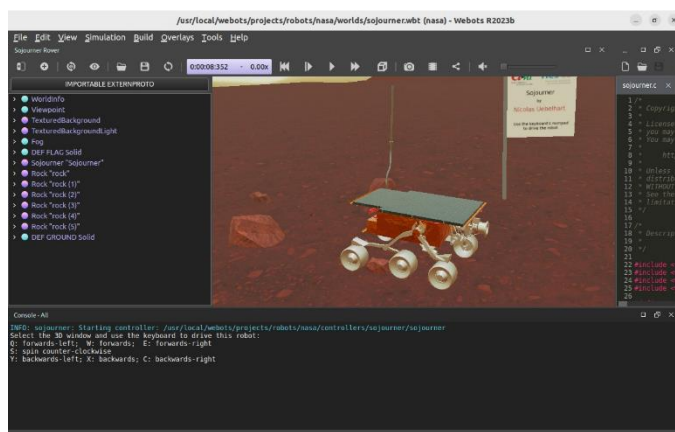


Figure 1 Webots car.

In the next diagram, we see the micromelon vola tracking simulation. The distance between the two points using the formula below.

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Line tracking is one of the standard robot movements, adding complexity to the robot's direction.



Figure 2. Folowline

1.1.2 Competition-based learning

In the case of competition-based learning, students can compare their skill and speed. In the case of an algorithm, they must find the algorithm that is more efficient and faster to solve the given task. This can be in the case of a school house competition or participating in a national competition. Of course, this also requires a preparatory teacher, as the student or students intending to compete need to participate in preparatory sessions held by the competition preparatory teacher. There are many contests available that are advertised in a given period. I would like to present two competition options.

An example is the Wordskills competition.

<https://skillsit.hu/worldskills-hungary/>

WordSkills an opportunity in which the student learns to show his ability, logical thinking, depending on which a solution to a given task can be created.

Competitors can compare their skills in several professions, and most importantly, this is an international competition, where foreign students from more than 60 countries can also participate. The main aspect is the care of talented students and the creation of experience- based tasks for them by the task makers. As far as I know, Skills IT, as a professional partner, organizes selections and preparations in the following three categories:

- IT system operator web
- developer
- software developer

There are many competitions where students can measure their current knowledge, which can help them get an idea of what it's like to be part of a competition, whether we look at it from a programming or system operation point of view. In Hungary, the international competition, which is organized under the name Nemes Tihamér, is in the foreground. The main goal of the competition, so that primary and secondary school students can show their existing knowledge and skills and test themselves in the framework of an international IT competition, which is preceded by a preparation period with the professional support of a preparatory teacher.

The competition consists of three rounds.

Round 1

This is the round of the school competition, from which the winner can go to the regional competition round

Round 2

This is the regional competition round, the best performers can advance to the finals.

Round 3

The best from the regional round can go here, who can take part in the final.

On the occasion of the first round, the contestants' ability to analyze will be needed, the contestants will be given a detail taken from a program, a description of the algorithm, and they will have to put it to the test. The following questions are usually asked:

What will be the result of the program if it were to run? But it may also happen that a certain detail has been cut out of the given algorithm and the competitor has to think about what is missing in order to run the program. Or they receive a program specification in a text version and have to create the algorithm that performs the given task specification. Synthesizer in the second round they have to solve a task, in the form of source code, they have to write a program. In this case, the program checking system only examines the run result, not the written program. The third competition round is similar to the 2nd competition round, only here there is a more complex task and the solutions prepared by the competitors must be entered into an online system. The goal of the competition organizers is obviously to emphasize problem solving, algorithmic thinking and, depending on it, the ability to solve the given task and write programs. Several programming languages are also available, from which the contestant can choose, for example: Python or C# programming language. Participating in and preparing for the above competition takes time, but it can give the student a great experience that will make them more motivated in life. After all, he tested himself in an acute situation, which allowed him to gain experience and routine.

1.1.3 Consultation and mentoring

The consultation can also be an important key role in teaching the algorithm, where it is customary to ask the mentor questions that are not yet clear or only partially understandable to the student. I believe that there is no shame in asking questions, as the answers received during the consultation can be an important point for the student, this plays a key role especially when the consultation is preceded by a thesis or an exam. The consultation does not mean that the course material will be submitted again, but when the student has read the course material but has questions, he can get answers from his teacher. Mentoring in public education can be imagined as following and helping a given student or students throughout the study process. I myself took part in the Teach Hungary course at the University of Óbuda, which helped me gain insight into mentoring work processes. Depending on the field in which he performs this work, the mentor must also have experience that he can pass on to the younger generation. When, in the first round, the mentor and the student meet, it is also an assessment of the mentored student. For example, what kind of studies are you pursuing and where are you currently at, and if so, what future prospects does the mentee have. Students studying at the technical school can have different knowledge levels, which also determine their academic performance. During mentoring, the mentored student receives individual attention,

so it is possible to develop in the given area almost individually. They also receive advice on how to achieve their personal goals in terms of academic life or even career. It is important for the student to have goals, if there are no specific ones goals, then this should be helped in the first instance, so that there is something for him that needs to be defined together. Around the 10th grade, a sectoral exam can be expected for the students in the technical school, where the building of competences must already begin, even in the context of ICT project work. The student can be assured that there is someone to turn to, someone to discuss learning difficulties with, and the mentor can help the mentored student by applying learning methods. This is not only in higher education, but there can also be a mentor program at the level of public education, which I personally experienced during my mentoring work. It was quite a coincidence that I did his mentoring on the topic of algorithms, with students who had difficulty with programming. I helped the students, who formed a group of 6 people, but I also dealt with them separately. In the first round, we reviewed the programming items, such as summary, maximum, minimum, search, decision, which they needed. Henneman-Egbert, 2013)

Mentoring was mentioned in the previous point, but in this section I describe the learning methods that, based on my experience, have shown effectiveness in teaching the algorithm. In the first round, the programming items must be taken over with the students, such as counting theorem, decision theorem, maximum and minimum selection theorem. After taking over the programming items, the students understood the program's operation better, I illustrated what I had to say with a graphic diagram, on which they could follow the operation of the algorithm. An important key aspect is the program specification, which describes how the program should work, i.e. what activities it should perform. Teaching the algorithm is not minis a simple task, since students have different abilities. Some people need more time to understand and understand the topic, some people need a shorter time. First of all, write the algorithm or present it to the student with the option of a presentation ppt. During the explanation, let's use an animated presentation of the discussed algorithm. With the help of the visualization, the students will have a visual idea of the operation of the discussed algorithm. During my years of education, I have experienced that we first describe the algorithm's input and output, precondition and post-condition criteria. When we have clarified this with the students, we can continue to write the algorithm on the board, illustrating the operation of the algorithm with animation, and then we give them practical tasks.

1.1.3.4 Application of artificial intelligence in public education

Artificial intelligence is one of the great achievements of our time, which has become part of our lives. By using artificial technologies, we can participate in a more effective and interactive education, which in this case also supports subjects about programming. It's not about copying the task to the AI and it will solve it in its entirety. The code must be written by the student with the help of the teacher's explanation, if the student participates in a practical class. The use of artificial intelligence can show effectiveness in education during practice, when the student can ask for the help of AI in a task that is difficult for them to solve, e.g. in writing a function. Personalized learning means that it is based on the individual development possibilities of the given student, and can cover the topics that the student needs to develop. After assessing the student's current ability, AI can provide tasks based on the given topic. Let's take it as an example if the given student programming is difficult, then you can give him tasks starting from the easy level, a previously discussed programming topic in detail, e.g. function topic. If the MI considers that the student is doing better in solving the task, then it can issue a more difficult set of tasks for the task to be solved. The student can also check himself during a task he has solved with the AI. But we must know that the AI can only help the student if he is prepared for this and his knowledge base includes the tasks.

In the case of personalized learning for the student, it is advisable to carry out a subject-specific survey for the student, so that we get an idea of his cognitive abilities, which can establish the level of development, but I think it is important to take into account the student's goals and needs. Each student can work at his own pace, completing the assigned task in an individual period of time depending on the given subject. From the survey previously written by the student, we can find out which type of task goes better and which one less. The AI can collect data on the student's actions and the result of the task solution, being aware of this, set the assignment of tasks according to the student's current level and publish examples to illustrate. If MI sees that the student is not doing well with a specific task, it can provide help and clues to solve the task. Presumably, the AI is also capable of solving the task after the student has submitted e.g. the solution of the task of the programming exercise to the AI, the AI reviews and evaluates it, it can also give some explanation for the wrong task, what would have been correct, and it can monitor the student's progress in percentage form.

But what happens when the student feels overwhelmed after a given amount of work?

In this case, the AI's algorithm detects from the student's activity that the student makes a mistake while solving the task, so knowing this, the AI can decide to do practice tasks published for the student, and then after the practice, he conducts a survey again in the form of a percentage, and if the MI judges that the student has already learned the topic and copes well with the obstacles in the practical part, he either assigns a more difficult task or, if he has already assigned it, then move on to a new topic.

1.1.3.5 Application of artificial intelligence in classes and improvement of teacher's work

Artificial intelligence is one of the achievements of our time. Even as an instructor, the current technologies have a noticeable effect, which is developing at a very fast pace, which is why it is worth watching the events. Artificial intelligence can be found in many areas of life. We have to prioritize the instructors in the given class, since they are one of the key players in the class, and the other is the students. Let's look at artificial intelligence as an educational aid that helps in the case of programming students with suggestions during code writing using a chat environment, which offers suggestions on what would be appropriate to include or modify in the existing source code. AI can bring considerable efficiency from the point of view of teacher administration, starting with entering lessons in an automated system based on the existing curriculum, which reduces the administrative workload. The instructor could use the freed time for class preparation or work-related activities. The students' cultural interest is important, and the instructor can build on it. As before, the instructor plans his lesson in advance, prepares the tools, and thinks about the **course of the lesson** during the planning. It is possible to have a system that helps the instructor in his work, e.g. looking for educational resources. The AI is able to assess the student's individual abilities, so it knows what the student is not doing well. It is possible to use artificial intelligence in the classes, which can help in the development of a program in this case. I consider it expedient to present the intended use to the student during the development of a program. In Hungarian public education, the Python programming language is mostly used in programming classes, In Visual Studio development environment. In this development environment, we can apply AI-based programming. AI helps the student to generate code, make function suggestions, by examining the code of an existing program in the current state, it can continue or complete the creation of the program in a given programming language, based on the existing current program code or the specification, or when the student reaches a piece of code that it was solved by someone else before, you can help in understanding it. One of them solve to use AI the Copilot. The copilot can help both the student and the teacher during the development of the program. In the case of a thesis, it may be worth using a plagiarism checker

software, which can show the extent of one's own work in the case of a thesis or exam. Install the copilot in the visual Studio development environment for use.

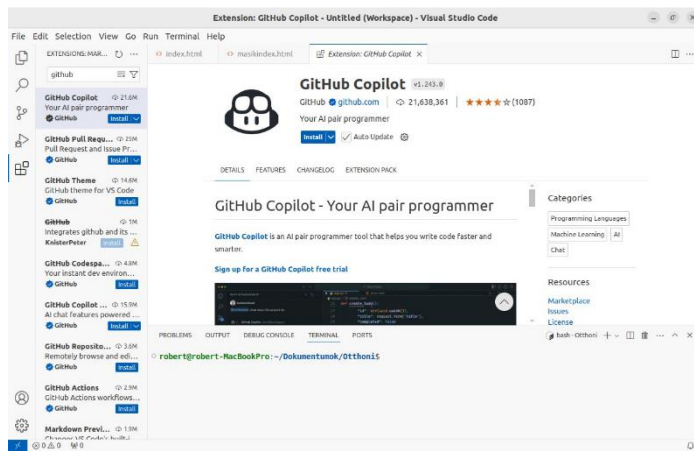


Figure 3 Copilot

After installation, the copilot function becomes available, which can be useful during program development. After installing it in the Visual Studio Code development environment, we can see how it works. We can communicate in a similar environment as the interactive Chat GPT. For example, we create a class called Triangle. Copilot will suggest a function for it, which calculates the perimeter and area of a triangle. The suggestion offered by the AI can be accepted by pressing the tab key.

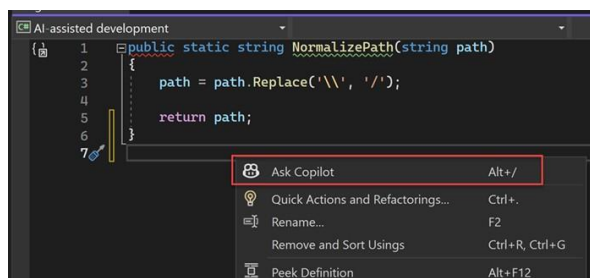


Figure 3 Copilot ask for questions

But we can also use Copilot in other areas, such as digital image processing. We can also subject our program code to refactoring, which means that we improve and adapt our existing code to a version that works more optimally. During AI-based refactoring, AI can offer AI code to our current program that we are currently writing, which, if accepted, will be integrated into the existing source program. When using Copilot, we keep in touch via an interactive chat interface. Writing the program we also use the built-in compiler, which compiles the program we write in a form that the machine can understand.

1.1.3.6 Teaching with artificial intelligence

In the older era, the teacher teaching the given subject prepared for the lesson, used a paper-based textbook, from which he taught, and wrote the current announcements and practical examples on the blackboard with chalk, e.g. in the case of mathematics, they were common and individual problem solutions in class. Depending on the class, some people used the projector to present, as I still do to this day. But there are those who only use blackboard felt or chalk as a writing tool. The sudden onset of the pandemic has significantly changed education. We didn't know what to expect, I followed the coronavirus epidemic on the Internet or learned about the current developments from the TV news. The event significantly transformed education and moved it into the online space. Electronic interfaces were opened for teachers and students, e.g. MS Teams, Google Classroom). These are educational technology applications that have significantly facilitated the possibility of online education. In the meantime, AI assistants appeared, which helped e.g. access to customer service even when the clerk was not physically available. The and in terms of education, Chat GpT gave help with lesson examples and topics, help with lesson planning. AI assistants help the teacher plan lessons or initiate other actions. There may be an event where AI helps students solve their homework. The AI, if it is prepared for it, may even be able to make a note about the given student, which task the student did not get along with during the exercise, which one he asked for a lot of help with. The teacher can use the note if he needs to prepare a report on a specific student for the parent based on the students' work so far. The AI can also prepare a note for the teacher, in which he describes which curriculum he needs to review in the context of the given subject, if he specifies the topic, and to receive customized tasks from the AI for the lesson. AI can help prepare class materials, and instructors can help customize what types of assignments students receive. AI can help prepare class materials, and instructors can help customize what types of assignments students receive. Chat GPT You can use T to create quiz questions based on a given topic, and you can use them to check students' knowledge. We can even ask for practical examples with solutions, which can be useful in the practical lessons. In English class, the student can communicate in the given foreign language for practice.

1.1.3.7 Summary

My TDK work az I wrote about teaching algorithms and the application of artificial intelligence. During the writing of the TDK work, those topics came back, which I dealt with before and gained experience. I highlighted those points in my TDK work, which can be supported by MI in this case as an instructor. I also focused on teaching methods of algorithms, e.g. gamification, problem. Basedand competition-based learning, which is very important when creating a program from the student's point of view, not least mentoring, which I consider very important in building the students' professional qualifications. I presented these methods in this work in the name of efficiency and the use of artificial intelligence possibilities. I experience itt I also wrote about teaching algorithms, illustrated with examples. Based on my teaching period and experience so far, I highlighted the topic of robotics in the framework of the ICT (Information Communication Technology) subject, which also gives the student a visual experience while writing the program, for which I chose the Webots program, which also showed effectiveness among students. Advantage, that the program is free and can also be used in education. In addition, I also discussed the possibility of a physical robot, called Smart Robot Car, the robot can also be programmed in Python. In the following, I took artificial intelligence as a basis, which not only helps the teacher to compile tasks and hold a more efficient and interactive lesson, rather,it can be helpful for the student as well, but it is recommended to use it sensibly. I used the Visual Studio program as a basis, which,the MI can make a proposal for the

code written by the given student, which, if accepted, can be rewritten for the given code block of the program, and we can also get optimized code. The topic of teaching and learning using artificial intelligence was also discussed, from teacher lesson planning to student support in class.

Conclusions 10 pt

In this article, I pointed out what possibilities and methods can be used in public education. As we can see and experience, artificial intelligence can also appear in high schools, which can be a very important tool for both teachers and students. In teaching, there must always be goals, a course, and a lesson plan, on the basis of which the pedagogical method can be adapted depending on the age group. In the development of algorithmic thinking, problem-solving sessions can give the student a developmental effect, where he can acquire knowledge and improve his task-solving skills. I would also draw attention to the importance of student consultation as a mentor, which can be a helpful tool for the student. Mentoring status can guide a student throughout his life. The future generation is important for everyone, as they can determine the future life for humanity. And with pedagogical methods, we can also help students catch up in their studies

References

Bibliography

- [1] Development of algorithmic thinking with educational robots Bálint Svella Katalin 2023
- [2] Éva-Katalin Bálint-Svella (2023): Development of algorithmic thinking with educational
- [3] robots in kindergarten: pilot testing of the development program . Pedacta, no. 1 [https://](https://padi.psiedu.ubbcluj.ro/pedacta/article_13_1_1.pdf)
- [4] padi.psiedu.ubbcluj.ro/pedacta/article_13_1_1.pdf
- [5] László Balogh (1987): Task systems and thinking development. Textbook publisher,
- [6] Budapest Éva Bednárík – Judit Pakiné Kováts (2015): Structured problem-solving techniques.
- [7] Western Hungary University Publisher.
- [https://lignogroup.hu/wp-content/uploads/2020/02/Bednarik-](https://lignogroup.hu/wp-content/uploads/2020/02/Bednarik-Pakaine_strukturalt_problemagoldo_techinak_165x235_email.pdf)
- [Pakaine_strukturalt_problemagoldo_techinak_165x235_email.pdf](https://lignogroup.hu/wp-content/uploads/2020/02/Bednarik-Pakaine_strukturalt_problemagoldo_techinak_165x235_email.pdf) 2015
- [8] Carol Ann Tomlinson (2014): The Differentiated Classroom. ASCD, USA. [https://](https://rutamaestra.santillana.com.co/wp-content/uploads/2020/01/The-Differentiated-Classroom-Responding-to-the-Needs.pdf)
- [9] rutamaestra.santillana.com.co/wp-content/uploads/2020/01/The-Differentiated-Classroom-Responding-to-the-Needs.pdf
- [10] Henneman, Mary J. - Egbert, Susan AN (2013): Mentoring: A Guide for the Mentor and the Mentee.
- [11] Jane Ng (2024): 9 Creative Problem Solving Examples for Solving Real Interview Questions.
- [12] <https://ahaslides.com/hu/blog/creative-problem-solving-examples/poo>, Avanash (2016): Teaching Programming.
- [13] Ferenc Lénárd (1978): Problem-solving thinking. Academic Publishing House, Budapest
- [14] Miguel A. Cardona (2023): Artificial Intelligence and the Future of Teaching and Learning. ASCD, USA.,

Segítség, Moodle feladatokat kell készítenem! Az MI asszisztensem segít - 1. rész.

Papp József

Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és Automatizálási Tanszék,
Tavaszmező utca 17., 1084, Budapest, Magyarország, papp.jozsef@uni-obuda.hu

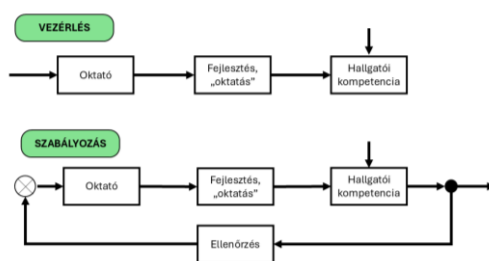
Abstract: A digitális oktatási tananyagokhoz tartozó ellenőrzések készítésekor a Moodle platformon történő feladatkészítés hatékonnyabbá válhat a nagy nyelvi modellek alkalmazásával. Ebben a cikkben bemutatom, hogyan lehet megfelelő promptok segítségével különböző - a tananyagnak megfelelő - tesztfeladatokat generálni Moodle formátumban. A célspecifikus promptok sajátos felépítéséhez tartozik a minta, a specifikusság és a kontextus megadása, amelyek lehetővé teszik a releváns és pontos feladatok létrehozását. A helyes promptokkal a modellek képesek változatos kérdéstípusokat generálni, mint például feleletválasztós, igaz-hamis, vagy számolós kérdések. A cikkben gyakorlati példákon keresztül illusztrálom a promptok működését, és mintákat osztok meg, amelyekkel egyszerűsíthető a Moodle feladatkészítési folyamat, így az oktatók időt és energiát takaríthatnak meg, miközben a hallgatók gyakorlási lehetőséget kapnak, ami a lemorzsolódás csökkentését segítheti.

Keywords: MI, Moodle, Nagy nyelvi modellek, Feladatkészítés, Prompt készítés, Digitális oktatás, Tesztfeladatok

1 Bevezetés

A tananyag elkészítése során gyakran problémával, hogy hogyan tartalomhoz a megfelelő. Miért jelent problémát ez? nem csupán egy célja, hogy biztosítsa szigorúan, igazságosan) a elsajátított - kompetenciáinak/tudásának

folyamata és az arra történő felkészülés azonban időigényes, különösen nagy létszámú kurzusok esetében. Amióta modern "tömeg" oktatás létezik, azóta az oktatás folyamata egy nagyjából sztenderd szabályozási folyamatot jelent (1. ábra), amelyben ha NEM megfelelő a "kimenet" (amit ellenőrzéssel mérünk), akkor "visszaküldjük" a hallgatót a folyamat elejére, legyen az egy tantárgyon belüli modul, lecke, vagy akár az egész tárgy. [3] [4] [5]



1. ábra: Az oktatási folyamat sematikus rajza

megtervezése és szembesülünk azzal a kapcsoljuk a tanulási ellenőrzési módszereket. Azért, mert az ellenőrzés adminisztratív eszköz; (humánusan, de egyben diákok - valóban

mérését. Az ellenőrzés

Nagyon sok fajta ellenőrzési mód áll rendelkezésünkre és mindannyian tudjuk, hogy milyen körülményekkel kell megküzdenünk ezek lefolytatása során. A nagy létszámú kurzusok, a csalás minimalizálása és a hiteles értékelés biztosítása bonyolult feladat. De, vajon hogyan lehet a diákokat úgy ösztönözni, hogy valóban tanuljanak, és ne csupán "átmenjenek" a vizsgákon? A körülmények évtizedek óta változatlanok, azaz ha, sokan vagyunk egy teremben, akkor mindenki a másikat lesi. Ha, sokan vagyunk a számítógép teremben, akkor mindenki a másik képernyőjét lesi. Ugye ezek tények. Ha sok hallgató zsúfolódik össze, akkor sok felügyelő tanárra van szükség. Őket szokták a diákok "keselyűknek" nevezni, akik ott körözködnek a teremben és azt figyelik, hogy ki, mikor fog "csalni" (tisztelet a kivételnek). Sőt, vannak olyan oktatók, akik meg vannak győződve arról, hogy az ő kérdéseik soha nem kerülnek ki a teremből, ami lássuk be, a globális kommunikációs hálózaton

alapuló világunkban - azt gondolom: nem lehet egy érvényes feltételezés. Kétség ne férjen hozzá, hogy a kérdések kijutnak a “falak közül”, és biztos, hogy a későbbiekben megtalálhatóak lesznek az interneten és az is biztos, hogy megosztásra kerülnek. Ebben az esetben akkor, mi lehet a megoldás? Például az, ha “hatalmas” mennyiségű feladatot készítünk. Megjelenik majd az interneten? Természetesen. [3] [4] [5]

Tantárgyaimhoz, olyan kérdésbankokat készítettem, amelyekben több ezer - esetenként több tízezer - kérdés található. Ezeket a feladatokat megosztottam a hallgatókkal. Szabadon. Nyugodtan. Minden diák számára köztetségek nélkül elérhetőek, és lehetőséget adnak a folyamatos gyakorlásra. Ebben az esetben valódi cél valósulhat meg: a tanulás és nem az számít, hogy “ki, mit látott előre”, hanem az, hogy a kompetenciák elmélyüljenek, és a tudás valóban használhatóvá váljon. Felmerül a kérdés: de hát, akkor megismeri a kérdéseket! És, ezzel valójában mi a baj? Ez a cél, nem? (hiszen a feladatok összessége teljesen lefedi az elsajátítandó tudást és kompetenciát) Ez a megközelítés megváltoztathatja az oktatásban megszokott játékszabályokat: azzal, hogy a diákok előre megismerhetik a kérdéseket, nem gyengítjük, hanem erősítjük a tanulási folyamatot. [3] [4] [5]

A korábbi években ilyen kérdésbankok felépítése éveket (személyes tapasztalatom szerint 2-3 évet) vett igénybe, még akkor is, ha több oktató dolgozott rajta egyidejűleg. Ez egészen elképesztően hosszú idő és nemcsoda, ha ennyi munkával elkészült feladatokat nem szívesen osztunk meg a hallgatókkal. 2024-re a Mesterséges Intelligencia algoritmusok, jelen esetben a Nagy Nyelvi Modellek technológiai színvonala segítségével ez a fejlesztési idő lerövidíthető - akár – néhány hétre. Így több időnk marad arra, hogy az oktatás kreatív és interaktív részeire összpontosítsunk.

A cikksorozat célja, hogy bemutassa, hogyan alakíthatjuk át a teszt készítést egy hatékonyabb, stresszmentes folyamattá, amely diákjaink és saját munkánk eredményességét is támogatja!

2 Felkészülés a tömeges feladat generálásra

Mielőtt belevágunk a Moodle feladatok tömeges generálásába, érdemes néhány alapvető kifejezést tisztázni. Az első és legfontosabb dolog, hogy megismerjük a kérdések felépítését/szerkezetét. Ez talán nem hangzik izgalmasnak, de higgyük el, ez a kis befektetés, rengeteg időt spórolhat meg a későbbiekben.

A Moodle egyik legegyszerűbb formátuma a GIFT, amely szabványos keretet ad a kérdéseknek. Ennek használatával a tesztfeladatok könnyedén importálhatók és exportálhatók. De hogyan kapcsolódik ehhez a mesterséges intelligencia? Nos, a nagy nyelvi modellek képesek GIFT formátumnak megfelelő feladatokat generálni, ha pontosan megadjuk, mit várunk el tőlük. Itt jön képbe a “prompt készítés” művészete, azaz a prompt engineering. A prompt nem más, mint egy gondosan megfogalmazott utasítás, amely megadja a generált feladatok szerkezetét, tartalmát és hangvételét. Ha jól dolgozunk, az MI algoritmus képes lesz releváns, pontos és pedagógiaiilag megfelelő feladatokat készíteni. A GIFT formátumot, mint egy “stílus keretet” megadva, a MI szolgáltatás automatikusan importálható formátumban fogja nekünk generálni a kérdéseket és a válaszokat. Természetesen a szakmai kontrollt nekünk kell biztosítani, ami azt jelenti hogy minden feladat ellenőrizendő. Kivétel nélkül! [2]

Ez nem csupán azért fontos, mert a modellek időnként “halucinálhatnak” (azaz helytelen válaszokat, vagy információkat generálhatnak), hanem azért is, mert az oktatási kontextus mindig személyre szabott figyelmet igényel. Személyes tapasztalatom az, hogy megfelelő promptok alkalmazása esetén kb. 95-97%-os pontosságú a generált feladatok minősége. Ha nagyon pontos

utasítást (promptot) készítünk, akkor lehetőségünk van olyan feladatokat is generáltatni, amelyek megoldása még az oktatóknak is kihívást jelenthet, mert annyira részletes, olyan apró különbségeket alkalmaz a válaszokban, hogy csak az, aki nagyon pontosan ismeri a megoldást, az tudja a választ.

A GIFT forma promptban megjelenő alakjához röviden annyit hozzátennék, hogy az "" jelek közötti szöveg változatlan felépítést jelent az MI szolgáltatás számára, míg a <> jelek közötti kifejezés egy változó, azaz változtatandó értéket jelent. Nem szeretném tovább felesleges informatikai ismeretekkel terhelni a kedves olvasót, ezért eltekintenek a gift forma általános alakjának magyarázatától. Minden feladat típus esetén azonban megadnám a felépítés fontosabb részleteit!

Ha felkészültünk a keretek megértésére, a promptok megírására és az ellenőrzésre, már csak egy kattintás választ el minket attól, hogy akár több száz feladatot generáljunk – mindezt minimális időráfordítással. Kezdjük el együtt, és tapasztaljuk meg, hogy a mesterséges intelligencia algoritmusok hogyan könnyíthetik meg az oktatói mindennapjainkat!

3 Igaz-hamis feladatok

Az igaz-hamis típusú kérdések az egyik legegyszerűbb, mégis rendkívül hatékony módját jelentik annak, hogy gyorsan és pontosan ellenőrizzük hallgatóink tudását. Nem véletlen, hogy a Moodle rendszerben is az egyik legnépszerűbb feladattípus. Az egyszerűségük miatt könnyen generálhatók, és ha jól használjuk őket, kiváló eszközök lehetnek megértéséhez. Az igaz-hamis feladatok gift formájának felépítését mutatja a 2. ábra!

```
// question: <sorszám> name:<feladat neve>
::<feladat neve>::<feladat
szövege>{TRUE#Helytelen válasz
visszajelzése#Helyes válasz visszajelzése}
```

2. ábra: Igaz-hamis feladat szerkezeti felépítése

Az ábra alapján látható, hogy az első sor egy nem feltétlen szükséges elem. Ez a két "/" karakterből következik, ami - bizonyos programozási nyelvekben - a megjegyzés, vagy "komment" jelölése. Ha feladatot exportálunk a Moodle-ből, akkor egyébként a rendszer is automatikusan hozzáírja ezt a sort. Általában azért hagyjuk a keretben, és azért generáltatjuk le, hogy később a forrásfájl, tehát maga az állomány, amit elkészít, azt könnyű legyen olvasni. Továbbá láthatunk egy sorszámot, a feladat nevét és szövegét. Ha igaz a feladat szövegében megfogalmazott állítás, akkor a kapcsos zárójel után "TRUE" kifejezés kerül, ha nem igaz, akkor "FALSE" -ot írunk, mint ahogy ezt a szerkezeti ábra is mutatja (2. ábra). A sorsszámozást nem nekünk kell megoldani, a promptban rögzítjük, hogy az egy sorsszám, és onnantól kezdve az algoritmus tudni fogja, hogy a generált feladatoknál az értéket léptetni/növelni kell. A Hashtag-ek után helytelen válasz visszajelzése, majd a helyes válasz visszajelzése kerül. [2]

Egy jól megfogalmazott prompt alapján a modell gyorsan létrehozza a kívánt kérdéseket, és még arra is képes, hogy automatikusan motiváló vagy magyarázó visszajelzéseket társítson hozzájuk. Például helyes válasz esetén dicsérhetjük a hallgatókat, hogy „Kiváló munka! Ez tényleg így van!”, míg helytelen válasz esetén iránymutatást adhatunk: „Most nem sikerült, de nézd át újra az [XY forrást], és próbáld meg ismét!” [1]

Próbáljunk ki egy nagyon egyszerű promptot - felhívva a figyelmet egyben arra, hogy "persona" szempontból nem tökéletes az utasítás. Annak egyetlen célja a "stílus-keret" alkalmazásának bemutatása (3. ábra)!

Orvosi egyetemi professzorként, aki jártas a pulmonológiában, a mellkas sebészetben, teszt kérdéseket kell írnod a hallgatók záróvizsgájához. Írj egy magyar nyelvű igaz-hamis tesztkérdést az emberi tüdő vitális kapacitásának definíciójáról. A tesztet moodle gift formátumban add meg! Az igaz-hamis teszt moodle gift

```
// question 1 name: Tüdő vitális kapacitás definíciója 5 sor: "///question 1 name:
::Tüdő vitális kapacitás definíciója:: A vitális kapacitás az a maximális levegőmennyiség, amelyet egy
maximális belégzés után teljesen ki lehet lélegezni. os zárójellel kezdjük,
{TRUE#Válasza helytelen!#Válasza helyes!}
mely után nagybetűvel, TRUE, vagy FALSE aszerint, hogy a kérdés
```

4. ábra: Az MI szolgáltatás által nyújtott válasz, egy "#" után a helytelen válasz visszajelzése található, például "Válasza helytelen!", majd újabb "#" és utána a helyes válasz visszajelzése található például "Válasza helyes!". A feladatot "]" kapcsos zárójellel zárjuk!

A prompt kiadása után, a választ a 4. ábra mutatja

És mi a helyzet a motivációval? Sokszor előfordul az, hogy mind a helyes, mind pedig a helytelen válaszok megadása esetén szeretném bátorítani a feladat végzőt. Ebben az esetben ez azt jelenti, hogy

3. ábra: Igaz-hamis feladatot generáló minden feladatban a "helyes válasz visszajelzése", illetve a "helytelen válasz visszajelzése" helyére egyedi szöveget alkotok. Az igazi kihívást az jelenti, hogy ha minden kérdéshez különböző visszajelző szöveget készítenénk, esetleg utalásokat tennénk arra, hogy hol található meg a helyes választ. Ez a kiegészítés megint csak hosszú időt venne igénybe, de az MI szolgáltatás alkalmazásával és a korábbi "stílus-keret" kiegészítésével ez egy kattintással megoldható. Már nem kell tehát minden kérdéshez manuálisan megírni a visszajelzéseket, hanem egy prompt segítségével személyre szabott, informatív és akár humoros üzeneteket is generálhatunk. Ez nemcsak a hallgatók motivációját növeli, hanem egyfajta párbeszédet is kialakít köztük és a tananyag között. [1]

4 Párosító feladatok

A párosító feladatok mindig is a kedvenceim közé tartoztak, mert nagyszerűen ötvözik a logikai gondolkodást a tananyag mélyebb megértésével. Ez a típusú feladat rendkívül sokoldalú, és kiválóan alkalmazható fogalmak, definíciók, összefüggések, vagy akár példák tanítására. Egyszerűségük ellenére igazán kreatív megoldásokra adnak lehetőséget – ráadásul a Moodle rendszer is kiválóan támogatja őket. A párosító

ábra) nagyon letisztult: benne ismert - statikus elemeket, elemeket, amelyekben az egy fogalom, vagy kérdés, tartozó válasz. A két elemet kacsacsőr köti össze. Hogyan

```
// question: <sorszám> name: <feladat neve> kérdések felépítése (5.
::<feladat neve>::<feladat szövege>{ megtalálhatjuk a - már
=A pár 1 -> A pár 2 illetve a speciális
=B pár 1 -> B pár 2 egyik oldalon található
=C pár 1 -> C pár 2 míg a másikon a hozzá
=D pár 1 -> D pár 2 egy kötőjel és egy
=E -> E pár 2
```

működik mindez a gyakorlatban? Egy jól megfogalmazott prompt segítségével az MI nemcsak a párosítandó

5. ábra: Párosító feladat szerkezeti felépítése

elemeket generálja, hanem meghatározhatjuk a párosítások számát és bonyolultságát is. Például beállíthatjuk, hogy bizonyos elemeknek ne legyen párjuk, így még nagyobb kihívást jelent a feladat. Ez a megoldás különösen hasznos lehet, ha az órán a kritikai gondolkodást szeretnénk erősíteni. [2]

Íme a prompt (6. ábra):

Orvosi egyetemi professzorként, aki jártas a pulmonológiában, a mellkas sebészetben, teszt kérdéseket kell írnod a hallgatók záróvizsgájához. Írj egy magyar nyelvű párosító tesztet az emberi tüdő vitális kapacitásának definíciójáról. A tesztet moodle gift formátumban add meg! A párosító teszt moodle gift formátumának felépítése a következő: az első sor: "//question 1 name: <a kérdés neve>"; második sor: "::<kérdés neve>::"; a harmadik sor: <a kérdés szövege>; negyedik sor "{"; az ötödik sortól az egyes párosítandó kifejezések az egyenlőségjel után találhatóak, míg párjuk a -> jel után található! A feladatokat "}" kapcsos zárójellel zárjuk!

6. ábra: Párosító kérdést generáló prompt

A választ pedig a 7. ábrán láthatjuk. Szándékosan választottam ugyanazt a témakört, mert itt is a szerkezeti definíció cél. Amennyiben azt elem legyen a párosítandókban rögzíteni kell ezek feladatokról is visszajelzéseket adni. Egy- esetén dicsérhetjük a esetén finom útmutatást „Kiváló, a fogalom és a definíció összekapcsolása hibátlan volt!” vagy „Ellenőrizd újra az X témát, mert ez a pár nem illik össze.” [1]

```
// question 1 name: Tüdő vitális kapacitás definíciója
::Tüdő vitális kapacitás definíciója:: Párosítsa az emberi tüdő vitális kapacitásának fogalmát
a megfelelő jellemzőkkel!
{
  =Vitális kapacitás -> A maximális levegőmennyiség, amelyet egy teljes belégzés után
  maximálisan ki lehet lélegezni.
  =Reziduális térfogat -> A levegő mennyisége, amely maximális kilégzés után is a tüdőben
  marad.
  =Inspirációs rezervtérfogat -> A nyugodt belégzés után még erőltetetten belélegezhető
  levegőmennyiség.
  =Expirációs rezervtérfogat -> A nyugodt kilégzés után még erőltetetten kilélegezhető
  levegőmennyiség.
}
```

7. ábra: Az MI szolgáltatás által generált válasz

bemutatása az elsődleges szeretnénk, hogy sok között, akkor a prompt-számát. A párosító lehetőségünk van egyedi egy helyes párosítás hallgatókat, míg hibák nyújthatunk. Például:

Ez a típusú feladat rendkívül jól alkalmazható mind alap-, mind haladó szintű tananyag esetén, és az MI segítségével a feladatok sokfélesége végtelen. Próbáljuk ki a mintákat bátran! És ami a legjobb: a Moodle rendszerben ezek a feladatok pillanatok alatt bevethetők, így több időnk marad arra, hogy a tanulók támogatására összpontosítsunk!

5 Felelet-választós (egyszeres) feladatok

A felelet-választós, egyszeres választású kérdések talán a legismertebb és leggyakrabban használt tesztípusok, és nem véletlenül. Könnyen értékelhetők, jól strukturálhatók, és remekül alkalmasak a hallgatók tudásának gyors, átfogó ellenőrzésére. Ugyanakkor tudjuk, hogy a jó felelet-választós kérdés megalkotása megfelelő "rossz" válaszok pont, ahol a nagy nyelvi segítséget nyújthatnak. prompt segítségével hanem releváns, esetleg mégis helytelen opciókat a hallgatók nem pusztán a szerencsére bízzák a választást, hanem valóban gondolkodásra kényszerülnek, és elmélyítik a tananyag megértését.

```
// question: <sorszám> name: <feladat neve>
::<feladat neve>::<feladat szövege>{
  =<Helyes válasz>
  ~<Helytelen válasz 1>
  ~<Helytelen válasz 2>
  ~<Helytelen válasz 3>
}
```

időigényes: különösen a kidolgozása miatt. Ez az a modellek óriási Egy jól megcsiszolt nemcsak a helyes választ, megtévesztően hasonló, is generálhatunk. Ezáltal

8. ábra: Felelet választós feladat szerkezeti felépítése

A GIFT formátum használatával (8. ábra) a felelet-választós kérdések szerkezete jól meghatározott: tartalmazza a kérdés szövegét - ugyanúgy, mint a korábbi szerkezetekben, a helyes válasz jelölését, mely egy "=" karakterrel kezdődik és a helytelen válaszokat, melyek "~" karakterrel jelölünk. Az MI segítségével ezek az elemek gyorsan és pontosan generálhatók. Ami különösen hasznos, hogy a generált kérdések azonnal beilleszthetők a Moodle rendszerbe, így a kérdésbankok bővítése pillanatok alatt megvalósítható. [2]

Íme az alkalmazott prompt (9. ábra):

Orvosi egyetemi professzorként, aki jártas a pulmonológiában, a mellkas sebészetben, teszt kérdéseket kell írnod a hallgatók záróvizsgájához. Írj egy magyar nyelvű felelet-választós tesztet az emberi tüdő vitális kapacitásának definíciójáról. A kérdésre 4 választ írsz, amelyből 1 helyes, a többi helytelen. A tesztet moodle gift formátumban add meg! A feleletválasztós teszt moodle gift formátumának felépítése a következő: az első sor: "//question 1 name: <a kérdés neve>"; második sor: "::<kérdés neve>::"; a harmadik sor: "<a kérdés szövege>"; negyedik sor "{"; az ötödik sortól a válaszok, a jó válasz első karaktere: "=", a rossz válasz első karaktere: "~"; az utolsó sorban "}" karakterrel zárjuk!

9. ábra: A felelet-választós feladat generáló prompt

A válasz pedig így néz

Fontos kiemelni,
válaszok
kompetencia-alapú
"butaságokat" kitalálni
alkotni, amelyek

igényelnek, és megmutatják, hogy a diákok
mennyire értették meg az anyagot. [1]

```
// question 1 name: Tüdő vitális kapacitás definíciója
::Tüdő vitális kapacitás definíciója::
Melyik állítás írja le helyesen az emberi tüdő vitális kapacitását?
{
~Az a maximális levegőmennyiség, amelyet az ember egy maximális
belégzés után teljesen ki tud lélegezni.
~A tüdő által egy nyugalmi kilégzés után belélegezhető
levegőmennyiség.
~Az a levegőmennyiség, amelyet a tüdő egy nyugodt belégzés és
kilégzés során cserél.
~A tüdőben maradó levegőmennyiség egy maximális kilégzés után.
}
```

ki (10. ábra):

hogy a jól megírt "rossz"
kulcsfontosságúak a
értékeléshez. Nem elég
– olyan opciókat kell
valódi gondolkodást

10. ábra: Az MI szolgáltatás által generált válasz

Összefoglalás

Napjainkban meg van a lehetőség olyan MI asszisztensek alkalmazására, amelyek a hosszú, időt rabló repetitív munkát elvégzik helyettünk. Különösen ki kell hangsúlyozni, hogy csak és kizárólag szakmai kontroll mellett. A cikkben bemutatott példák segítségével akár hetek alatt felépíthetők azok a kérdésbankok, amelyek korábban éveket vettek volna igénybe. A promptok finomítása során rögzíthetjük azokat a kifejezéseket, amelyeket esetleg nem szeretnénk, hogy az algoritmus használjon - ezzel is utat nyitva a tökéletesebb válaszok felé.

Mindenkit arra buzdítok, hogy bátran próbálja ki a bemutatott promptokat, alakítsa azokat saját tananyagaihoz, és ossza meg velem tapasztalatait! Mesélje el sikereit és kudarcait, hogy közösen tanulhassunk egymás példáiból. A következő részben újabb három feladattípust szeretnék megmutatni, amelyek tovább bővítik a lehetőségeinket a Moodle rendszerben alkalmazott kérdések terén. Ha kíváncsi a folytatásra, tartson velem!

References

- [1] OpenAI. (2020). "Language Models are Few-Shot Learners." Proceedings of the 34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020)

-
- [2] Moodle. (2023). "Moodle Documentation." Retrieved from <https://docs.moodle.org/> [Hozzáférés dátuma: 04 10 2024]
- [3] Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman.
- [4] Hattie, J., & Timperley, H. (2007). "The Power of Feedback." *Review of Educational Research*, 77(1), pp.81-112.
- [5] Koller, D., & Ng, A. Y. (2013). "Understanding the Effectiveness of Online Education." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(23), 9232-9237.

On Karnaugh Maps and Magic Squares

Bálint Pődör

Óbuda University, Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering,

Department of Microelectronics and Technology

podor.balint1@gmail.com

A subtle relation between Karnaugh maps used in engineering and magic squares known from mathematics is presented and discussed.

In the 1950's Karnaugh maps were developed for the minimization of Boolean algebraic expressions in the Bell Laboratories (Murray Hill, USA) and also in the Harvard Computational Laboratory [1]. At the same time a related map was introduced by Veitchs [2]. Bell laboratories, dubbed as the "idea factory" boasts ten Nobel prizes (to compare with e. g. seven awarded to the Göttingen University in Germany, an other iconic scientific institution).

For an even number of variables, $n = 2k$, the Karnaugh map is a square 2^n cells, filled with integers from 0 to $2^n - 1$ encoded in binary Gray code on the surface of a toroidal ring. Besides being a tool in the design of switching and digital circuits, it has several other applications, e.g. in the design of the layout of solar panel systems, etc.

An n -by- n magic square is an array containing the integers from 1 to n^2 , arranged so that each of the rows, each of the columns, and the two principal diagonals has the same sum, called the *magic sum*.

The magic sum S_n can be expressed as

$$S_n = (1+n^2)n/2$$

i. e. its value is 15, 34, 121 and 260 for $n = 3, 4, 6$ and 8 respectively.

Magic squares predate recorded history, they can be found in several cultures, geographic areas and historical periods, and are also present in our era.

Chinese legends refer to the 3x3 *Lo Shu* magic square, with the magic sum of 15 []. An ancient Chinese legend tells of a turtle emerging from the Lo river during a flood. The turtle's shell showed a very unusual pattern – a three-by-three grid containing various numbers of spots (Fig. 1.) Of course, we do not have any eye-witness accounts, so we can only imagine that the turtle looked like the figure

here. Each of the three rows, the three columns, and the two diagonals contain a total of 15 spots. References to Lo Shu and the Lo Shu numerical pattern occur throughout Chinese history.

The ancient 3x3 Chinese Lo Shu square of the first nine consecutive integers shown in Fig. 1. is the smallest magic square and, apart from rotations and reflections, there are no others this size or smaller. In the 3x3 magic square the magic sum is 15.

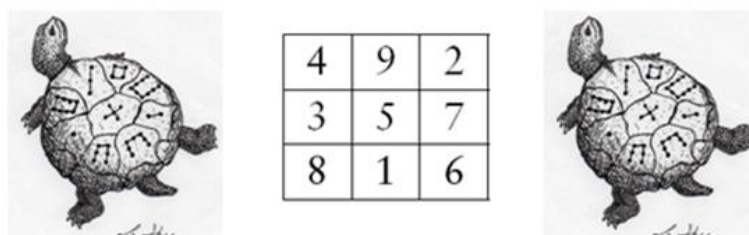


Fig. 1. The Lo-Shu magic square on the turtle shell.

The best statement that can be made about its age is 2500-1500 years! While the middle figure may be most appropriate, the hardest evidence gives just the lesser, while legends claim the older.

Magic squares most likely traveled from China to India, then to Arab countries and Japan. Finally, from the Arab (Islamic) world they journeyed to Europe too [].

Some famous magic squares will now briefly mentioned.

The 4x4 Jaina square (Fig. 2.) can be found in the 10th century (945 AD) Jain Temple, Khajuraho, Northern India [].

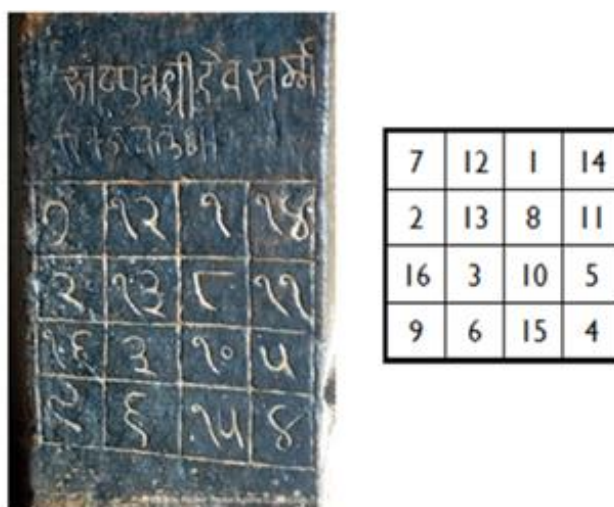


Fig. 2. The Jaina magic square

The Jaina square is a perfect magic square, all rows, columns and the two main diagonals exhibit the magic sum of 34.

In Europe following some Byzantian and Italian works, during the Renaissance in about 1510 *Heinrich Cornelius Agrippa* wrote about magical squares, presenting seven magic squares of the order from 3x3 to 9x9 [8]. The 3x3 magical square in Agrippa's work is of course is the *Lo Shu* magic square. The 4x4 magic square in Agrippa's treatises is equivalent to the one depicted in *Dürer's* famous early 16th century engraving *Melancholia* shown in Fig. 3 [9].

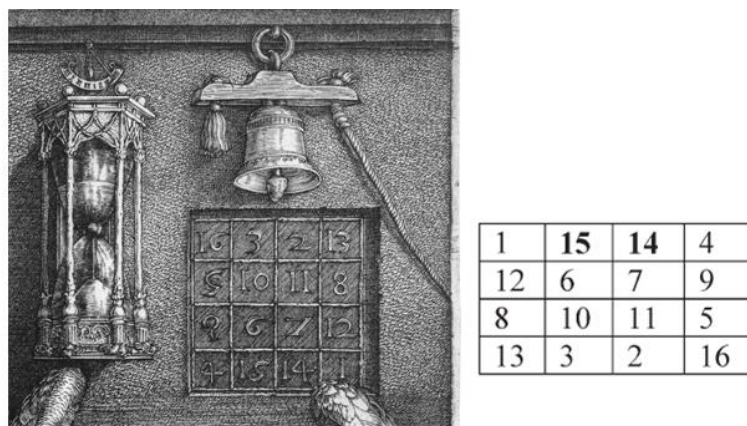


Fig. 3. Dürer's early 16th century magic square.

The 4x4 magic square (with the magic sum of 34, see Fig. 3.) in Dürer's engraving, displays the year 1514. Dürer's (for us Ajtósi Dürer Albrecht) family originated in the since disappeared medieval village, Ajtós, the remains of which have been found and excavated in the outskirts of Gyula (a town in the south of Hungary close to the Romanian border).

Before arriving to our modern era, perhaps the 8x8 and 16x16 magic squares discovered by the American statesman and scientist *Benjamin Franklin* (1706-1790) might be noted [5].

Finally, in our era the 4x4 magic square on the Passion facade on the Sagrada Familia Cathedral in Barcelona (depicted in Fig. 4.) is perhaps the most famous one [9].

1	14	14	4
11	7	6	9
8	10	10	5
13	2	3	15

Fig. 4. The Sagrada Familia Cathedral (Barcelona) magic square. Josep Maria Subirachs sculptor and Antoni Gaudi builder.

The numbers in the cells of the Sagrada Familia magic square have been changed, the numbers 12 and 16 are missing, they have been replaced by 10 and 14 respectively. The resulting (modified) magic square exhibits a magic sum of 33 instead of the "classic" value of 34. The modified magic sum has an obvious symbolic Biblical meaning.

It can be shown that the $2^n \times 2^n$ ($n=2k$) Karnaugh maps can be transformed into magic squares [10]. Thus Boolean algebraic expressions, logic circuits, etc., can be seen in the context of magic squares. On the other hand, for applications such as information hiding, arithmetic properties of magic squares can also be used.

The transformation algorithm is based on the even or odd parity of the 1's in the binary code of the minterm or maxterm cell numbers. Below the appropriate algorithm is shortly described [10].

First step. Transfer minterm decimal indices with EVEN number of 1s in their binary code UNCHANGED

Second step. Transfer minterm decimal indices with ODD number of 1s COMPLEMENTED

Third and last step. Add 1 to the numbers in each cell.

The transformation procedure is illustrated here using the example of the four-variable minterm Karnaugh map.

0	1	3	2
0000	0001	0011	0010
4	5	7	6
0100	0101	0111	0110
12	13	15	14
1100	1101	1111	1110
8	9	11	10
1000	1001	1011	1010

Fig. 5. The four-variable minterm Karnaugh map, showing the decimal indices of the cells with the appropriate binary codes, black and red colors indicating even and odd number of 1's in the binary forms..

1	15	14	4
12	6	7	9
8	10	11	5
13	3	2	16

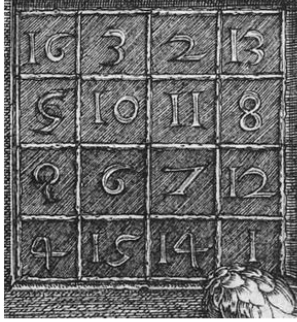


Fig. 6. Dürer's magic square (more precisely its equivalent) as the result of the transformation of the four variable minterm Karnaugh map

As far as the present author knows, only the appropriate transformation of the four variable 4x4 minterm Karnaugh map can be found in the literature.

The analogue transformation for the 4x4 maxterm Karnaugh map, and appropriate transformations of the six-variable 8x8 minterm and maxterm Karnaugh maps to magic squares have been derived and given in explicit forms.

As final word it can be said that it is amazing to see and contemplate on this connection between the Karnaugh maps, practical tools used in engineering, and numerical magic squares spanning four millennia, several geographical regions and cultures of the world.

References

1. M. Karnaugh, The map method for synthesis of combinational circuits, Transactions of the AIEE, Part I: Communications and Electronics, 72 593 (1953).
2. E. W. Veitch, A chart method for simplifying truth functions, Proc. Assoc. Computing Machinery Conference, p. 127 (1952).
3. B. Gupta, Generalized form of a 4x4 magic square, International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, 3 13 (2016).
4. T. Hayashi, Varahamihira's pandiagonal magic square of the order four, Historia Mathematica, 14 159 (1987).
5. P. D. Loly, Franklin squares: A chapter in the scientific studies of magic squares, Complex Systems, 17 143 (2007).
6. A. Prabowo et al., The variant of magic square in Javanese tradition, Proc. 11 th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Singapore, p. 3799 (2021).
7. Hakan Oztunc, Most magically magical squares, Fountain Magazine, Issue 152 March-April 2023.
8. <https://plaza.ufl.edu/ufkelley/magic/famous.htm>
9. <https://blog.sagradafamilia.org>
10. D. Schuett and S. Meine, On Karnaugh maps and magic squares, Informatik Spectrum, 22 120 (2005).

Thermal Ionization Energy of Zn Acceptors in GaP: Effects of Doping Level and Compensation, Revisited

Bálint Pődör

Óbuda University, Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering,

Department of Microelectronics and Technology

and

HUN-REN Centre for Energy Research

Institute for Technical Physics and Materials Science

Abstract

The results of a comprehensive analysis and interpretation of the observed differences of the thermal and optical ionization energies of zinc (Zn) acceptors in gallium phosphide (GaP) are presented. on the basis of own measurements and relevant theoretical models.

1. Introduction

Gallium phosphide (GaP) is an important member of the family of III-V compound semiconductors. Zinc (Zn) is the commonly favoured acceptor dopant in the III-V compounds, and p-type GaP is mostly prepared by Zn-doping. One of the basic characteristics of a dopant or impurity is its ionization (activation) energy. The ionization energy of Zn acceptors in GaP as determined by optical methods is about 70 meV, about two and a half times greater than the equivalent thermal energy at room temperature (26 meV). However, as in other semiconductors, the reported values of the thermal ionization energies of Zn acceptors in GaP are significantly lower and depend also on the acceptor concentration as well as on the compensation. For device operation, however, the thermal ionization energy of the dopant is the relevant parameter, because it controls the degree of the actual ionization

of the dopant atoms, and in this way it determines the available free carrier densities, doping efficiency, etc. For this reason it is important to understand and model these dependences. In this paper the results of a comprehensive analysis and the interpretation of the observed differences of the thermal and optical ionization energies in GaP:Zn on the basis of the relevant theoretical models will be presented and discussed.

At first a short overview of the various theoretical models is presented, then experimental results on the hole concentration versus temperature data (published and unpublished as well) obtained from temperature dependent Hall effect measurements in the temperature range from 77 K to 400 K on a large number of GaP:Zn crystals will be analyzed and discussed in terms of the various models. It will be shown that the observed dependence of the of the thermal ionization energy of Zn acceptors on the concentration of dopants (impurities) can be well described by using a simple electrostatic interaction model between the charged centres.

2. Overview of the theoretical models

It is well established that the thermal ionization energy of impurity and defect centres as deduced from Hall data analysis is generally smaller than the optical one. Furthermore the thermal ionization energy usually decreases with increasing concentration of the impurity and defect centres, and depends also on the compensation degree. In the literature several physical models have been considered to describe these phenomena [1-7]. For the sake of definitiveness let us consider the case of acceptors. A general model description for the dependence of the thermal ionization energy E_A on the acceptor concentration N_A and on the compensation degree K has been formulated by Shklovskii and Efros [5,6] as

$$E_A = E_A(N_A, K) = E_{A0} - f(K) \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0} \right) N_A^{-1/3} \quad (1)$$

here E_{A0} is the ionization energy of the acceptors at infinite dilution, N_A is the acceptor concentration, K is the compensation degree ($K = N_D/N_A$), ϵ_0 is the vacuum dielectric permittivity vacuum, and ϵ_r is the static dielectric constant of the host semiconductor. $f(K)$ is a (dimensionless) function, the exact form of which depends on the details of the concrete mechanism leading to the reduction of the

thermal ionization energy. E_{AO} can also be identified with the optical ionization energy as determined e.g. from photoluminescence measurements, and the coefficient containing the dielectric constant sets the energy scale.

Several theoretical models support the generic expression given by Eq. (1) but with different functional forms of the $f(K)$ coefficient [3-8], see the appropriate plots in Fig. 1. Notably, according to Pearson and Bardeen [1] $f(K) = 1$, according to Debye and Conwell $f(K) = 1.646(4\pi/3)^{1/3}K^{1/3} = 2.6533K^{1/3}$, according to Monecke et al. [7] $f(K) = \Gamma(2/3)(4\pi/3)^{1/3}K^{1/3} = 2.1828K^{1/3}$, and according to Lien and Shklovskii [4] $f(K)$ is a more complicated function with the value of 1 at $K = 0$, then increasing slowly up to about 1.4 for $K = 0.4 - 0.6$, and dropping more sharply for $K > 0.8$, and even changing sign above $K = 0.93$. In most cases the electrostatic interaction model yielding an $f(K)$ proportional to $K^{1/3}$ [2,7-12] gives the best description. Then with $N_D = KN_A$ and $\alpha = 31.4 \times 10^{-5}/\epsilon_r$ (meVcm) [7] or $\alpha = 38.2 \times 10^{-5}/\epsilon_r$ (meVcm) [2,9] (the numerical factor depends slightly on the details of the assumptions in the models) the above equation can be rewritten as

$$E_A = E_{AO} - \alpha N_D^{1/3} \quad (2)$$

here the term $\alpha N_D^{1/3}$ represents the electrostatic interaction energy, decreasing the thermal ionization energy of the defect centre.

The electrostatic interaction model suggests that the values of α for various centres in the same host should be equal with each other, and for different semiconductors they should scale with the reciprocal of the static dielectric constants, which contention has been confirmed analyzing the available large amount of data for group IV, III-V, and II-VI semiconductors [8-12].

3. Experimental results and data fit

Zn-doped epitaxial GaP layers and solution grown GaP platelets were studied. The crystal growth and the measurements were performed in the laboratories of the (then) Research Institute for Technical Physics of the Hungarian Academy of Sciences. The room temperature hole concentration of the crystals was $10^{17} - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. The measurements were performed on samples with typical

dimensions of 4 to 6 mm in the Van der Pauw configuration. Temperature dependent Hall effect measurements were performed in the temperature range from 77 to 400 K. A simple glass cryostat, using liquid nitrogen as a coolant, designed to cover the temperature range from 77 to 400 K was used. The cryostat could be fitted into the 35 mm airgap of a relatively small electromagnet. The cryostat is basically similar in design to the first one described in [13]. For further details see [14-17].

A set of representative hole concentration versus reciprocal temperature data are presented in Figs. 1 and 2.

The measured hole concentration versus reciprocal temperature data were fitted with the standard statistical model based on one acceptor, one compensating (donor) centre

$$\frac{p (p + N_D)}{(N_A - N_D - p)} = \beta^{-1} N_v \exp(-E_A/kT) \quad (3)$$

here p , N_A , and N_D are the hole, acceptor and compensating donor concentrations respectively, E_A is the (thermal) ionization energy of the acceptor, $N_v (\propto T^{3/2})$ is the density-of-states in the valence band and β is the acceptor level degeneracy factor. In calculating N_v the hole effective mass was taken as $m_h/m_0 = 0.6$, m_0 being the free electron mass; and $\beta = 4$ was used, these values are generally accepted in the literature. The obtained fit parameters are shown in Tables 1 and 2 for the two sets of samples. The lines in Figs. 1. and 2. represent the results of this fitting.

From this fit the values of N_A , N_D and E_A , as well as of the compensation degree $K = N_D/N_A$ was extracted. The extracted values of the thermal activation energy for the epitaxial layers and solution grown platelets were found in the range of (20-35) meV and (20-55) meV respectively.

4. Model fitting and discussion

In the spirit of the theoretical models, as the extracted value $f_{exp}(K)$ versus the compensation degree (c.f. Eq. (1)), also as E_A versus $N_D^{1/3}$ (c.f. Eq. (2)). In the case of Eq. (1) the literature data for optical ionization energy of Zn acceptor (69.7 meV) was used. It is established that the electrostatic

model of Debye and Conwell fits rather well the extracted data. With reference to Eq. (1) the fitted value of the numerical constant figuring in this formula $f_{\text{exp}}(K) = 2.96 \pm 0.05$, and the parameters figuring in Eq. (2), i. e. the acceptor energy at infinite dilution and the numerical constant describing the strength of the electrostatic interaction are 66 ± 6 meV and $-(3.5 \pm 0.5) \times 10^{-5}$ meVcm, close in acceptable agreement with the relevant experimental and model values respectively.

If we suppose the *a priori* applicability of the Coulomb interaction model to the experimental data, as the validity of this assumption is being corroborated by the results of analysis of a great amount of data, then using the relationship $N_D = KN_A$ the model equation can be rewritten as

$$E_A = E_{A0} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0} N_D^{1/3} = E_{A0} - \alpha N_D^{1/3} \quad (3)$$

with a theoretical value of $\alpha = 38.2 \times 10^{-5} / \epsilon_r$ meVcm in the approximation of Debye and Conwell [18] and $\alpha = 31.4 \times 10^{-5} / \epsilon_r$ meVcm in the approximation of Monecke et al. [18]. Here $\alpha N_D^{1/3}$ is the Coulomb interaction energy.

Further on, the results of this analysis are supported too by the hole concentration versus temperature data for this system available in the literature.

The analysis and modeling method discussed here was extended and successfully applied to several sets of data collected from the literature on Zn, C, and Mg acceptors in GaP. Further on, similar measurements and analysis has also been performed on n-type GaP liquid phase epitaxially grown with S, Te, and Si donors in our Institute.

Other semiconducting materials, among others cadmium sulphide (CdS) and *gallium antimonide* (GaSb) crystals grown in our institute, and *indium phosphide* (InP) were also studied, resulting in similar results.

Only one important case is emphasized here, the case of *space-grown GaSb crystals* (Eötvös Programme) .

The measurements referred to above were performed in cooperation with Dr. K. Somogyi and Mrs. N. Nádor, with the assistance of Mrs. Z. Püspöki, and their contribution to the above results is gratefully acknowledged.

References

- [1] G. L. Pearson and J. Bardeen, *Phys. Rev.* **75** 865 (1949).
- [2] P. P. Debye and E. Conwell, *Phys. Rev.* **93** 693 (1954).
- [3] T. F. Lee and T. C. McGill, *J. Appl. Phys.* **46**, 373 (1975).

-
- [4] Nguyen Van Lien and B. I. Shklovskii, *Fiz. Tekhn. Poluprovodn.* **13** 1763 (1979).
- [5] B. I. Shklovskii and A. L. Efros, *Electronic Properties of Doped Semiconductors*, Nauka, Moscow, 1979.
- [6] B. I. Shklovskii and A. L. Efros, *Sov. Phys. Semicond.* **14** 487 (1980).
- [7] J. Monecke, W. Siegel, E. Ziegler and G. Kühnel, *phys. stat. sol. (b)* **103** 269 (1981).
- [8] B. Pődör, *Semicond. Sci. Technol.* **3** 177 (1987).
- [9] B. Pődör, J. Pfeifer, N. Nádor, L. Csontos and F. Deák, *phys. stat. sol. (a)* **76** 695 (1983).
- [10] B. Pődör, *phys. stat. sol. (a)* **119** K135 (1990).
- [11] B. Pődör, in: *Proc. Int. Conf. on Solid State Crystals 2000: Growth, Characterization and Applications of Single Crystals*, 9-13 October 2000, Zakopane, SPIE Proceedings, Eds. A. Rogalski, K. Adamiec, P. Madejczyk, Vol. 4412, 2001, pp. 299-303.
- [12] B. Pődör, in: *Proc. 12 th International Workshop on the Physics of Semiconductor Devices*, Madras, 2003, Ed. K. N. Bhat, A. DasGupta, Narosa Publishing House, New Delhi, 2003, Vol. 1, pp. 585-587.
- [13] R. W. Ure, *Rev. Sci. Instrum.* **28** 836 (1957)
- [14] K. Somogyi and V. G. Szidjakin, *Hiradástechika* **20** 262 (1969).
- [15] N. I. Davidenko and I. G. Fakidov, *Pribory i Technika Eksperimenta* **67** 254 (1967).
- [16] K. Somogyi and B. Pődör, *Acta Technica Hungarica* **82** 443 (1976).
- [17] K. Somogyi and B. Pődör, *Mérés és Automatika* **24** 286 (1976).

Figure captions

Fig. 1. GaP samples with typical dimensions of 6 to 10 mm, with Van der Pauw contact configuration. The magnetic field is perpendicular to the sample plane.

Fig. 2. Glass cryostat and sample holder. 1 – sample block (copper), 2 – thermal bridge (brass rod with heater), 3 – lead through (heater), 4 – electrical leads to the sample, 5 – thermocouple (copper-constantan), 6 – copper rod, upper glass Dewar, 8 – lower glass Dewar.

Fig. 3. Sample chamber, “exploded” view. 1 – copper cover with bore to the thermocouple wires, 2 – insulating inlay (teflon), 3 – copper frame, 4 – sample holder frame (teflon) with six pins for contacts, 5 – insulating cover (teflon) with six holes for the contact pins, 6 - copper cover, 7 – thermal bridge (brass rod) with heater.

Fig. 4. Hall effect results: epitaxial layers: hole concentration vs reciprocal temperature. Insert: data fit results, discussed in the text.

Fig. 5. The extracted values of the $f_{\text{exp}}(K)$ numerical parameter figuring in Eq. () vs the compensation degree (K). Theoretical curves based on the four models discussed in the text are also shown for comparison.

Table 1

Extracted parameters of the solution grown GaP:Zn platelets

Sample	N_A (cm ⁻³)	N_D (cm ⁻³)	$K = N_D/N_A$	E_A (meV)
55/2	4.54×10^{17}	7.60×10^{16}	0.168	49
6	6.52×10^{17}	2.28×10^{17}	0.350	41
5	6.84×10^{17}	1.24×10^{17}	0.182	52
46/1	7.17×10^{17}	1.00×10^{17}	0.140	55
2	1.95×10^{18}	3.70×10^{17}	0.190	40
44/1	4.60×10^{18}	1.59×10^{18}	0.346	22

Table 2

Extracted parameters of the epitaxial GaP:Zn layers

Sample	N_A (cm ⁻³)	N_D (cm ⁻³)	$K = N_D/N_A$	E_A (meV)
10Cu4	3.11×10^{18}	8.40×10^{17}	0.270	33
9VP2	3.26×10^{18}	1.44×10^{18}	0.441	25
10VP1	5.34×10^{18}	9.42×10^{17}	0.177	33
11VP1	8.19×10^{18}	2.28×10^{17}	0.278	21

Figures

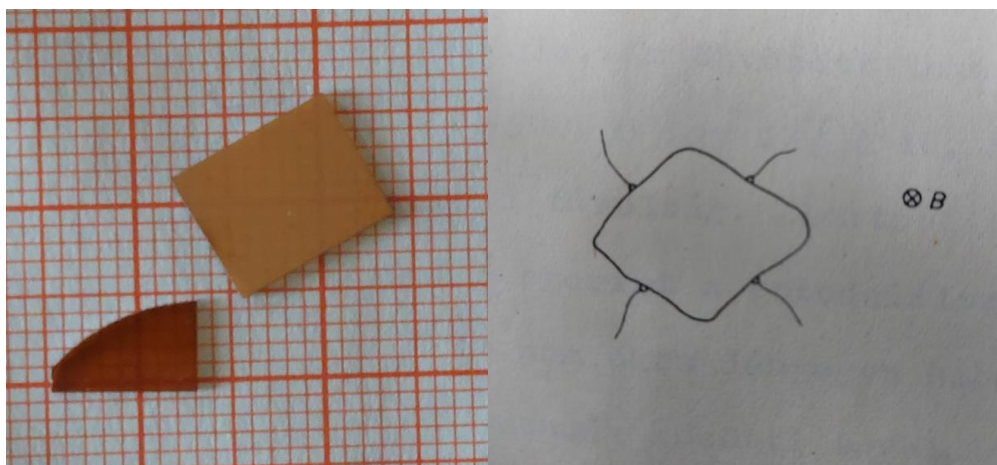


Fig. 1.

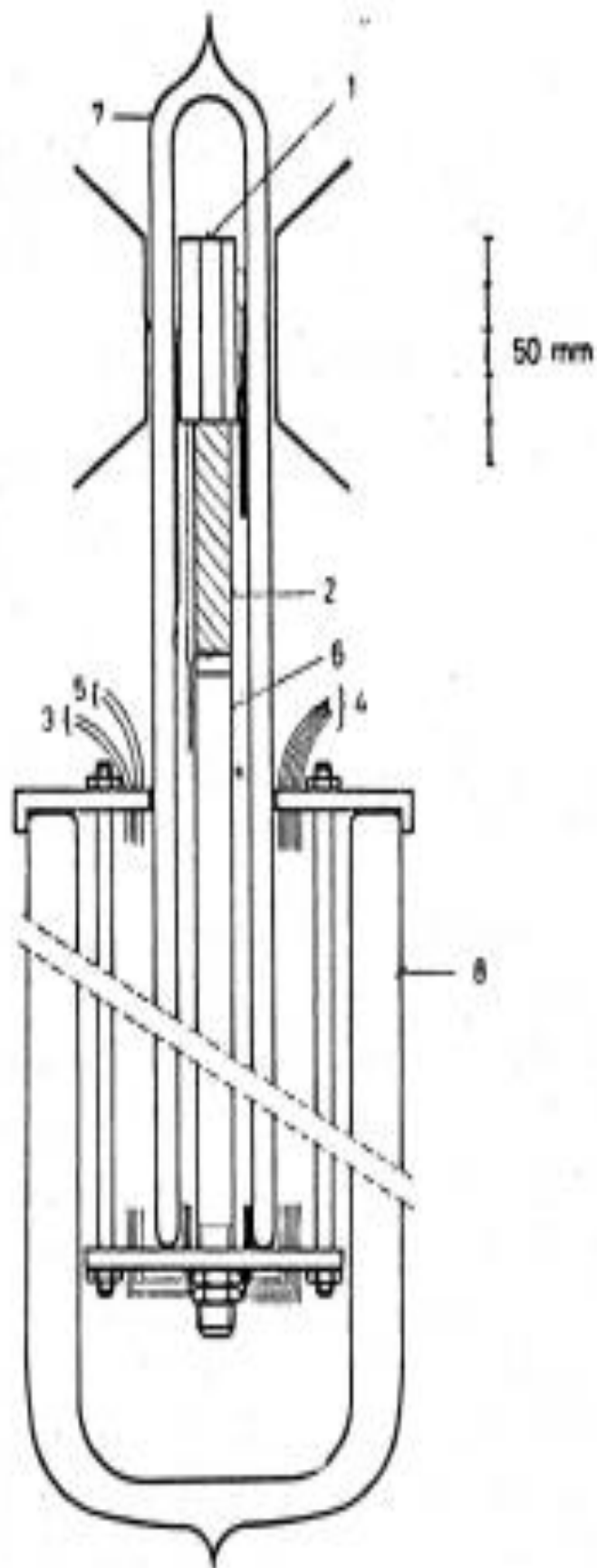


Fig. 2.

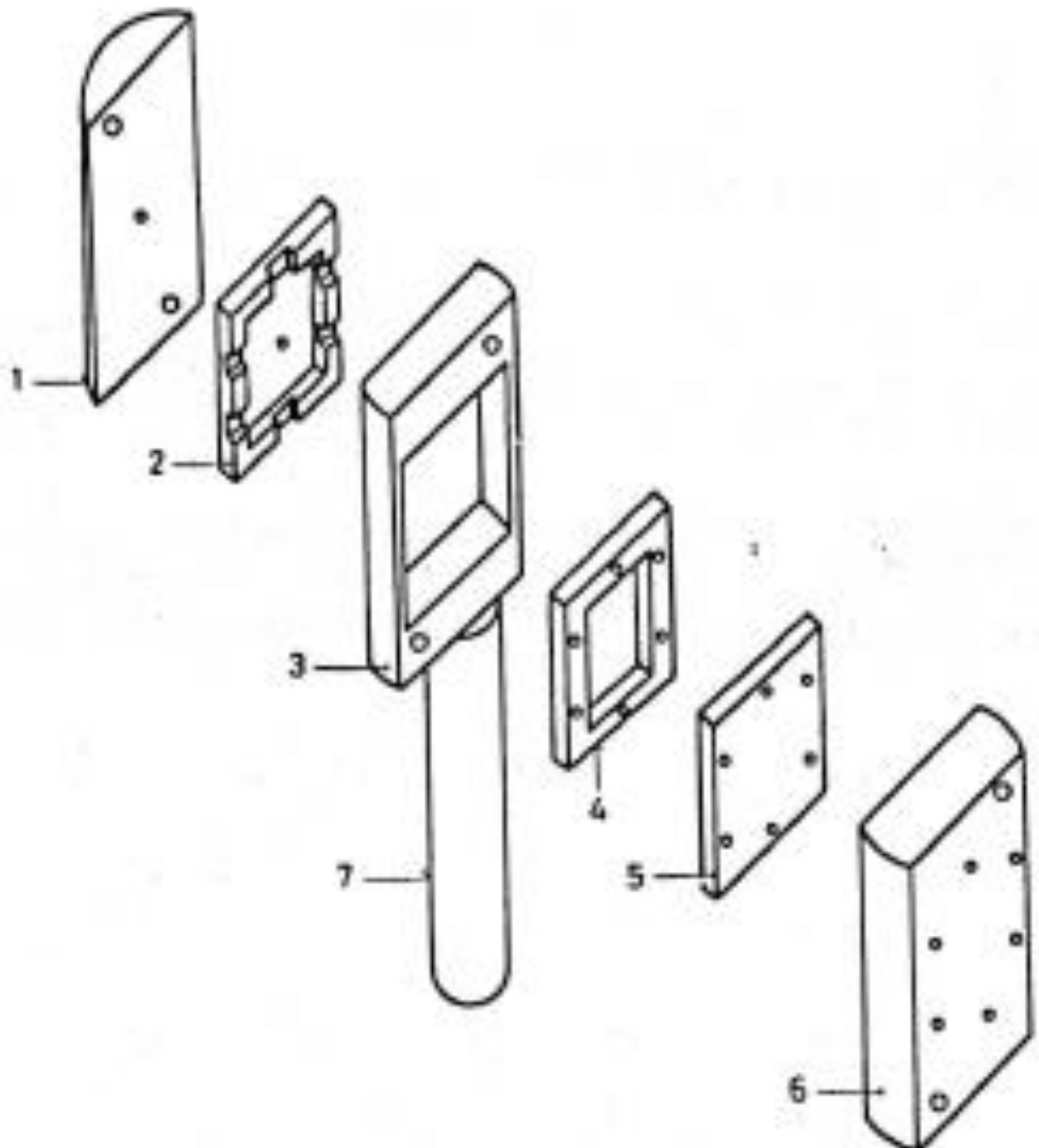


Fig. 3.

GaP:Zn EPITAXIAL LAYERS

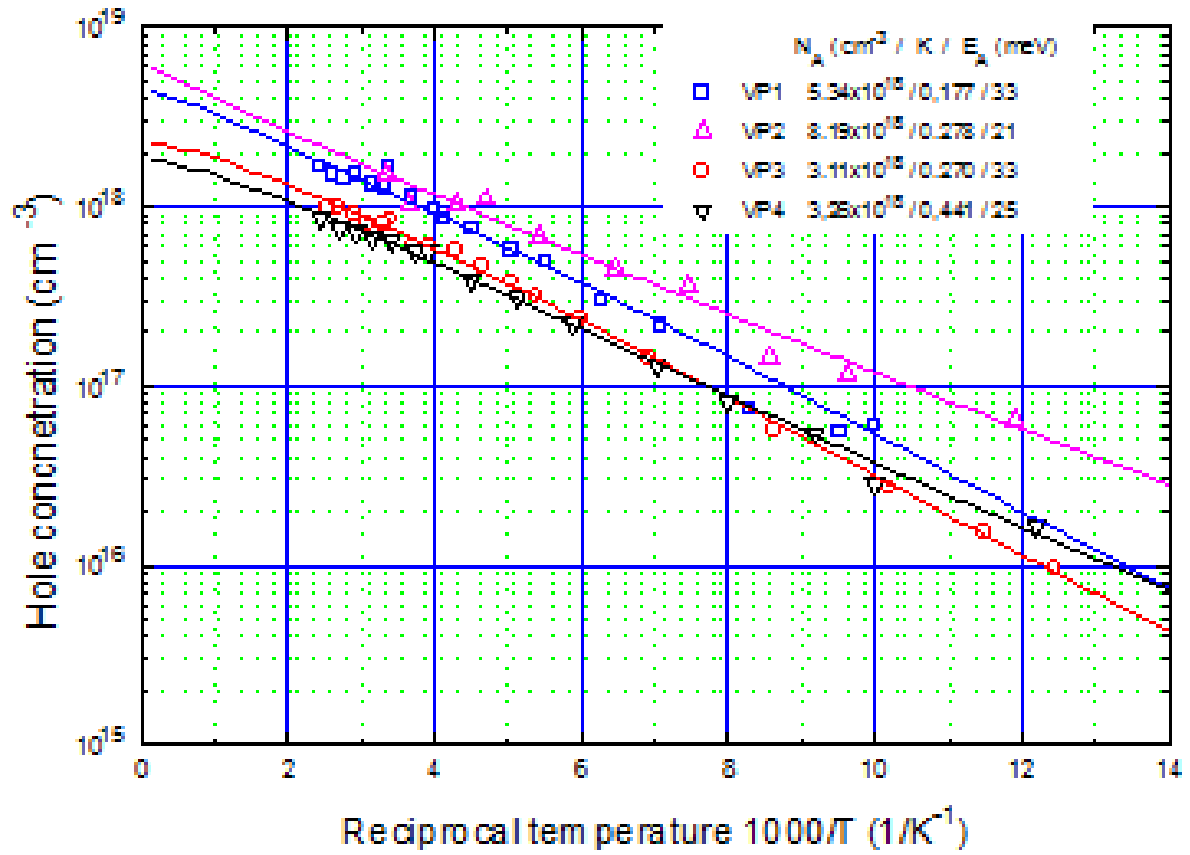


Fig. 4.

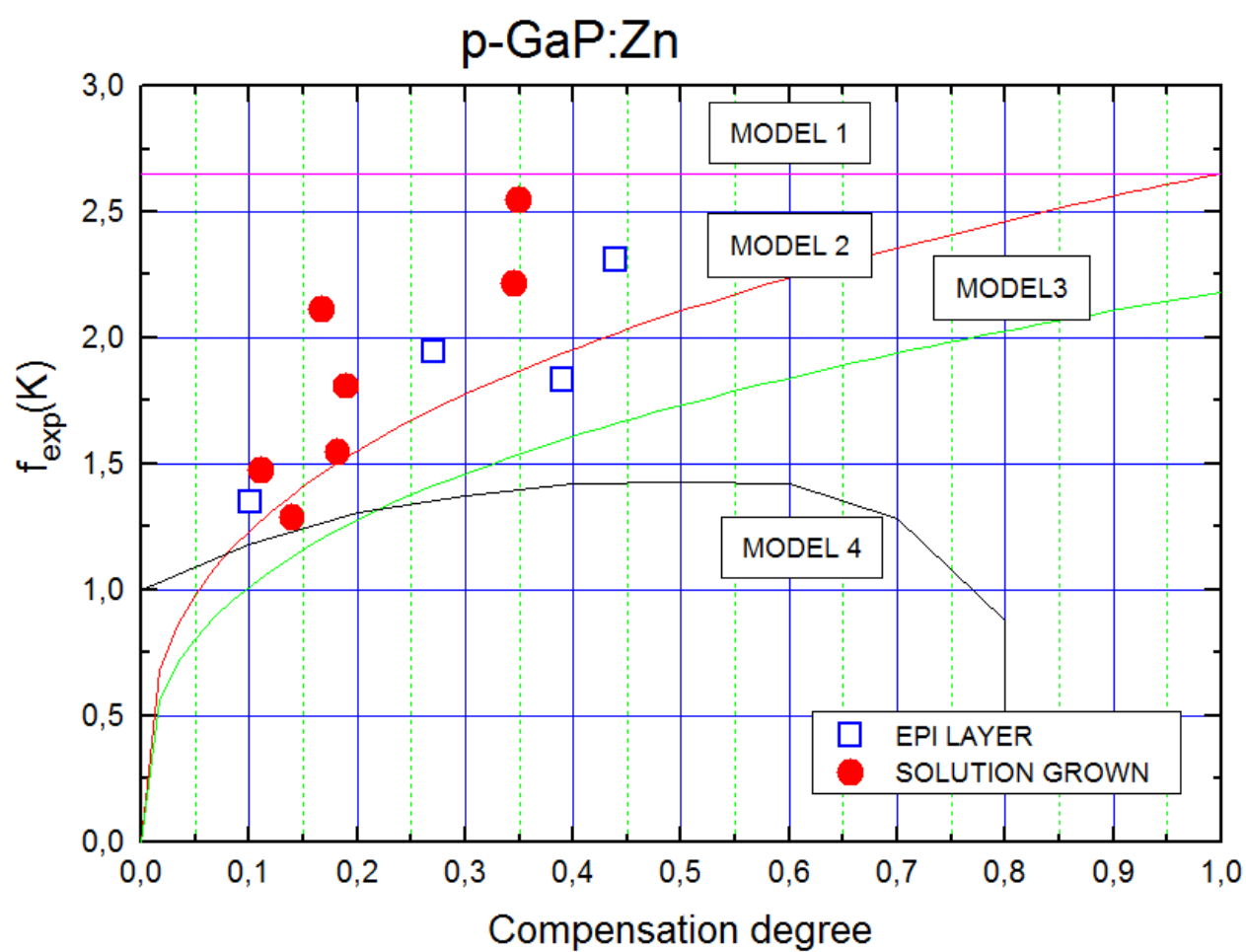


Fig. 5.

Napelemes oktatásunk jubileuma

Nemcsics Ákos

Mikroelektronikai és Technológia Tanszék, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Óbudai Egyetem; 1084 Budapest, Tavaszmező utca 17.

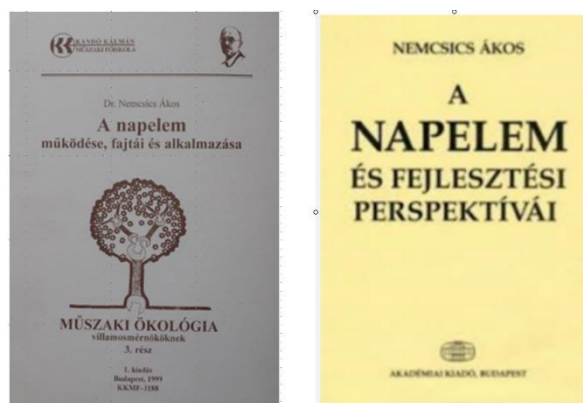
Abstract: Az Óbudai Egyetemen a napelemes oktatás 25 éves múltja tekint vissza. Ennek apropóján tekintjük át az elmúlt időszakot. Jelen dolgozatban először a teljes-féléves tantárgy programját mutatjuk be. A tematika áttekintése után az a negyedszázad során elért eredményeket taglaljuk.

Keywords: napelem; oktatás; alkalmazás;

1 Bevezetés

Az Óbudai Egyetemen ill. jogelődeiben, a Budapesti Műszaki Főiskolán ill. a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskolán immár 25 éve folyik napelemes oktatás. Az idén negyedszázados tantárgy első kurzusa 1999-ben került indításra. A Napelemek című tantárgy ill. kurzus egy teljesféléves oktatási program, ami azóta is töretlenül része az oktatásunknak. A tantárgy a napelem működésének fizikai alapjaitól a napelem fajták bemutatásán át az alkalmazások különböző aspektusainak tárgyalásáig terjed. Ezzel a teljesféléves, a szakterület minden részét tárgyaló tematikával országosan mindenképpen egyedülállóak vagyunk az oktatási palettán, de valószínű, hogy nemzetközi kitekintésben sem találni sok ilyen átfogó tematikájú teljesféléves képzést.

A kétezres évek előtt nálunk még nem volt nagy publicitása a megújuló energiák kiaknázásának, különösen nem a napelemes alkalmazásoknak. Ilyen tekintetben is úttörő jelentősége volt ill. van az említett tantárgynak. Az oktatást segítő, a kurzus tantervébe kerülésével egyidőben egy tankönyv is megjelent [1]. A Főiskola gondozásában kiadott tankönyvet pár évvel később kissé átdolgozott formában az Akadémiai Kiadó is megjelentette [2] (1. ábra). Az időben elkezdett oktatásunknak is köszönhető, hogy a későbbiekben egyre szaporodó napelemes vállalkozások, beruházások, szakhatóságok stb. szakemberei többnyire az egykori napelemes hallgatóink közül kerültek ki. Bátran kijelenthetjük, hogy hazánkban a napelemek kutatása, oktatása és alkalmazása területén Egyetemünk megkerülhetetlen tudásközponttá vált.



1. ábra

A tantárgyhoz tankönyv is készült, amelyet átdolgozott formában az Akadémiai Kiadó is megjelentette.

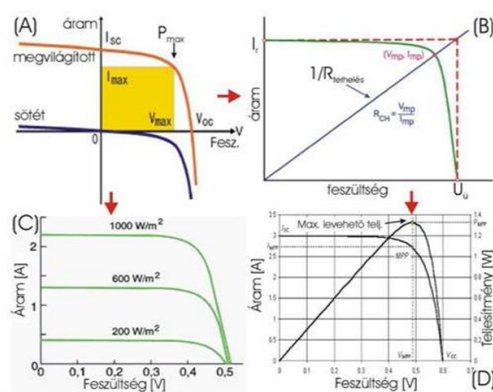
2 A tantárgy tematikája

2.1 A napelemműködés fizikai háttere

A tantárgy ill. tematikája három fő részre tagolódik. Az első részben a napelem működéséhez szükséges tudományos hátteret alapozzuk meg. A napenergia és hasznosítása különleges helyet foglal el a megújuló energiák között, ugyanis a legtöbb megújuló forrás visszavezethető a napenergiára. A napenergia hasznosítása is felosztható aktív és passzív módra. A napsugárzás spektruma és a benapozás kérdése is fontos a számunkra.

A fentiek bemutatása után következik a fotovoltai hatás és a napelem felépítésének tárgyalása. A napelem is egy olyan félvezető eszköz, mint a dióda vagy a tranzisztor csak a laterális méretei nagyobbak, ezért a technológiája is eltérő. A tárgyalás az elektronikai és fizikaoktatásunkra alapoz, de több szempontból túl is mutat azon. A fizika- és elektronika-oktatás a félvezetők tilos-sávját ismerteti, de annak szerkezetét nem tárgyalja. Itt jelentősen túllépünk a korábbi ismereteken, hiszen itt egy optikai eszközről van szó, melynek működését alapvetően befolyásolja a félvezető energiasáv-struktúrája. Így tárgyaljuk a direkt és indirekt félvezetőket. Az alapoknál az egyszerű pn-átmenetes struktúrát vesszük alapul. Tárgyaljuk az eszköz karakterisztikáit. A kitöltési tényezőt, a hatásfokot stb. (2. ábra).

A kristályszerkezet, a kristályhibák energetikai hatása, a határfelületek, a heteroátmenetek jelentős szerepet kapnak a napelemműködés megértésében. A rekombinációs mechanizmusok, a kontaktusok, az antireflexiós rétegek működésének megértése szintén nagy jelentőséggel bír. A kvantumbehatárolás, az alacsonydimenziós rendszerek az újfajta struktúráknál kap fokozott jelentőséget.



2. ábra

(A) az áram-feszültség karakterisztika; (B) az ideális és a reális karakterisztika; (C) a besugárzás-függés; (D) a levehető maximális teljesítmény

2.2 A napelemfajták

A következő fő egység a napelemfajták és technológiájuk tárgyalása. A napelemeknek igen sok fajtája van. Vannak a tömbi anyagon készültek és vannak a vékonyréteg napelemek. Az alapanyagot tekintve vannak az elemi félvezetőkből és vannak a vegyület-félvezetőkből készültek. A kristályos szilícium alapú a legismertebb. A polikristályos az alapanyag-technológiában tér el. Az előállítás jóval

egyszerűbb, míg a hatásfokban minimális a csökkenés. A vékonyréteg napelemek legismertebb képviselője a hidrogénezett amorf-szilícium napelem. Ennek abszorpciós tulajdonságai kiválóak. Ennek a tulajdonságnak a következményeként a napszakra és a meteorológiai viszonyokra kevésbé érzékeny.

Mostanában egyre inkább feljövőben vannak az ún. kalkogenid alapú napelemek kutatása, gyártása és alkalmazása. Itt a CuInGaSe_2 és hasonló napelemeket kell megemlíteni. A napelemek között különleges helyet foglalnak el a GaAs és rokon anyagokból készülő napelemek. Az optimális energiasávszerkezet okán az anyag tökéletes a napenergia konverzióra. Napjainkban a világűrbe csak ilyen alapanyagból készült napelemeket juttatnak ki. Alacsony-dimenziós struktúrákat beépítve a hatásfok drasztikusan emelhető. A hagyományos szilícium alapú napelemek hatásfoka 20% alatti. Ezeknél az újfajta GaAs-alapú napelemeknél a hatásfok magasan szárnyal (40 – 60 – 80%). Felmerülhet a kérdés, miért foglalkozunk ilyen napelemekkel egy környezetbarát szemléletű tantárgyban? A világűri feljesztések előbb-utóbb megjelennek a hétköznapijainkban is. Elég csak pl. a teflonra utalni. Egyébként a fentemlített alacsonydimenziós struktúrát tartalmazó napelem-típus már megjelent a földi alkalmazásban is. A napelemfajták között tárgyaljuk az elektrokémiai napelemet, amellyel nemcsak elektromosság, hanem hidrogén is előállítható, mellyel az energiatárolás problémája lenne megoldható. Tárgyaljuk még a polimer-alapú napelemeket. Továbbá az igen vékony és hajlítható hordozóra felvihető napelem struktúrákat is.

2.3 A napelemek alkalmazása

A tantárgy tematikájának harmadik nagy területe az alkalmazásoké. A napelemes rendszereket használhatjuk sziget-üzem módban és hálózatra-kapcsolt módban is. Az előbbinél az akkumulátor töltést kell megoldani, ahol az időjárás- és napjárás-függő kimeneti teljesítményváltozás a környezeti adottság. Míg a második esetben a váltakozó áramú hálózatra való csatlakozás egy ún. inverteren keresztül valósul meg. Ezek áramköri megoldása szintén mérnöki feladat. Az alkalmazások esetén a napelem kerülhet tetőre, zárvédő falra stb. Az építészeti alkalmazások esetén külön kategória a homlokzatra kerülő ún. függőfalas megoldás. Napelem kerülhet magastetőre és lapostetőre egyaránt. A magastető megoldásnál lehetséges az átszellőztetett elrendezés. Héjazatként is használható. Érdekes alkalmazási irányzat a pikkelyfedésként való felhasználás. Általában nem szokták tárgyalni, de nagyon fontos aspektus az esztétika. A napelemek utólagos installálása mellett egyre inkább terjed, hogy napelemmel tervezik a házat. A napelem ugyanúgy, mint pl. bármely szilikátipari termék, építőeleme egy lehetséges háznak. Ha az építész esztétikusnak találja, beletervezi a házba. Itt kell megemlítsük az amorf-szilícium napelemet, amely semleges, szép felületével különösen alkalmas erre a feladatra.

3 Napelemes eredményeink

3.1 Tudományos eredmények

A negyedszázados futamidő alatt több napelemekhez kapcsolódó tudományos projektjeink voltak, melyeket csak tematika szintjén említjük meg. Az egyik az amorf-szilícium technológiához kötődik. A jelenleg használt technológiával (chemical vapour deposition) gyártott napelemeknél megfigyelhető

egy bizonyos fokú hatásfok-degradáció, ami idővel telítésbe megy. Ennek az effektusnak kiküszöbölésére egy másik technológiával (sputternig) végeztünk kísérleteket. Egy következő kutatási projektünk az elektrokémiai napelemekhez kötődik. Ezen típus nagy problémája a fotokorrózió. Amelyik anyag ellenáll ennek a hatásnak az általában nem jó napenergia konverzió, ami jó lenne az elkorrodál. Kollégákkal találtunk egy anyagot (Cd_4GeSe_6), ami ennek a korrózió ellenáll, de itt előállítási problémák vannak. Az egyik fő tudományos aktivitásunk a GaAs alapú struktúrákkal, napelemekkel kapcsolatos.

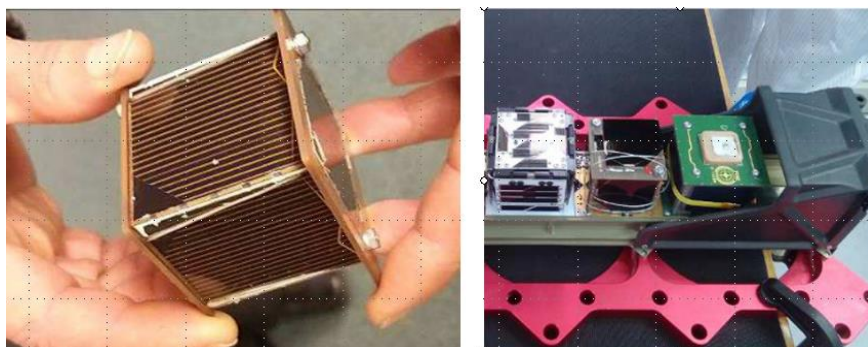
Itt említendő a Magyar Napelem és Napkollektor Szövetséggel történt gyümölcsöző együttműködésünk, melynek következménye, hogy több alkalommal is Egyetemünk adott helyet a Solár Konferenciáknak.

3.2 Műszaki és oktatási eredmények

A tantárgyhoz több hallgatói ill. műszaki projekt is kapcsolódott. Az első, amit említünk, technológiai jellegű. A tantárgyunk bevezetésével szinte egy időben jelent meg budapesti telephellyel egy egykori házgyár épületében az amerikai-magyar tőkéből induló magyar szabadalmon alapuló napelem gyár. A telepítést követően a gyártás indulását még évekig tartó fejlesztések, kísérletek előzték meg. Ez volt az amorf-szilícium alapú tandem napelemeket gyártó Dunasolár Napelemgyártó Rt. Itt voltak jó szakmai kapcsolataink, ahol hallgatói üzemlátogatásokat szerveztünk, ill. bekapcsolódtunk a fejlesztésekbe. Több szakdolgozat is készült a témából valamint végzett hallgatóink találtak itt munkát. Hasonlóan jó kapcsolatokat ill. üzemlátogatásokat alakítottunk ki a ráckevei Korax Gépgyártó napelemes összeszerelő részlegével. Továbbá az esztergomi Sanyo napelemgyárban is rendszeres látogatók voltunk, ahol szilícium-alapú amorf/kristályos heretoátmenetes eszközöket gyártottak. Hasonlóan aktív kapcsolatot ápolunk a KFKI telephelyén több kutatócsoporttal.

A további hallgatói projektek inkább az alkalmazáshoz kötődtek. Vezérlő, töltő és inverter kapcsolások tervezése megvalósítása több sikeres szakdolgozat témája volt. Családi házas és ipari méretű napelem-installálási feladatokat oldottak meg hallgatóink, melyek több esetben is szakdolgozat formájában öltöttek testet. Az utóbbi néhány évben a zöldmezős napelem-erőművek elszaporodását tapasztalhattuk meg. Kézenfekvőnek látszott ezek építési folyamataiba betekintést nyerni. Üzemlátogatások során sok tapasztalatot szereztünk. A kivitelezés során sajnos több anomáliát is meg tapasztalhattunk, ami nem erősítette a gazdák technológia iránti bizalmát.

Itt egy napelem-alkalmazási büszkeségünket kell még megemlítenünk. A fent említett GaAs-alapú nano-struktúrák kutatásainknak köszönhetően kaptunk egy műegyetemi felkérést. A munka a nemzetközi hallgatói cube-sat projekttel kapcsolatos. A Műegyetem korábbi sikeres szilícium-napelemes műhold-projektje (MASAT $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) után meg szeretett volna próbálkozni az újabb generációs $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ méretű (SMOG) műhoddal. A sokkal kisebb felület nagyobb hatásfokú napelemért "kiáltott". A feladatra az igen nagy hatásfokú kvantum-völgyes GaAs napelem volt a megoldás. Ennek installálásában kérték a segítségünket. A probléma sikeres megoldásával a magyar műhold lett a nemzetközi mezőnyben a legsikeresebb, valamint a leghosszabb ideig maradt fent az űrben (3. ábra). Ezzel a projekttel nemcsak hazánknak, de az Óbudai Egyetemnek is elismerést szereztünk.



3. ábra

A hallgatói CUBE SAT projekt. A műhold oldalán az általunk installált GaAs-alapú multi-quantum-well igen nagy hatásfokú napelem

Összegzés és kitekintés

A fentiekben a negyedszázados napelemes tantárgyunkról és a hozzá kötődő oktatási és tudományos aktivitásunkról számoltunk be. A tantárgyunk nem csak úttörő volt a maga nemében, de a tematikájával és annak mélységével máig egyedülálló a hazai felsőoktatásban. A tantárgy módosulata a nano-struktúrák napelemek súlypontba helyezésével angol nyelvű prezentáció-sorozatban is elkészült (TÁMOP projekt keretében). A napelemekhez kötődően több anyagtudományi munka is született. Talán ennek az aktivitásnak is köszönhető, hogy a nemzetközi Szolár Konferencia sorozatnak több ízben is Egyetemünk volt a házigazdája. Az egyik legutóbbi sikeres projektünk a hallgatói cube-sat volt, ahol a napelem-installálás sikeres megoldásával hozzájárultunk a hazai felsőoktatás és kutatás nemzetközi elismertségének növeléséhez, egyben öregbítettük Egyetemünk hírnevét is. Itt említendő meg, hogy részben a napelemes oktatásunk szolgált alapul a közelmúltban indított napelemes szakmérnöki képzésünknek is. Napelemes szakdolgozatok mellett a doktori iskoláinkban is megjelentünk napelemes témákkal. A napelemes aktivitásunk elismerése COST projektbe való meghívásunk, doktori bírálatokra való felkéréseink. A napelemes projektek körül kialakult csapat a biztosíték, hogy lesz folytatása eddigi munkánknak.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki dr. Turmezei Péternek, aki 1999-ben dékánként támogatta a tantárgy bevezetését. További köszönet illeti a tantárgy hallgatóit, akik érdeklődésükkel, kérdéseikkel hozzájárultak a tantárgy formálódásához. Továbbá köszönet illeti a tudományos és ipari partnereinket is akikkel a negyedszázad alatt szakmai kapcsolatba kerültünk.

Hivatkozásjegyzék

- [1] Nemcsics Ákos: A napelem működése, fajtái és alkalmazása; KKMFI kiadója Bp. 1999.
- [2] Nemcsics Ákos: A napelem és fejlesztési perspektívái; Akadémiai Kiadó, Bp. 2001.

25 éves az Ökológikus műszaki konstrukciók című tantárgy

Nemcsics Ákos

Mikroelektronikai és Technológia Tanszék, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Óbudai Egyetem; 1084 Budapest, Tavaszmező utca 17.

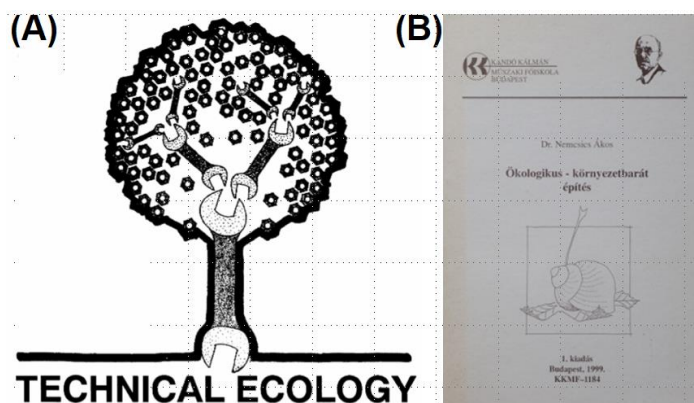
Abstract: Az Óbudai Egyetemen az Ökológikus műszaki konstrukciók c. tantárgy 25 évvel ezelőtt került bevezetésre. A kerek évforduló kapcsán bemutatjuk a tantárgyat és áttekintjük az elmúlt időszak alatt a hozzá kapcsolódó tudományos és oktatási projektjeinket. A tantárgyhoz több külső-helyszínesprojekt is tartozott, melyek közül kiemelkedik a húsz even át tartó öko-tábor-sorozatunk, melynek külön fejezetet szentelünk.

Keywords: környezetbarát megoldás; ökológiai lábnyom; anyag takarékoság; energiahatékonyság, fenntarthatóság

1 Bevezetés

Az Ökológikus műszaki konstrukciók című tantárgy az Óbudai Egyetemen ill. jogelődjeiben 25 éves múlttra tekint vissza. A tantárgy a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskolán ill. később Karon került bevezetésre.

Az 1999-ben indult tantárgy később az Egyetemünk ill. jogelődje több karán is az oktatás része lett. Az első kurzus indulásának évben tankönyv is kiadásra került [1]. A tankönyv egy több részesre tervezett ökológiai szemléletű sorozat egyik tagja. A sorozat logója a villáskulcsokból és csavarokból előállító fát szimbolizál (1. ábra). A környezetbarát mérnöki szemlélet kialakítása mindig is fontos szempont volt az oktatásunkban. A tantárgy a globális fenntarthatóság szempontjaitól a megújuló energiák kiaknázásán át a biológiából elleshető a műszaki életben is hasznosítható célszerű konstrukciókig terjed. A magyar és angol nyelven oktatott tantárgyhoz több hallgatói projekt is társult. A gyakorlati oktatás jegyében üzemlátogatásokat, tanulmányi kirándulásokat és tudományos projekteket valósítottunk meg. A legismertebb projektünk a nyári ökotábor-sorozatunk.



1. ábra

(A) A Műszaki Ökológia tervezett tantárgy-sorozat logója; (B) Az Ökológikus műszaki konstrukciók c. tantárgyhoz készült Ökológikus – környezetbarát építés c. tankönyv

2 A tantárgy felépítése

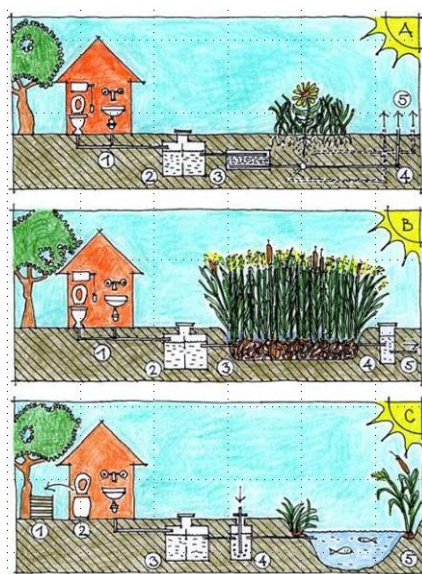
A tantárgy a jellegéből adódóan szemléletformáló és több diszciplinát is érint. A globális környezeti problémák tárgyalásával indul a tematika. A globális történésekkörnyezeti viszonyok megvizsgálása során előkerül a Római Klub jelentése, az ökológiai lábnyom számításának kérdése is. A globális rendszereknek egyrészt van egy determinisztikus viselkedése, melyet egy egyensúlytól távoli hatás perturbál. Ennek köszönhető, hogy a lokális és globális időjárás hosszú távra nem előrejelezhető. Ez az oka továbbá a szezonális és a még nagyobb távú ingadozásoknak is. Ezért nehéz az időjárási tendenciákat (pl. globális felmelegedés) bizonyítani. Természeti környezetünk változását, pusztulását más szimptómák is jelzik, bizonyítják. Ezek tárgyalása és megértése nagy reveláció a hallgatók körében.

A tantárgy tematikája az anyagtakarékos, gondozásmentes, energiatakarékos koncepció és megoldások tárgyalásával folytatódik. Ide kapcsolódik a megújuló energiák kiaknázása. Itt végigmegyünk a energiafajtákon és kiaknázási lehetőségein. Környezetbarát szempontból rangsort állítunk fel, ha rendelkezésre állnak alternatívát. Példákkal is illusztráljuk az egyes kiaknázási lehetőségeket. A passzív napenergia-kiaknázás az üvegházhatáson alapul. E hatás felhasználásával passzív módon nemcsak fűthetünk, de a ventilláció kihasználásával hűteni is tudunk.

A fentiekhez kapcsolódóan a tematikában hangsúlyos szerepet kap az épített környezettel, valamint az egyén által követhető mintákkal kapcsolatos aspektusok. Fontos szempont a gondozásmentes, nagyfajhőjű, nyomtáékmentes szerkezetek alkalmazása. Szezonális hőingadozás kiegyenlítésére elődeink építési kultúrájában (történelmi ill. népi építészet) is találunk számtalan követendő példát. A konvekció, a természetes ventilláció egyaránt kiaknázási lehetőségek az energia hatékonyság tekintetében. Természetes módon adja magát alkalmazásra a föld, mint helyi- és nagyfajhőjű építőanyag. Ennek a megoldásnak egyik, nagy hagyományokra visszatekintő válfaja a vályog-építészet.

Városi környezetben különösen aktuális téma a hulladék és szennyvíz kezelése (2. ábra). A "kezelés" helyett kiaknázható alternatívát jelent a hulladéktmentes gazdálkodás és életvitel. A korrekt szennyvízkezelés alapvető fontosságú a felszíni és felszín alatti vizeink elszennyeződésének megakadályozásában. A nagyüzemi tisztítás mellett kitérünk a kistelepülési és egyéni megoldási lehetőségekre is.

A tantárgy tematikájának egyik érdekes területe a biológiából elleshető, a műszaki életben is haszonnal alkalmazható konstrukciók tárgyalása. Az egyik legismertebb konstrukciós példa a természetes ventillációval rendelkező termeszház. Anyagtudományi aspektusból a kompozit anyagoknak megfelelője a sárból és növényi szálakból állatok által épített fészkek, lakhelyek. Ezekhez hasonló konstrukciók megtalálása meglehetősen nagy kreativitást igényel. A hallgatók nagyon szívesen vetik be magukat ilyen konstrukciók keresésébe.



2. ábra

Alternatív szennyvízkezelés (A) szivárogtatós, (B) gyökérzónás, (C) szeparációs

1 Hallgatói projektek

1.1 Féléves vagy rövidebb projektek

A tantárgy jellegéből adódóan nemcsak ismeretátadás a célja hanem megfogni habituálisan is a hallgatóságot, azaz rávezetni őket az ökológikus szemléletmódra. Ezt segítik a gyakorlatok és külső látogatások. A tanuláson, megértésen túl a habituális megérintés, meggyőzés egyik kiemelkedően hatékony módja a személyes megtapasztalás. Ez legegyszerűbben szakmai kirándulások révén valósulhat meg. Az előadásokon túl a gyakorlatok lehetőséget biztosítanak egy-egy terület részleteiben való elmélyülésben ill. hallgatói megosztásban. Fontos észrevennünk a fejlődési státuszunkat. Nem kis reveláció volt megtapasztalni, hogy az elmúlt század fordulóján a nagyvárosi szennyvíz és hulladék kezelést illetően még a világ élvonalában voltunk. Ennek megfelelően kirándulást tettünk a Cséry-telepre és a Ferencvárosi szennyvíztelepre. A házi szennyvíztisztítást illetően látogatásokat tettünk működő ilyen rendszerekben [2 - 5].

1.2 A szemesztereken átívelő, húszéves projektünk

A szakmai kirándulásokon kívül hallgatói kezdeményezése belekezdünk egy természeti környezetben megvalósuló ökotábor-sorozatba. A sorozat 2003-ban indult. A tábor infrastruktúrájától mentes környezete jó lehetőség a környezetbarát, természethez igazodó életmód és viselkedés megtapasztalására. A tábor évente kb. tíz nap kivonulást jelentett. Ahhoz, hogy fennmaradjon az érdeklődés egy táborokon átívelő vezérfonala is volt a sorozatnak. A tábornak a vadregényes Gerecse hegység adott helyszínt. A táborunk közelében egy középkori falu feltárása zajlott. A középkori falu kör alaprajzú plébániatemplomának autentikus rekonstrukcióját végeztük korabeli technológiával. A tudományos háttérrel rendelkező rekonstrukciós tervet a szerző készítette [6]. A rekonstrukció építőmestere a korabeli kivitelezésekhez igazodva maga a tervező volt [7]. Munkáinkkal amellet, hogy a felvállalt környezetnevelési célkitűzéseinknek eleget tettünk, még új tudományos eredményekre is szert tettünk. Az első évben a tereprendezéssel és az alapárok kiásásával, az alapozással végeztünk. Az elkövetkező években a helyi kőbányából származó megmunkálatlan kövekből emeltük a falat. Az építés az egy méter széles falakról történt. Az építés második harmadától az apszis és a hajó boltozása okozott nagyobb kihívást. 2022-re lett szerkezet-kész az

épület. Az ünnepélyes megáldás és használatbavétel 2023 tavaszán történt (5. ábra). Az építésben részt vettek a Kandó Kar, a Rejtő Kar és a Keleti Kar hallgatói, akik tanulták ezt a tantárgyat. Rajtuk kívül jöttek még hallgatók más egyetemekről, de részt vettek Erasmus-os hallgatók is. (Ahogy elkészült a templom, felvetődött az építők részéről a lehetséges folytatás.)



3. ábra

Az ökotábor-sorozat során épülő rekonstrukció négy jellemző állomása: (A) a kezdet, az alapárok kiásása; (B) életkép a falépítés folyamatáról; (C) a boltozat építése; ((D) a kész templom ünnepélyes megáldása

Összegzés és kitekintés

A mérnökképzésben a környezeti nevelés speciális tematikát igényel. Az ismeretátadás mellett a mérnöki kreativitást igénylő projektekkel hatékonyabban mélyíthető a tudás, erősíthető az elköteleződés a környezetbarát szemlélet iránt. A két és fél évtizeddel ezelőtt bevezetett tantárgyhoz a kezdetek óta kötődtek tantermi oktatáson kívüli szakmai látogatások, további projektek. A pozitív hallgatói visszajelzések nyomán indult a nagysikerű ökotábor-sorozatunk. A sorozatot egy középkori épületrekonstrukció fűzte egy projektté. A tábori projekt komoly fizikai és mentális kihívás elé állította a hallgatókat, ennek ellenére mindig volt elegendő résztvevője a fakultatív öko-tábornak (Nemcsics 2024). A rekonstrukció elkészült, de folytatáson gondolkodtunk. Tovább lépési lehetőséget egy tanösvény megvalósításában látjuk.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a támogatásért dr. Turmezei Pétert, akinek a dékánsága alatt, 1999-ben került bevezetésre az Ökológikus műszaki konstrukciók c. tantárgy. Továbbá, köszönet illeti a Kandó Kar vezetése mellett a Keleti Kar és a Rejtő Kar vezetését is a tantárgy tantervbe vételéért, valamint támogatásukért. Nagy köszönet illeti a kurzusok hallgatóit inspirációjukért, érdeklődésükért amivel hozzájárultak a tantárgy formálódásához. Továbbá különös köszönet illeti a hallgatókat (ill. egykori hallgatókat), akik a két évtizedes, nagy projektünk inicializálásában, megvalósításában részt vettek.

Hivatkozásjegyzék

[1] Nemcsics Á. (1999): Ökológikus – környezetbarát építés; KKMFI Kiadója, Budapest

[2] Nemcsics Á. (2003): Budapest hulladékkezelése száz évvel ezelőtt; A Cséry-telep; KukaBúvár IX. évf. 3. sz. pp 14-15.

[3] Nemcsics Á. (2004/1): A szennyvíztisztításról másképpen; KukaBúvár X. évf. 2. sz. pp 20-23.

[4] Nemcsics Á. (2004/2): A Cséry-telepről még egyszer; KukaBúvár X. évf. 4. sz. pp 38-39

[5] Nemcsics Á. (2015): In House Developed Domestic Compost-Toilet and Twenty Years Experience; Debreceni Műszaki Közlemények; vol. 1 pp 11-19.

[6] Nemcsics Á. (2011): Contribution to a Round Church Reconstructed from its Foundation Wall; Pollack Periodica vol. 6 no 1 pp 87-98.

[7] Nemcsics Á. (2012): New Conception to the Mediaeval Building Technology Using Uncut Stones Based on a Rotunda Reconstruction; Pollack Periodica vol. 7. no. 1 pp 39-50.

Kisvállalkozások Nagy Kihívásai: Útmutató az Információbiztonsághoz

Répás József¹, Berek László², Bak Gerda³, Oláh Norbert⁴ Ujhegyi Peter⁵

Gábor Dénes Egyetem, Fejér Lipót u. 70, 1119, Budapest, Magyarország, e-mail: repas.jozsef@alverad.hu

Óbudai Egyetem, Egyetemi Könyvtár, Doberdó út 6, 1034, Budapest, Magyarország, e-mail: berek.laszlo@uni-obuda.hu

Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Népszínház u. 8, 1081, Budapest, Magyarország, e-mail: bak.gerda@uni-obuda.hu

Debreceni Egyetem, Informatikai Kar, Adattudomány és Vizualizáció Tanszék, Kassai út 26, 4028, Debrecen, Magyarország, e-mail: olah.norbert@inf.unideb.hu

Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Népszínház u. 8, 1081, Budapest, Magyarország, e-mail: ujhegyi.peter@uni-obuda.hu

Abstract: Az információbiztonság egyre fontosabb szerepet játszik a kis- és középvállalkozások (KKV-k) életében, mivel a kiberfenyegetések és az adatvédelmi szabályozások folyamatosan növekvő kihívásokat jelentenek. Az IBM 2023-as jelentése szerint az adatvesztés átlagos költsége világszerte 4,45 millió dollárra nőtt, ami a KKV-k számára hatalmas terhet jelenthet [1]. A KKV-k mintegy 43%-a vált már valamilyen kibertámadás áldozatává, gyakran azért, mert korlátozott erőforrásaik miatt nem képesek a megfelelő védelmi rendszerek kiépítésére [2].

A kontingenciaelmélet segít megérteni, hogy a szervezeteknek nincs egyetlen, univerzális megközelítésük az információbiztonságra; minden vállalatnak a saját helyzetére szabott megoldásokat kell találnia. A biztonságtudatosság kialakítását befolyásoló tényezők közé tartozik a vállalat mérete, technológiai infrastruktúrája, iparága és a szabályozási környezet. A kisebb cégek rugalmasabbak lehetnek, de erőforrásaik szűkebbek, ezért egyszerűbb megoldásokat alkalmaznak. A Verizon 2022-es jelentése szerint a KKV-k elleni kibertámadások 60%-a olyan vállalkozásokat érint, amelyek technológiai és biztonsági költségvetése alacsonyabb az átlagnál [2].

A különböző helyzeti tényezők megértése révén a KKV-k olyan információbiztonsági stratégiákat alakíthatnak ki, amelyek illeszkednek saját igényeikhez és lehetőségeikhez. A testre szabott megközelítések támogatják a biztonság növelését és az információbiztonsági kockázatok hatékony kezelését, ezzel megelőzve az üzletmenetet fenyegető súlyos károkat.

Keywords: információbiztonság, befolyásoló tényezők, mérés

1 Bevezetés

Az elmúlt években a digitális transzformáció iránti érdeklődés jelentősen megnőtt mind a tudományos, mind az üzleti szférában [3-4]. Az új technológiák üzleti modellekre gyakorolt hatása miatt a digitális transzformáció az üzleti stratégiák középpontjába került, és a vezetőktől új készségek és kompetenciák elsajátítását követeli meg [5-6]. Az üzleti vezetők egyre fontosabb szerepet töltenek be a digitális átalakulás irányításában, amely nemcsak stratégiai tervezést és az alkalmazottak irányítását foglalja magában [7-8], hanem a változásokban való példamutatást is. Az ilyen transzformációkhoz szükséges vezetés a társadalmi befolyásolás és a szervezett csoportok célorientált tevékenységeinek összetett folyamatára épül [9-10].

A szervezetek többsége írott vagy informális információbiztonsági irányelveket alkalmaz. Az irányelvek meghatározzák, mi várható el az alkalmazottaktól. Az olyan modellek, mint a Technológiaelfogadási Modell (Technology Acceptance Model - TAM), segítenek előre jelezni a technológiák használatára irányuló szándékot [11]. Azonban ezek az elméletek nem feltétlenül képesek kezelni az információbiztonság teljes komplexitását. Az alkalmazottak gyakran mélységi

védelem alatt dolgoznak. Segítséget kaphatnak kollégáiktól vagy IT-szakemberektől. Az IT-szakemberek biztosítják a szoftverek megfelelő működését és az adatok mentését. Az alkalmazottaknak nem kell részletekbe menően érteniük a biztonsági technológiák működését. Ennek következményeként gyakori sérülékenységek például a gyenge jelszavak használata és a gyanús e-mail csatolmányok megnyitása gyakori problémák. Ezek a viselkedések nem mindig köthetők egy adott technológia elfogadásához. A szervezetekben általában felügyelet biztosítja az alkalmazottak viselkedésének ellenőrzését. Ez lehetővé teszi az incidensek felelőseinek azonosítását. Az információbiztonsági viselkedés egyedi a szervezeti környezetben. A szervezetek támogatott környezetet biztosítanak az alkalmazottak számára. Ez csökkenti a technológiaismeret szükségességét. A viselkedésformák nagy hatással vannak az információbiztonság hatékonyságára [12]. A kutatások segítenek az ilyen viselkedések megértésében és kezelésében. Ennek célja hatékonyabb stratégiák kidolgozása a biztonság növelésére.

2 Szakirodalmi áttekintés

Egyes kutatók szerint a munkahelyi információs és kommunikációs technológia (IKT) helytelen használatát gyakran figyelmen kívül hagyják, mint a kontraproduktív munkahelyi viselkedés (CWB) egyik megnyilvánulási formáját [13]. A jelenlegi tanulmány azt sugallja, hogy az információbiztonsági tudatosság (ISA) iránti alacsony szintű elköteleződés az IKT nem megfelelő használatának egyik aspektusa lehet. Ez különösen igaz akkor, ha az alkalmazottak digitális technológiák helytelen használata veszélyezteti a szervezet információbiztonságát.

Hadlington és Parsons [14] kutatása szerint a „cyberloafing” – vagyis a munkahelyi IKT személyes célú, nem munkával kapcsolatos használata – szoros összefüggésben áll az ISA elhanyagolásával. A gyakori cyberloafing alacsonyabb szintű információbiztonsági tudatossághoz vezetett. Az ISA hiánya a CWB egy formájának tekinthető, amint azt Carpenter és Berry [15] is alátámasztotta. Ők kimutatták, hogy a CWB gyakran összefügg az alkalmazottak visszahúzódnásával, amely a munkahelyi környezetből való távolmaradásban és az elkötelezettség csökkenésében nyilvánul meg [15].

Mivel az ISA az alkalmazottak aktív részvételét követeli meg, a részvétel hiánya komoly hatást gyakorolhat az egyéni és szervezeti információbiztonságra egyaránt. Az ilyen visszahúzódnás okai nemcsak a munkahelyi környezetben keresendők, hanem erkölcsi eltávolodásban is gyökerezhetnek, amely megnehezíti az alkalmazottak számára, hogy belsővé tegyék a biztonsággal kapcsolatos elvárásokat.

A KAB modellt (tudás, attitűd, viselkedés) az irodalom eltérően értékeli: Hermawan et al. [16] és An et al. [17] szerint a tudás és viselkedés között erős kapcsolat van. Kollmus és Agyeman [18] kritikával illeték a modellt, mivel túlzottan racionalista megközelítést alkalmaz, ami figyelmen kívül hagyhatja az érzelmi és szituációs tényezőket. Baranowski et al. [19] szerint a KAB modell tudáskomponense nem rendelkezik megfelelő tudományos támogatottsággal, és számos további tényező, például az önhatékonyság, befolyásolhatja a viselkedést. A modell hatékonysága csak akkor értékelhető hitelesen, ha a vizsgált változókat világosan definiálják, és ezek kapcsolata a viselkedésváltozás folyamataival összefüggésbe hozható. A KAB modell alkalmazása során figyelembe kell venni a viselkedést befolyásoló komplex tényezőket, hogy releváns eredményeket érthessünk el.

A kutatásunk kiinduló alapja a Human Aspects of Information Security Questionnaire (HAIS-Q) nevű modell volt, melyet a szakirodalmi áttekintésünk és elemzésünk eredménye indokolt. Ez a mérőeszköz több kutatás során is alapos tesztelésen esett át [14, 20-21]. Maga a modell, illetve a

kapcsolódó kérdőív 63 elemből áll, felhasználók viselkedését, tudását és attitűdjeit méri hét kulcsterületen [21] keresztül.

A HAIS-Q (Human Aspects of Information Security Questionnaire) széles körben használt eszköz az információbiztonsággal kapcsolatos emberi tényezők mérésére, különösen az információbiztonsági tudás, attitűdök és viselkedés (KAB) hármására fókuszálva [14]. Azonban az eszköz a gyorsan változó technológiai környezet és a fenyegetések evolúciója miatt idejét múltnak tekinthető. Először is, a digitális környezet az elmúlt évtizedben jelentősen átalakult: az új technológiák, például a mesterséges intelligencia, a felhőalapú megoldások és a távoli munkavégzés elterjedése új típusú fenyegetéseket és biztonsági kihívásokat hozott létre [22-24].

Másrészt a HAIS-Q eredeti kérdéskörei, mint például a jelszókezelés vagy az e-mailhasználat, nem feltétlenül tükrözik az új generációs kiberbiztonsági kihívások sokszínűségét, például a social engineering vagy a deepfake-technológiák hatásait [25]. Továbbá a kérdőív statikus természete kevésbé alkalmas arra, hogy dinamikusan alkalmazkodjon az új technológiai és társadalmi fejleményekhez. Az emberi viselkedés digitális környezetben bekövetkező változásai, például a generációs különbségek és a digitális kultúra formálódása, további átdolgozást igényelnének [26].

Ezért szükség van az eszköz felülvizsgálatára és kiterjesztésére, hogy megfelelően mérje az új technológiai környezetre adott emberi válaszokat, és hatékonyabban szolgálja a szervezeti információbiztonsági stratégiák kidolgozását. A modernizált eszköznek figyelembe kellene vennie a technológiai fejlődés gyors tempóját és az ebből eredő új fenyegetések spektrumát.

A jelenlegi kutatás elsődleges célja a napjaink kihívásait figyelembe vevő és azokra reagálni tudó mérőeszköz fejlesztése, szem előtt tartva, hogy az egyéni különbségek hogyan kapcsolódnak az információbiztonsági tudatossághoz (information security awareness, ISA). A kutatás korábbi eredményekre épít, amelyek szerint számos, egyéni tényező, a szociodemografikus tényezőkön túl, közvetlenül összefügg a kontraproduktív munkahelyi viselkedéssel (counterproductive work behaviour, CWB), amely elméletileg magában foglalhatja az információbiztonsági tudatossággal kapcsolatos aktivitások elkerülését is a munkahelyen.

Az attitűdök és a tudás jól ismertén befolyásolják a viselkedést [27-28], ugyanakkor ezek maguk is egyéni jellemzők, például a kultúra, a szervezeti háttér és a technológiai beállítottság által befolyásolhatók.

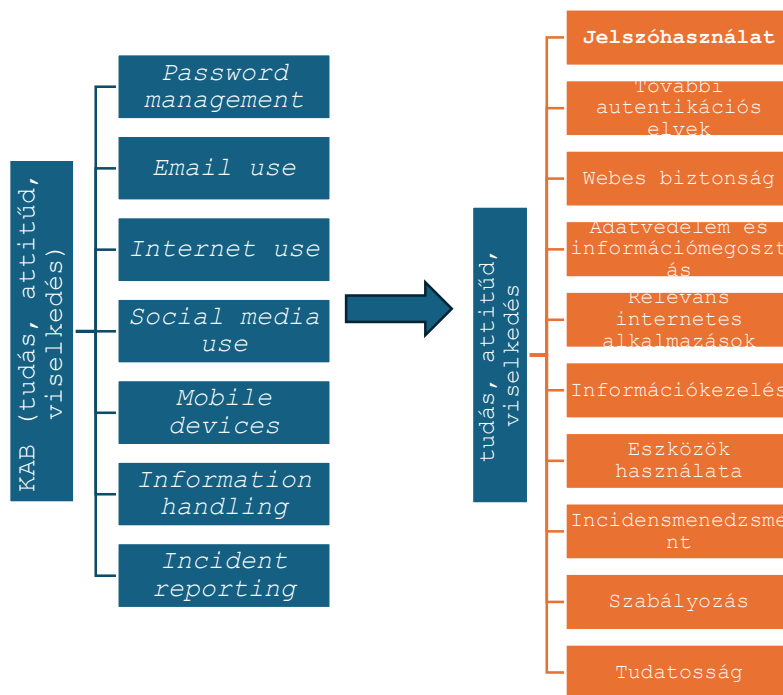
3 Módszertan

A kontingenciaelméletre alapozva a modellalkotás folyamata összetett és több lépésből álló munka, amely során a szervezetek és vezetési gyakorlatok közötti kapcsolatok változékonyságának figyelembevételével alakítunk ki egy dinamikus modellt. A kontingenciaelmélet lényege, hogy nincs univerzális megoldás, ami minden szervezetre vagy vezetési helyzetre alkalmazható lenne; ehelyett az optimális megoldások a környezet, a szervezet belső adottságai és más kontextuális tényezők függvényében változnak. Ez a szemlélet különösen releváns a modellalkotás folyamatában, amikor olyan struktúrákat és eszközöket kell létrehozni, amelyek képesek alkalmazkodni a különböző körülményekhez.

A kontingenciaelmélet alapelveire építve a modellalkotás egy rugalmas és adaptív folyamat, amely lehetővé teszi, hogy a szervezetek vezetési és működési gyakorlatai a környezet változó feltételeihez igazodjanak.

Kutatásunk és modellalkotásunk egyik mérföldköveként a modellalkotás szolgált. A HAIS-Q átdolgozása során a kontingenciaelmélet szolgált alapvető elméleti keretként. A kontingenciaelmélet hangsúlyozza, hogy a szervezeti környezet dinamikáját figyelembe véve az információbiztonsági tényezők és azok hatékonysága különböző helyzetekben eltérő lehet. Ennek megfelelően a kérdőívet úgy alakítottuk át, hogy az az információbiztonsági tudás, attitűd és viselkedés összefüggéseit a szervezeti, technológiai és emberi tényezőkkel összhangban vizsgálja. A cél az volt, hogy a HAIS-Q alapjaira épülő SAM-et olyan adaptív eszközzé tegyük, amely jobban tükrözi a modern, technológiai alapú munkakörnyezetek változékonyságát és komplexitását.

Az új kor szellemének megfelelően, reagálva a jelenlegi kihívásokra, az alábbi területek képezik a modellünk elemeit. Security Awareness Measurement (SAM) modell felépítését és alterületeit, amelyek a HAIS-Q-ra alapszanak, az alábbi, 1. ábrán láthatók.



1. ábra

A SAM és a HAIS-Q összehasonlítása

A HAIS-Q újragondolása azért vált szükségessé, mert a technológiai környezet és a szervezeti elvárások az utóbbi években drasztikusan megváltoztak. A korábbi skála (amely hét területre összpontosított) nem tudta megfelelően lekövetni a digitális fejlődés, az új fenyegetési formák és a munkahelyi technológiai eszközök bővülésének hatásait. A modern vállalatok információbiztonsági kihívásai ma már nem korlátozódnak az alapvető e-mail és internetbiztonságra, hanem kiterjednek a mobil eszközök kezelésére, a közösségi média kockázataira, a többfaktoros autentikáció szükségességére, valamint a szabályozások betartására és a tudatos alkalmazotti magatartás ösztönzésére.

Az új területek (pl. további autentikációs elvek, webes biztonság, tudatosság, szabályozás) integrálására az alábbi indokok vezethettek:

Jelszóhasználat és további autentikációs elvek: Az alapvető jelszókezelési elvek mellett a többfaktoros autentikáció elterjedése is előtérbe került, mivel ez a megoldás egyre több

szervezetben vált alapvető biztonsági elvárássá [14]. Ezen túlmenően a felhasználók ismerete az erős jelszavak létrehozásáról és a hitelesítési protokollokról alapvető fontosságú.

Webes biztonság és releváns internetes alkalmazások: Az internetbiztonságot az új, széles körben használt alkalmazások (például felhőalapú eszközök, kollaborációs platformok) biztonságos használata tette még kritikusabbá. Ezek az eszközök megváltoztatták a munkahelyi kommunikáció és információkezelés struktúráját, így új biztonsági szabályokat igényelnek [21].

Adatvédelem és információmegosztás: Az adatvédelem fontossága a GDPR és más nemzetközi adatvédelmi szabályozások miatt került fókuszba, ami előírja a személyes és szervezeti adatok felelős kezelését. Az információk biztonságos megosztása, különösen digitális környezetben, kiemelt prioritássá vált.

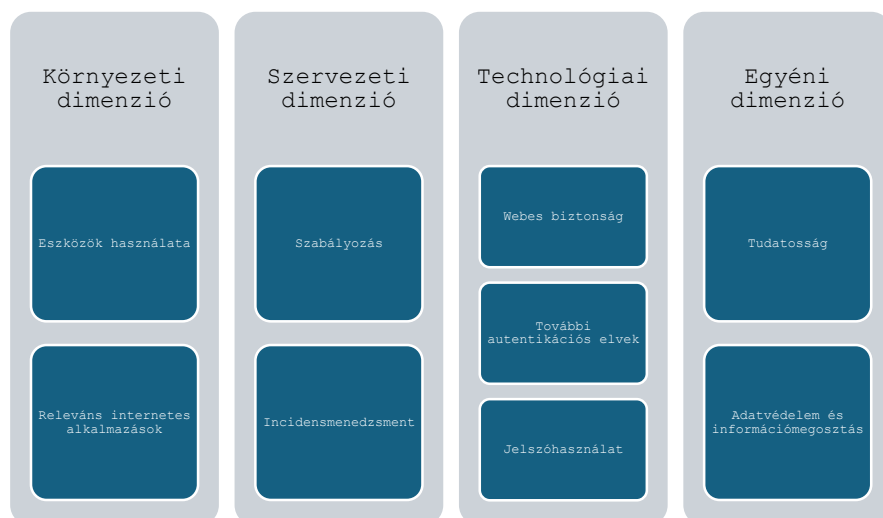
Eszközök használata és incidensmenedzsment: A mobileszközök és más technológiai eszközök növekvő elterjedése új típusú fenyegetéseknek tette ki a szervezeteket. Az incidensmenedzsment terület bővítése az új fenyegetések gyors és hatékony kezelését célozza meg.

Szabályozás és tudatosság: A szabályozás és a tudatos viselkedés szerepe kiemelkedővé vált a biztonságos környezet fenntartásában. A tudatosság növelésére irányuló programok biztosítják, hogy az alkalmazottak megfelelő attitűddel és készségekkel rendelkezzenek [20].

Az új kérdőívstruktúra tehát nemcsak az új technológiákhoz és kihívásokhoz igazodik, hanem figyelembe veszi a modern szervezeti környezetek dinamikáját és a humán tényezők folyamatos változását is. Ez a megközelítés lehetőséget nyújt arra, hogy az információbiztonságot átfogóbb módon mérjük és értékeljük.

4 Eredmények bemutatása

A SAM különböző területeinek és a kontingenciaelmélet dimenzióinak összevetése egy átfogó keretben biztosít a vállalati információbiztonsági működésének optimalizálásához. A kontingenciaelmélet lehetővé teszi az információbiztonság emberi tényezőinek (például tudás, attitűd, viselkedés) rugalmas kezelését, figyelembe véve a szervezeti, technológiai és kulturális eltéréseket. Az alábbiakban vizuálisan (2.ábra) is bemutatjuk, hogyan illeszkednek a SAM fő területei a kontingenciaelmélet dimenzióihoz, megvilágítva az egyes elemek közötti kapcsolatokat és kölcsönhatásokat.



4.1. Technológiai dimenzió

Ez a dimenzió azokra a technikai eszközökre és infrastruktúrákra fókuszál, amelyek az információbiztonság alapját képezik. Ide tartozik például a jelszókezelés, a többfaktoros autentikáció, a tűzfalak és az antivírus szoftverek. A technológiai eszközök szerepe kritikus, hiszen ezek biztosítják a kiberfenyegetések elleni alapvető védelmet. Azonban a technológiai dimenzió nemcsak a védelem eszközeit foglalja magában, hanem a felhasználók technológiával kapcsolatos tudását is, amely jelentős hatással lehet a biztonságos eszközhasználatra.

4.2. Szervezeti dimenzió

A szervezeti dimenzió az információbiztonsági szabályzatok és protokollok kialakítására és betartására helyezi a hangsúlyt. A szabályozás meghatározza, hogy a munkavállalók milyen módon férhetnek hozzá az adatokhoz, és hogyan kell azokat kezelniük. Az incidensmenedzsment ennek szerves része, hiszen biztosítja, hogy a szervezet gyorsan és hatékonyan tudjon reagálni az adatbiztonsági incidensekre. Ez a dimenzió a felelősségi körök tisztázására is kitér, amely elengedhetetlen a szervezeten belüli biztonság fenntartásához.

4.3. Humán dimenzió

Ez a dimenzió az alkalmazottak viselkedésére, attitűdjeire és tudatosságára összpontosít. Az adatvédelem, az információmegosztás, valamint a tudatosság szintje jelentősen befolyásolja, hogy a munkavállalók milyen mértékben követik a biztonsági előírásokat. Például egy jól képzett és tudatos munkavállaló kevésbé hajlamos biztonsági hibákat elkövetni, például gyanús e-mailek megnyitásával vagy gyenge jelszavak használatával. Ezért az alkalmazottak folyamatos képzése és motiválása kulcsfontosságú az információbiztonság sikeréhez.

4.4 Környezeti dimenzió

A környezeti dimenzió a szervezeti környezet dinamikus elemeit foglalja magában, például a munkakörnyezet technológiai fejlettségét, a külső fenyegetéseket és a szervezeti kultúrát. Például a releváns internetes alkalmazások és a használt eszközök kezelésének módja a szervezeti céloktól és a környezeti kihívásoktól függ. Egy gyorsan változó technológiai környezetben a szervezeteknek képesnek kell lenniük arra, hogy alkalmazkodjanak az új fenyegetésekhez, például a felhőalapú technológiák biztonságos használatának biztosításával.

Összegzés és korlátok

Az információbiztonság terén a kontingenciaelmélet alapján a szervezetek olyan megközelítéseket és intézkedéseket alkalmaznak, amelyek figyelembe veszik a vállalat méretét, az iparági szabványokat, a technológiai fejlettséget, valamint a fenyegetettség szintjét. Ez lehetővé teszi, hogy a biztonsági protokollok és védekezési módszerek pontosan illeszkedjenek a vállalat sajátos működési feltételeihez, maximalizálva az információvédelem hatékonyságát és a szervezet adaptációs képességét.

A kontingenciaelmélet szerint az információbiztonsági intézkedések akkor hatékonyak, ha a környezet dinamikájához igazodnak. Például a jelszóhasználat technológiai vonatkozásait erősíteni lehet, ha az adott szervezet érzékeny adatokkal dolgozik, míg a tudatosság fejlesztése kiemelt jelentőségű ott, ahol az emberi hibák dominálnak. Az elmélet lehetőséget ad arra, hogy az

információbiztonsági rendszereket az egyedi szervezeti igényekhez igazítsuk, biztosítva a dinamikus, integrált védelmi stratégiát.

Mivel a kontingenciaelmélet szerint nincsenek univerzális megoldások és minden szervezet egyedi biztonsági kultúrával rendelkezik ezért a SAM alkalmazása során egy lehetséges korlát a kontextusfüggőség. Továbbá mérési problémák is felmerülhetnek, ugyanis az információbiztonságtudatosság dimenziói komplex pszichológiai és szociológiai tényezőktől függenek. A dinamikus technológiai környezet folyamatos változása miatt a modellek gyorsan elavulhatnak, ami állandó adaptációt és felülvizsgálatot tesz szükségessé. Emellett a jogszabályi és etikai megfontolások miatt az adatgyűjtési korlátok megnehezítik a hiteles és átfogó információszerzést.

Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-05 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP 2021 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] IBM. Cost of a Data Breach Report 2023. (2023) <https://www.ibm.com/reports/data-breach>
- [2] Sabrina Kepple. 2024 Data Breach Investigations Report: Half of the breaches in EMEA are internal.(2024) <https://www.verizon.com/about/news/2024-data-breach-investigations-report-emea...>
- [3] M. L. Markus and F. Rowe, "The Digital Transformation Conundrum: Labels, Definitions, Phenomena, and Theories," *Journal of the Association for Information Systems*, vol. 24, no. 2, pp. 328–335, 2023, doi: <https://doi.org/10.17705/1jais.00809>.
- [4] A. Hanelt, R. Bohnsack, D. Marz, and C. Antunes, "A systematic review of the literature on digital transformation: insights and implications for strategy and organizational change," *Journal of Management Studies*, vol. 58, no. 5, pp. 1159–1197, Sep. 2020.
- [5] K. Gilli, M. Nippa, and M. Knappstein, "Leadership Competencies for Digital Transformation - Skills and Traits Sought by Practitioners," *Academy of Management Proceedings*, vol. 2020, no. 1, p. 16597, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.5465/ambpp.2020.16597abstract>.
- [6] S. L. Zulu and F. Khosrowshahi, "A taxonomy of digital leadership in the construction industry," *Construction Management and Economics*, vol. 39, no. 7, pp. 1–14, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1930080>.
- [7] A. Bunjak, H. Bruch, and M. Černe, "Context is key: The joint roles of transformational and shared leadership and management innovation in predicting employee IT innovation adoption," *International Journal of Information Management*, vol. 66, no. 1, p. 102516, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102516>.
- [8] N. T. A. N. NGUYEN and L. A. I. W. A. N. HOOI, "RELATIONSHIP BETWEEN LEADERSHIP STYLES, EMPLOYEE CREATIVITY AND ORGANISATIONAL INNOVATION: A PROPOSED FRAMEWORK," *International Journal of Business Innovation and Research*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2020, doi: <https://doi.org/10.1504/ijbir.2020.10023683>.
- [9] M. Skare, M. de las Mercedes de Obesso, and S. Ribeiro-Navarrete, "Digital Transformation and European Small and Medium Enterprises (SMEs): a Comparative Study Using Digital Economy and Society Index Data," *International Journal of Information Management*, vol. 68, no. 102594, p. 102594, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102594>.
- [10] Sune Dueholm Müller, Henrike Konzag, Jeppe Agger Nielsen, and Hafþís Bergsdóttir Sandholt, "Digital transformation leadership competencies: A contingency approach," *International Journal of Information Management*, vol. 75, pp. 102734–102734, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102734>.
- [11] N. Marangunić and A. Granić, "Technology Acceptance model: a Literature Review from 1986 to 2013," *Universal Access in the Information Society*, vol. 14, no. 1, pp. 81–95, Feb. 2014, doi: <https://doi.org/10.1007/s10209-014-0348-1>.

-
- [12] G. P. Im and R. L. Baskerville, "A longitudinal study of information system threat categories," *ACM SIGMIS Database*, vol. 36, no. 4, pp. 68–79, Oct. 2005, doi: <https://doi.org/10.1145/1104004.1104010>.
- [13] T. G. Weatherbee, "Counterproductive use of technology at work: Information & communications technologies and cyberdeviancy," *Human Resource Management Review*, vol. 20, no. 1, pp. 35–44, Mar. 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2009.03.012>.
- [14] L. Hadlington and K. Parsons, "Can Cyberloafing and Internet Addiction Affect Organizational Information Security?," *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, vol. 20, no. 9, pp. 567–571, Sep. 2017, doi: <https://doi.org/10.1089/cyber.2017.0239.v>
- [15] N. C. Carpenter, C. M. Berry, and L. Houston, "A meta-analytic comparison of self-reported and other-reported organizational citizenship behavior," *Journal of Organizational Behavior*, vol. 35, no. 4, pp. 547–574, Dec. 2013, doi: <https://doi.org/10.1002/job.1909>.
- [16] Deni Saputra Hermawan, Farisya Setiadi, and Dita Oktaria, "Measurement Level of Information Security Awareness for Employees Using KAB Model with Study Case at XYZ Agency," Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/icoseit55604.2022.10029989>.
- [17] Q. An, W. C. H. Hong, X. Xu, Y. Zhang, and K. Kolletar-Zhu, "How education level influences internet security knowledge, behaviour, and attitude: a comparison among undergraduates, postgraduates and working graduates," *International Journal of Information Security*, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s10207-022-00637-z>.
- [18] A. Kollmuss and J. Agyeman, "Mind the Gap: Why Do People Act Environmentally and What Are the Barriers to pro-environmental behavior?," *Environmental Education Research*, vol. 8, no. 3, pp. 239–260, Jul. 2002, doi: <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>.
- [19] T. Baranowski, K. W. Cullen, T. Nicklas, D. Thompson, and J. Baranowski, "Are current health behavioral change models helpful in guiding prevention of weight gain efforts?," *Obesity Research*, vol. 11, no. S10, Oct. 2003. doi:10.1038/oby.2003.222
- [20] McCormac, Agata; Calic, Dragana; Parsons, Kathryn; Zwaans, Tara; Butavicius, Marcus; and Pattinson, Malcolm, "Test-retest reliability and internal consistency of the Human Aspects of Information Security Questionnaire (HAIS-Q)" (2016). *ACIS 2016 Proceedings*. 56. <https://aisel.aisnet.org/acis2016/56>
- [21] K. Parsons, A. McCormac, M. Butavicius, M. Pattinson, and C. Jerram, "Determining employee awareness using the Human Aspects of Information Security Questionnaire (HAIS-Q)," *Computers & Security*, vol. 42, pp. 165–176, May 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2013.12.003>.
- [22] L. Hadlington, "The 'human factor' in cybersecurity: Exploring the accidental insider," in *Psychological and behavioral examinations in cyber security*, M. Khosrow-Pour, Ed., IGI Global, 2018, pp. 1690–1978.
- [23] J. C. Messenger and L. Gschwind, "Three generations of Telework: New ICTs and the (R)evolution from Home Office to Virtual Office," *New Technology, Work and Employment*, vol. 31, no. 3, pp. 195–208, Nov. 2016, doi: <https://doi.org/10.1111/ntwe.12073>.
- [24] B.-Y. Ng, A. Kankanhalli, and Y. (Calvin) Xu, "Studying users' computer security behavior: A health belief perspective," *Decision Support Systems*, vol. 46, no. 4, pp. 815–825, Mar. 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2008.11.010>.
- [25] M. Siponen, M. Adam Mahmood, and S. Pahlila, "Employees' adherence to information security policies: An exploratory field study," *Information & Management*, vol. 51, no. 2, pp. 217–224, Mar. 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.im.2013.08.006>.
- [26] B. Bulgurcu, H. Cavusoglu, and I. Benbasat, "Information Security Policy Compliance: An Empirical Study of Rationality-Based Beliefs and Information Security Awareness," *MIS Quarterly*, vol. 34, no. 3, pp. 523–548, 2010, doi: <https://doi.org/10.2307/25750690>.
- [27] L. R. Fabrigar, R. E. Petty, S. M. Smith, and S. L. Crites, "Understanding knowledge effects on attitude-behavior consistency: The role of relevance, complexity, and amount of knowledge.," *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 90, no. 4, pp. 556–577, 2006, doi: <https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.4.556>.
- [28] T. Braun, R. Cottrell, and P. Dierkes, "Fostering changes in attitude, knowledge and behavior: demographic variation in environmental education effects," *Environmental Education Research*, vol. 24, no. 6, pp. 899–920, Jun. 2017, doi: <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1343279>.

The simulation of lightning current distribution for a building

Gábor Szijártó

Óbuda University Doctoral School of Safety and Security Sciences, 1088 Budapest, József körút 6, III. floor, Room J321, Hungary, szijarto.gabor@phd.uni-obuda.hu

Abstract: Lightning strikes pose a significant risk to buildings and electrical systems, potentially causing extensive damage to structural and electronic components. This paper investigates the distribution of lightning current within buildings and its implications for lightning protection system design. By employing circuit models and simulations, the study evaluates current distribution across various building types, including simplified structures, larger flat buildings with multiple down conductors, and tall buildings with small base areas. Key factors influencing current distribution, such as the resistive and inductive properties of conductors, the placement of down conductors, and the interconnection of earthing systems, are analyzed in detail. The results demonstrate that symmetrical placement and consistent conductor properties minimize differences in current distribution, even between tall and short buildings. Moreover, interconnecting earthing points at ground level significantly improves equipotential bonding, resulting in a more balanced current distribution and reducing potential differences. The paper also emphasizes the importance of calculating safety distances ("s") to prevent sparking or arcing between the lightning protection system and nearby conductive elements. This research provides valuable insights into optimizing lightning protection systems, ensuring structural safety, and protecting sensitive equipment from lightning-induced hazards.

Keywords: lightning current distribution, lightning protection design, potential equalization network, earthing system, overvoltage protection

1 Introduction to lightning damage and lightning current distribution

Lightning strikes pose a significant threat to buildings and electrical systems, often resulting in extensive damage across various structures and equipment. Lightning can damage walls, cables, electrical switch cabinets, and printed circuit boards (PCBs). When a lightning strike occurs, the high current rapidly distributes across the building's conductors, including steel structures, water and gas pipes, and electrical circuits. Effective lightning protection is essential to manage this current distribution, prevent potential overvoltages, and minimize damage.

1.1 Types of surge waves and their impact on lightning protection

In designing lightning protection systems, understanding the different types of surge waves and their characteristics is crucial, as each type represents a unique stress on electrical and structural components. The graph illustrates three main surge waveforms, characterized by their rise and decay times, as well as their peak current values. These parameters help determine the energy imposed on equipment during a lightning strike, which is essential for designing effective protective measures.

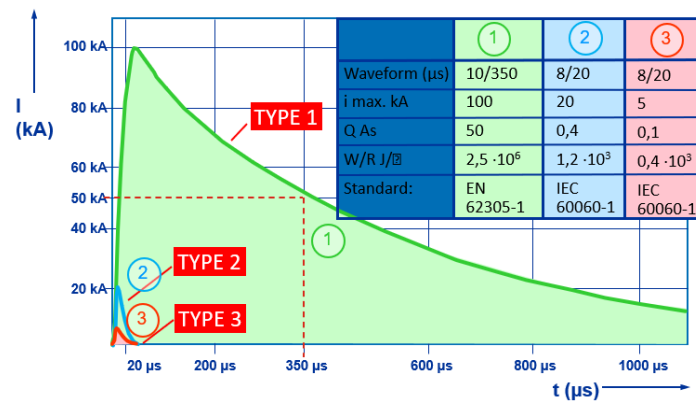


Figure 1

Comparison of different surge waveforms: 10/350 μs vs 8/20 μs [4]

1.1.1 10/350 μs surge wave (type 1)

The 10/350 μs surge wave represents the typical lightning current waveform and reaches a peak current of 100 kA. Due to its high energy content, this type of surge wave imposes the most substantial stress on protective devices and building conductors. Integrating this waveform over time gives the total energy imposed on the system, which is critical for evaluating the withstand capability of equipment and components. This surge type is typically used in standards such as MSZ EN 62305-1 to simulate direct lightning strikes, necessitating robust protective measures, especially in critical infrastructure.

1.1.2 8/20 μs surge wave (type 2)

The 8/20 μs waveform is commonly associated with induced surges and indirect lightning effects. It reaches a lower peak current of 20 kA compared to the 10/350 μs surge but is still capable of causing significant damage, particularly in electronic and sensitive equipment. The waveform is shorter and less intense than Type 1 but remains a standard reference in IEC 60060-1 for testing the durability of equipment against indirect lightning strikes.

1.1.3 8/20 μs surge wave (type 3)

A variation of the 8/20 μs waveform, this type reaches a peak current of only 5 kA. While it has the same shape as the Type 2 surge, its lower intensity means it imposes less energy on the system.

1.2 Protective measures against different types of lightning strikes according to standards

When designing protections against secondary effects of lightning strikes, it is essential to evaluate whether lightning protection is present or required for the building. If protection is in place or needed, various sources of damage must be distinguished to implement effective countermeasures.

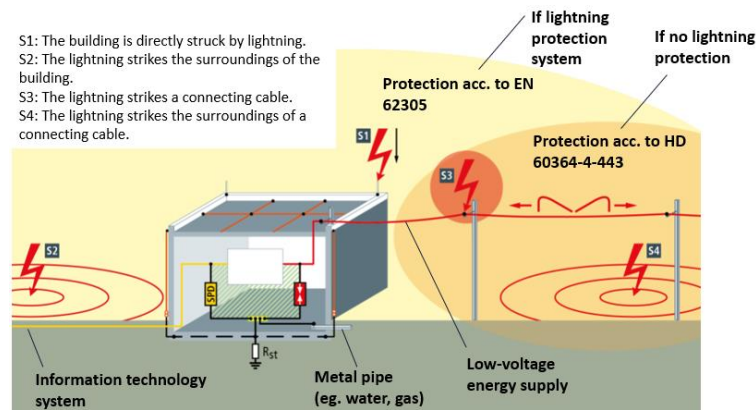


Figure 2

Lightning protection according to HD 60364-4-443 and EN 62305 standards [4]

Classification of lightning damage sources and standards-based protection

This section provides a comprehensive overview of how different types of lightning strikes and their potential consequences can be mitigated according to relevant standards. By identifying specific scenarios, such as direct strikes to the building or strikes to nearby structures or connected systems, appropriate protective measures can be designed to comply with standards like EN 62305 and HD 60364-4-443. This structured approach ensures the safety and resilience of building systems against diverse lightning-related hazards.

2 Design of lightning protection system

In lightning protection design, understanding the induced loop voltage is essential, especially when a building is directly struck by lightning. The diagram illustrates an S1 event, where a direct lightning strike to the building generates a high current, inducing voltage in nearby conductors due to magnetic fields.

2.1. Application of the "s" separation distance in lightning protection

In lightning protection systems, the "s" separation distance plays a crucial role in preventing unintended current transfer to other conductive structures or sensitive equipment. This distance is critical to avoid flashover, where lightning current could jump to nearby conductors, posing risks to structural integrity and electronic devices.

The "s" separation distance is calculated based on factors such as the expected lightning current, the type of materials in proximity, and the configuration of the earthing system. By maintaining this specified distance, engineers can ensure that the energy from a lightning strike remains confined to the protection system, thereby safeguarding vulnerable components and systems within the building.

The formula and parameters required to calculate the "s" separation distance are crucial for establishing the proper separation between the lightning protection system (LPS) and the parts of the building or equipment needing protection. This distance is necessary to prevent lightning current from arcing to nearby conductive structures or sensitive equipment, thus ensuring safety and minimizing potential damage.

The calculation formula is as follows [2]:

$$s = k_i * \frac{k_c}{k_m} * l \quad (1)$$

where:

- k_i : depends on the selected LPS lightning protection level (see EN 62305-3 Table 10),
- k_c : depends on the lightning current flowing in the down conductor (see EN 62305-3 Table 11),
- k_m : depends on the insulating material (see EN 62305-3 Table 12),
- l : length along the air-termination to down-conductor path in meters, from the point of interest to the nearest equipotential bonding point.

The k_c factor indicates the distribution ratio of the lightning current among the down conductors. According to the EN 62305 standard, this factor depends on various parameters: the applied lightning protection class (LPS), the number and position of the down conductors. The k_c value plays a crucial role in determining the separation distance (s), which ensures that the lightning current does not come into contact with structural elements or electrical systems that should remain unaffected by the protection.

3 Lightning current distribution for buildings' lightning protection systems

Lightning strikes can impose substantial current loads on buildings, affecting various structural and electrical components. Understanding how this current distributes through a building's conductive elements—such as steel frameworks, earthing systems, and utility lines—is crucial for designing effective lightning protection systems. Proper simulation and analysis of lightning current paths help engineers identify vulnerable areas within the structure, optimize earthing and bonding arrangements, and ensure the safety of both the building and its occupants. This introduction provides an overview of the principles and considerations involved in studying lightning current distribution within building structures.

3.1. Geometric Models for Simulating Lightning Current Distribution in Buildings

To model the distribution of lightning current, a simple circuit is typically used to illustrate the path and distribution of the lightning current among various elements.

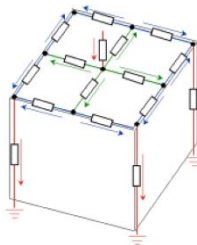


Figure 3

Simple Circuit Model [1]

The current distribution can be modeled using Kirchhoff's laws. The following equations can be applied:

- Kirchhoff's First Law: The sum of currents entering a node equals the sum of currents leaving the node.
- Kirchhoff's Second Law: The sum of voltages in a closed loop is equal to zero.

3.1.1 Different types of structures

The figure shows various structures of different sizes:

1. **Simplified building:** A cube-shaped structure with dimensions of 10x10x10 meters.
2. **Rectangular Building:** A large rectangular building with dimensions of 60x60 meters and a height of 20 meters.
3. **Tall Tower:** A tall rectangular tower with a height of 50 meters and a base of approximately 10x10 meters.

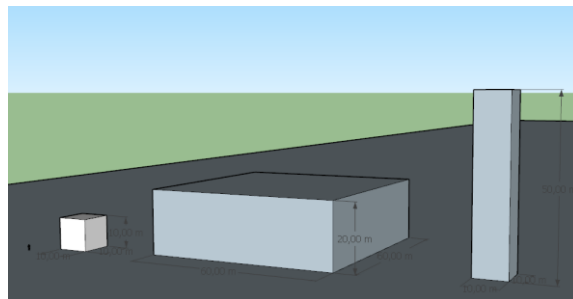


Figure 4

Geometric Models for Simulating Lightning Current Distribution in Different Building Structures

3.1.2 General guidelines according to EN 62305-3:2011

The air termination and down-conductor system must be interconnected as per the standard to ensure equipotential bonding.

The maximum distance between down conductors depends on the lightning protection class:

Class I: 10 m

Class II: 10 m

Class III and IV: 20 m

In this case, we consider 20 meters, as we are injecting a 100 kA lightning current (LPL IV).

3.1.3 Simulation parameters for lightning current distribution in buildings' lightning protection systems

For accurate simulations of lightning current distribution in buildings, specific parameters and characteristics of lightning strikes must be defined. The conditions outlined here cover the various types of lightning strokes and the simulation parameters essential for modeling current flow within a building structure.

The types of lightning strikes considered in this simulation include:

- **Positive First Stroke (PFS)** – a short-duration first positive stroke.
- **Negative First Stroke (NFS)** – a short-duration first negative stroke.

- **Negative Subsequent Strokes (NSS)** – negative short-duration subsequent strokes.
- **Continuing Current (CC)** – a prolonged current following the initial stroke.

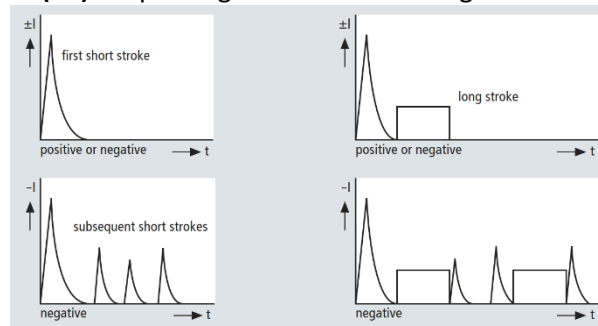


Figure 5

Types of lightning strokes: short-duration and long-duration characteristics [1]

The simulation also incorporates different peak current values for various Lightning Protection Levels (LPL):

- 30 kA – Average current peak.
- **100 kA – LPL III/IV.**
- 150 kA – LPL II.
- 200 kA – LPL I.

Using a waveform of **10/350 μ s** and parameters such as a specific resistance of **$R = 0.05 \Omega/m$** and specific inductance of **$1 \mu H/m$** , the simulation can accurately represent the impact of different lightning conditions on building structures [3]. These values help determine the stress on structural and electrical components, providing insights that support the design of effective protection systems.

3.1.4 Data parameters for simulating lightning current distribution in buildings' lightning protections systems

The table provides essential data parameters for simulating the distribution of lightning current in buildings.

Table 1

Data Parameters for Lightning Current Distribution Simulation Points in Building Model

Parameters \ Version	Version			
	1	2/A	2/B*	3
Length (m)	10	60	60	10
Width (m)	10	60	60	10
Height (m)	10	20	20	50
RC (Ω)	0,5	1	1	0,5
LC (H)	0,01	0,02	0,02	0,01
RCA3 (Ω)				2,5
LCA3 (H)				0,05

* the down conductors are interconnected at ground level.

The table presents different versions of a structure with parameters including dimensions, resistances, and inductances. Here's what it represents:

- Length, width, and height (m): The physical dimensions of the structure in meters.
- RC (Ω): Resistance calculated based on the specific resistance (per unit length) for the length and width of the structure.
- LC (H): Inductance calculated based on the specific inductance (per unit length) for the length and width.
- RCA3 (Ω): Resistance for the down conductor (height) in version 3, based on the specific resistance for height.
- LCA3 (H): Inductance for the down conductor (height) in version 3, based on the specific inductance for height.

3.2. Circuit model for simulating lightning current distribution in simplified building' lightning protections system

The figure shows a simplified representation of a lightning protection system, where the lightning current is intercepted at the air termination point (indicated by the lightning symbol) and guided safely to the ground through four vertical down conductors (DC1, DC2, DC3, and DC4)(version 1). The conductors are connected at the bottom to ensure the safe conduction of the lightning current into the ground.

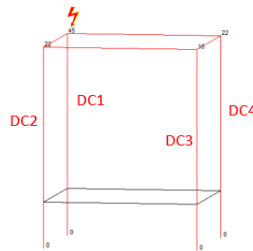


Figure 6

Lightning protection system of simplified building (10x10x10 m)

The circuit model shown here is designed to simulate the distribution of lightning current through a building's down conductors and earthing system. This schematic illustrates the paths that the lightning current follows upon striking the building, providing a detailed view of how resistance, inductance, and earthing points impact the current flow.

An oscilloscope has been placed in the circuit model to display the curve of the injected current. This ensures a clear visualization of how the current curves in the respective down conductors compare to the resultant current. The diagrams illustrate the impact of the resistances and inductances (proportional to the lengths of the conductors) in the circuit on the measured current values at the monitoring points. In each case, the component parameters were determined in accordance with the prescribed general values, proportional to the lengths of the conductors. The simulated lightning strike was injected at the node located in the top-left corner in all cases.

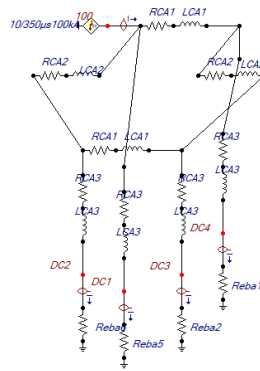


Figure 7

Circuit Diagram for Simulating Lightning Current Distribution in Lightning Protection System of Building (10x10x10 m)

Key elements in the model include:

- **RCA** – Series resistances representing the conductive paths within the structure.
- **LCA** – Series inductances, accounting for the inductive behavior of long conductors in the lightning current's path.
- **REBA** – Earthing points where the current is safely dissipated into the earth.

3.2.1 Simulation results of lightning current distribution in simplified building' lightning protection system

The table displays the partial lightning current distribution (in kA) among the down conductors (DC1, DC2, DC3, and DC4) of a lightning protection system for a simple building. DC1 (26.61 kA) and DC2 (24.69 kA) carry slightly higher portions of the lightning current compared to DC3 (24.69 kA) and DC4 (24.1 kA). The current distribution is not perfectly uniform, which indicates that the resistances and inductances of the down conductors, influenced by their lengths and positions, affect the lightning current flow.

Table 2

Simulation results of lightning current distribution in simplified building' lightning protection system

	DC3	DC4	DC1	DC2
Partial lightning current (kA)	24,69	24,1	26,61	24,69

The figure illustrates the distribution and decay of lightning current in a lightning protection system. The red curve represents the total lightning current injected into the system at the top-left point. This current decreases exponentially over time due to the resistive and inductive properties of the system.

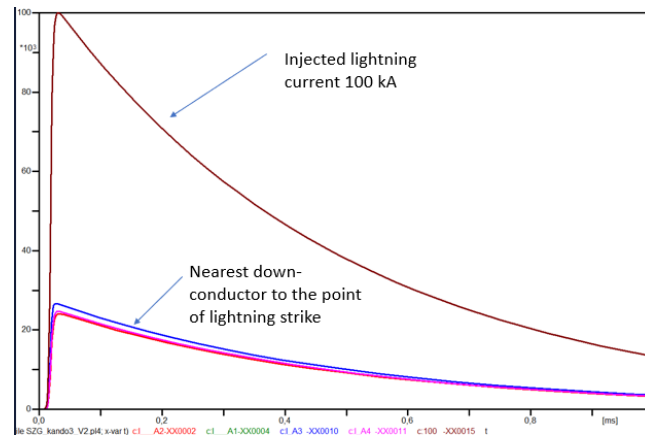


Figure 8

Simulation results of lightning current distribution across building sections

The blue curve shows the current through the down-conductor closest to the lightning strike point. It carries a significant portion of the current, especially at the initial moment after the strike, due to its proximity and lower impedance. Other curves (various colors) represent the current flowing through the remaining down conductors. Their current levels are lower compared to the nearest conductor, reflecting the distribution influenced by the conductors' distances, resistances, and inductances.

3.2.2 Separation distance ('s') calculation and current distribution in lightning protection systems for a simple building

The diagram illustrates the "s" separation distance calculation in a lightning protection system, showing how the lightning current is distributed among the down conductors and its influence on the potential differences within the structure.

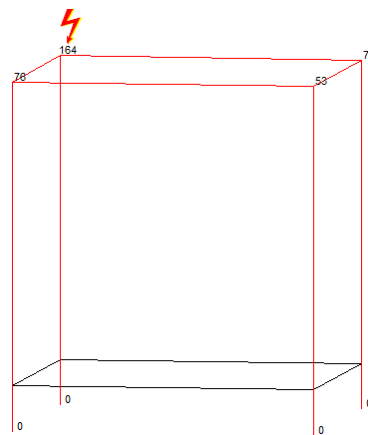


Figure 9

Separation distance ('s') calculation in a simple building during a lightning strike

The values (164 cm, 76 cm, 53 cm) represent the minimum separation distances required to prevent sparking or electrical arcing between the lightning protection system (down conductors) and nearby conductive or structural components. Higher current in a specific conductor leads to a larger potential difference, necessitating a greater separation distance around that conductor. Conductors with lower current (further from the strike point) contribute less to the potential difference, reducing the required separation distance near those points.

3.3.Circuit model for simulating lightning current distribution in a larger flat building with multiple down conductors

The figure shows a lightning protection system for a larger rectangular building, consisting of multiple down conductors (DC1 to DC12) connected to the structure. The red lines represent the air termination system and down conductors, which ensure the safe dissipation of lightning current into the earthing system.

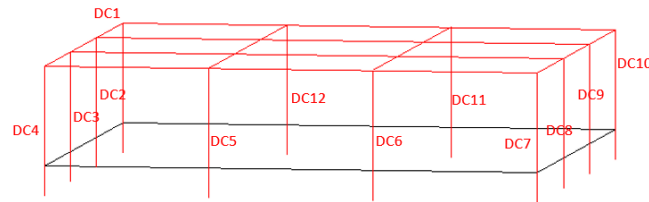


Figure 10

Layout of Down Conductors for Lightning Protection in a Larger Flat Building

3.3.1 Simulation results of lightning current distribution in a larger flat building with multiple down conductors

The figure illustrates the circuit model for simulating lightning current distribution in a larger flat building, similar to the one presented in Section 3.2 but adapted for a larger structure. The model includes multiple down conductors (DC1 to DC12) and their respective resistive (RCA) and inductive (LCA) properties, as well as earthing resistances (Reba) to simulate the dissipation of the lightning current into the ground. The injected lightning current (100 kA) is introduced at a top left corner of the structure, and the model analyzes how the current is distributed among the down conductors, taking into account the increased complexity of the larger building.

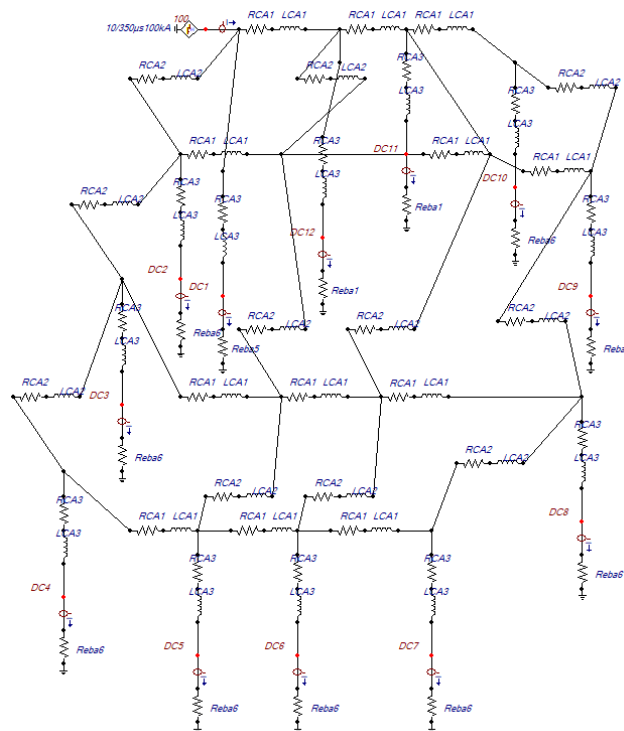


Figure 11

The table shows the lightning current distribution across multiple down conductors (DC1 to DC12) in a lightning protection system. Each value represents the current (in kA) flowing through the respective down conductor.

Table 3

Simulation results of lightning current distribution in a larger flat building with multiple down conductors

DC12	DC1	DC2	DC11	DC3	DC10	DC4	DC5	DC6	DC7	DC9	DC8
11,18	20,13	11,05	9,96	8,06	7,32	7,13	6,94	6,67	6,4	7,17	6,74

DC1 carries the highest current (20.13 kA), likely because it is closest to the lightning strike point or has the least impedance. The current decreases progressively across the other down conductors, with DC12 (11.18 kA) and DC2 (11.05 kA) carrying significant currents. The lowest current flows through DC8 (6.74 kA), indicating its distance or higher impedance compared to others. The non-uniform current distribution is influenced by the physical and electrical properties of the conductors, including their lengths, resistances, and inductances, as well as their proximity to the lightning injection point.

The graph shows the distribution of lightning current among multiple down conductors in a lightning protection system for a larger building. The green curve represents the down conductor closest to the point of lightning strike. This conductor carries the highest initial current due to its proximity and lower impedance path.

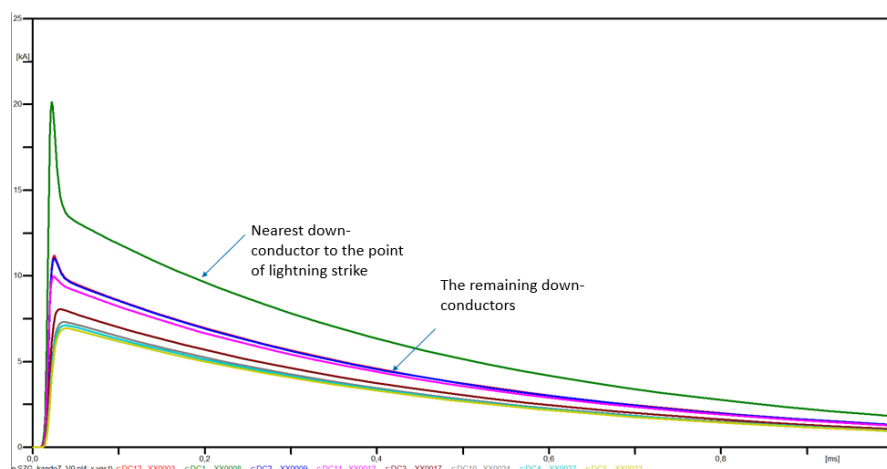


Figure 12

Simulation results of lightning current distribution across building sections

The other curves represent the currents flowing through the remaining down conductors. These conductors carry lower current magnitudes, distributed according to their positions, resistances, and inductances relative to the strike point.

The updated circuit model represents the same lightning current distribution system as before, but with a significant modification: the individual earthing connections (earthing resistances) at the base of each down conductor are now interconnected at ground level.

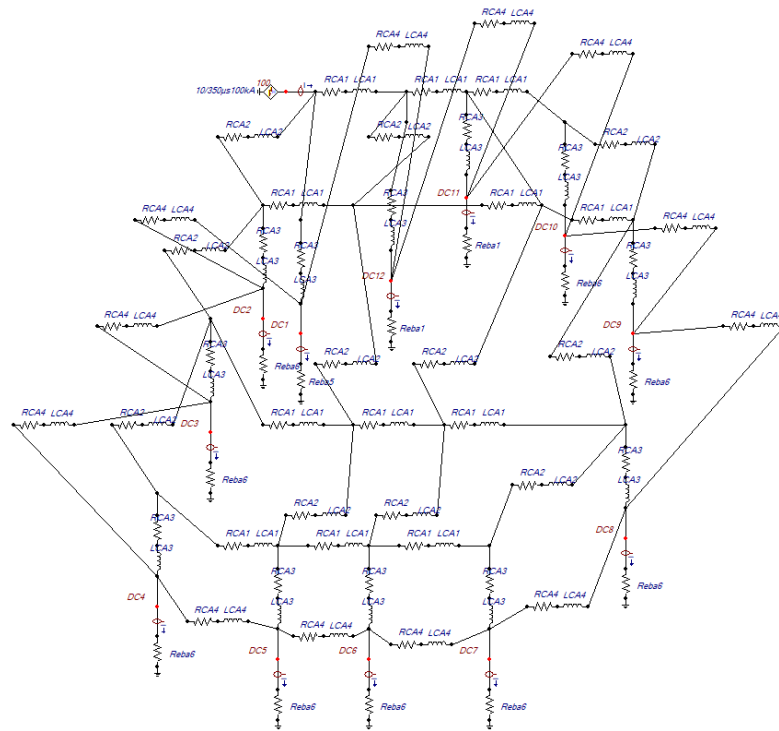


Figure 13

Circuit Diagram for Simulating Lightning Current Distribution in Lightning Protection System of Building (60x60x20 m) each down conductor are interconnected at ground level

The table shows the lightning current distribution across multiple down conductors (DC1 to DC12) when the individual earthing points are interconnected at ground level.

Table 4

Simulation results of lightning current distribution in a larger flat building with multiple down conductors, but each down conductor are interconnected at ground level

DC12	DC1	DC2	DC11	DC3	DC10	DC4	DC5	DC6	DC7	DC9	DC8
10,68	13,21	10,79	8,67	8,84	7,86	7,94	7,52	7,25	7,12	7,49	7,24

The current values across the down conductors are more evenly distributed compared to the case where the earthing connections were isolated. The highest current (DC1: 13.21 kA) is lower than in the previous configuration without interconnections, indicating a reduction in the load on the nearest conductor to the lightning strike. The interconnection of earthing points allows for better sharing of current among the earthing resistances, reducing the burden on individual earthing points and lowering the potential difference between them.

3.3.2 Separation distance requirements in lightning protection for a larger flat building with multiple down conductors

A lightning strike is injected at the top-left corner, with the largest separation distance (75 cm) at the conductor closest to the strike point. The separation distances decrease for conductors farther from the strike point (e.g., 27 cm, 11 cm). These values indicate the minimum separation required to prevent dangerous arcing between the lightning protection system and other conductive or structural elements. This visualization highlights how proximity to the strike point affects the

separation distance requirements. The diagram represents the separation distances ("s") calculated for a large flat building's lightning protection system.

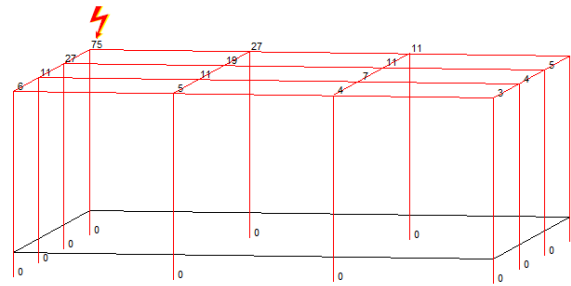


Figure 14

Separation distance ('s') calculation in a larger flat building during a lightning strike

The geometric layout of the down conductors in a large building (e.g., widely spaced conductors) increases the horizontal separation between conductors, requiring larger separation distances to prevent arcing or sparking. However, the actual current flow depends on proximity and impedance, creating a mismatch.

3.4.Circuit model for simulating lightning current distribution in a tall building with a small base area

This section presents the circuit model used to simulate lightning current distribution in a building characterized by its tall structure and small base area. The model examines how the lightning current is distributed among the down conductors, taking into account the unique dimensions of the building. The resistive and inductive properties of the conductors, as well as the earthing system design, are critical factors influencing the simulation results.

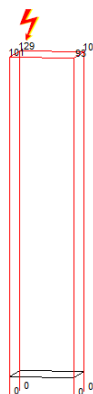


Figure 15

Lightning protection system of tall building (10x10x50 m)

There is no significant difference in the lightning current distribution between tall (50 m) and short (10 m) buildings. If the down conductors are symmetrically placed and have similar resistive and inductive properties, the height of the building has minimal impact on the current distribution. The impedance of the path (resistance and inductance) primarily determines the current distribution.

Since the same material, conductor type, and earthing system are used, the relative proportions of current remain the same regardless of building height. The earthing system ensures that the currents are distributed evenly at the base of the building. This equalizing effect minimizes the impact of height differences on current distribution.

Table 5

Simulation results of lightning current distribution in tall building' lightning protection system

	DC3	DC4	DC1	DC2
Partial lightning current (kA)	24,1	24,69	26,61	24,69

Conclusions and recommendations for optimizing lightning current distribution

Independent earthing points result in unequal current distribution: If a building has independent earthing points instead of interconnected earthing, the lightning current distribution becomes uneven, increasing the risk for certain down-conductor systems.

Longer, flatter buildings experience greater inequality in current distribution: The shape and size of the building significantly impact lightning current distribution. For buildings with a large length-to-height ratio, it is more challenging to ensure that all down conductors share the current load equally.

Interconnecting the individual earthing points at the ground level significantly improves the equipotential bonding of the system, minimizing potential differences between the earthing points. This interconnection ensures that the lightning current is distributed more evenly across all down conductors and earthing resistances, reducing the load on individual earthing points.

Summary and further research opportunities

Based on the findings, it can be concluded that accurate simulation of lightning current distribution is essential for designing safe and cost-effective lightning protection systems. During the design phase, the building's geometric characteristics, the configuration of the earthing system, and the materials and internal structural elements of the building should be taken into account. Future research should focus on the role of potential equalization networks, the effects of different structural materials, and the positioning of earthing points to improve the efficiency of current distribution.

Acknowledgement

This work was supported by Károly Kovács PhD, university assistant professor at the Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering, Institute of Automation and Electrical Power Systems, specializing in electrical energetics. His expertise and guidance have been invaluable throughout the research process.

References

- [1] DEHN, "Lightning Protection Guide, 3rd updated edition," DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG, Neumarkt, 2014
- [2] IEC 62305-3, "Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard," International Electrotechnical Commission, Geneva, 2010

-
- [3] DIN EN 62305-4:2011-10 Blitzschutz - Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen - Deutsche Fassung EN 62305-4:2011. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2011.
- [4] KOVÁCS, Károly PhD, "Designing Surge Protection in Residential, Office, and Industrial Buildings – Requirements and Practical Implementation," DEHN HUNGARY Kft., Infoshow, 2024.

Kollaboratív robotok hálózati protokoll biztonsága - web UI

Ungvári Péter

Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola

ungvari.peter@stud.uni-obuda.hu

ORCID: 0009-0004-9068-6081

Wührl Tibor

Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

wuhrl.tibor@kvk.uni-obuda.hu

ORCID: 0000-0002-7522-3511

Absztrakt: A kollaboratív robot egy olyan robot, amelyet az emberekkel való közvetlen interakcióra terveztek. A kollaboratív robotok (kobot) gyorsütemű, széleskörű elterjedésének köszönhetően egyre több, relatíve olcsó megoldás kerül bevezetésre világszerte, így Magyarországon is. A termelő nagyvállalatoknál üzemelő, kerítéssel elválasztott, költséges ipari robotokkal szemben a kobotok kisebb bekerülési és üzemeltetési költségek révén és a gyors megtérülés reményében tömegesen, kevésbé ellenőrzött formában üzembe állíthatók, már kkv környezetben is. Kiemelten fontos, hogy a kobotok használatának biztonsági alapelveknek, előírásoknak való megfelelést megvizsgáljuk és a biztonság fenntartásának érdekében lépéseket tegyünk, ugyanis a kkv-k számára rendelkezésre álló korlátozott erőforrások, valamint a kobot szállítók árversenye is közvetetten biztonsági kockázathoz vezethetnek. A kobotok és kezelők együttműködésében a legnagyobb kockázatot a nem megfelelő fizikai érintkezés jelenti. A kerítéssel való védelem hiányában az összeütközések személyi sérülést vagy a berendezés károsodását okozhatja. Összeütközés és egyéb negatív fizikai kölcsönhatás számos okból bekövetkezhet, így a kobot gyártóinak gondatlanságából, az üzemeltetők szakértelemhiányából, gondatlanságából ill. szándékos digitális vagy fizikai támadás, rongálás folytán is. Az ipari felhasználású kobotok ritkább esetben egymással, gyakrabban az operátorral (HMI), szenzorokkal, vezérlő rendszerrel, gyártás végrehajtási rendszerrel (MES), vállalatirányítási rendszerrel (ERP) kommunikálnak közvetlenül vagy közvetetten. A kobotok gyakran rendelkeznek webes felhasználói interfésszel (web UI), mint kezelőfelülettel. A gyártóspecifikus webes rendszerek sebezhetősége kimagasló az iparban megszokott, szabványos mikrokontrolleres vagy PLC-s vezérlésekhez képest. A jelen tanulmány tárgyalja, hogy miért a távoli digitális támadások jelentenek kiemelkedő biztonsági kockázatot, felderíti a kapcsolódó sebezhetőségeket és azok elhárítására tesz javaslatot.

Kulcsszavak: kollaboratív robot, kobot, biztonság, Ipar 4.0, protokoll, webes felhasználói felület

Bevezetés

A kollaboratív robotok (kobotok) hálózati protokoll biztonságával, az ehhez köthető néhány problémával nem csak műszaki szempontból foglalkozunk a cikkben. A gyakorlati és egyben holisztikus megközelítés a versenypiaci és nemzetgazdasági gyakorlaton alapul. A digitalizáció forradalmi találmányaként alkalmazható kobotokat a vállalatok hatékonyságnövelés érdekében alkalmazzák. A végcél a profitszerzés vagy adott ipari infrastruktúra gazdaságos üzemeltetése. A cél a technológia biztonságos (safe and secure) alkalmazásával érhető el. A biztonság megfelelő szintjének megtalálása kulcsfontosságú, ugyanis biztonság fenntartása meglehetősen költséges lehet, azonban figyelmen kívül hagyása katasztrófához vezethet. Ennek fényében a probléma felvetése után a következő kérdéseket vesszük sorra.

1. Általában véve mik a kobotok alkalmazásának biztonsági kérdései? Milyen kockázatokat jelenthet a használatuk? Tudjuk számszerűsíteni és ellenőrizni ezeket? (1. fejezet: Biztonság)

2. Milyen szabványok léteznek a biztonság kialakítására és fenntartására? Azok milyen követendő irányelveket, ajánlásokat, kötelezettségeket fogalmaznak meg? (2. fejezet: Szabványok)
3. Milyen vállalatok a kobotok felvevőpiacát régióinkban, hazánkban? Milyen erőforrások állnak rendelkezésre a biztonságos működtetéshez? (3. fejezet: Gazdasági korlátok)
4. Műszakilag hogyan lehet a rendelkezésre álló erőforrásokhoz mérten a biztonság elfogadható szintjét elérni? A megoldás megfelelősége hogyan ellenőrizhető? (4. fejezet: Műszaki elemzés)

A kobotok egy térben dolgoznak az emberekkel. Az egyéb ipari robotokhoz hasonlóan, a kobot komplex műveltsorok végrehajtására alkalmas, programozható és önvezérelt, azonban kisebb és alacsonyabb tömegű, mobilisabb azoknál. A mobilitásból adódóan, amihez a több szabadság fok (csuklók) szerinti mozgás is hozzájárul, rugalmasabban használhatók az egyes műveletsorok elvégzéséhez. Ipari alkalmazásuk széleskörű lehet. [1] szerint eszközök kiválasztása, rögzítése, mozgatása, rendezése, hegesztés, összeszerelés, anyagok, mint például veszélyes nyersanyagok kezelése, termék ellenőrzés a fő ipari alkalmazási területek. A kollaboratív robotoknak jelentős szerepe van a modern gyártásban, a negyedik ipari forradalom után, illetve annak egyik vívmányaként tekinthetünk a kobotokra.

A jelen kutatás célja a webes eszközök, mint HTTP protokollra épülő technikai megoldások sebezhetőségeinek, mint valós problémának az igazolása a kobotok esetében, valamint műszaki megoldás tervezése a biztonság javítására.

1 Biztonság

A fejezetben tárgyaljuk a kobotok használatán biztonsági kérdéseit, azaz milyen veszélyforrások milyen mértékű kockázatot jelentenek, mi az a biztonsági szint, amit el szeretnénk érni és hogyan ellenőrizhető, hogy sikerült-e.

1.1 Veszélyforrások

A kobotok alkalmazásakor a megfelelő ember-robot interakció (human-robot interaction, HRI) jelentős termelékenység növekedéssel jár. Ennek különböző formái lehetnek. Az üzemben lévő robotok érzékelik az emberek jelenlétét, műveleti, kollaborációs területre való lépését és ennek megfelelően leállíthatják mozgásukat vagy korlátozhatják saját sebességüket, teljesítményüket és erő kifejtésüket a biztonság fenntartása érdekében [1]. Egyes esetekben viszont az is előfordulhat, hogy operátor és robot együtt dolgoznak egy munkadarab összeszerelésén [2], [3].

„A 4. Ipari forradalom magába foglalja a robotok fejlődését is, így a hagyományos ipari robotok mellett megjelentek a könnyűsúlyú kollaboratív (együttműködő) robotok, amelyek mozgásától már nem kell megvédeni az embereket különböző ipari biztonságtechnikai eszközökkel, mivel felépítésükből és vezérlésükből adódóan nem árthatnak különösebben az azokkal kapcsolatba kerülőknek [4].”

Valóban, ipari biztonságtechnikai eszközökkel, például ketreccel való fizikai védelem már szükségtelen. De vajon igaz az, hogy nem árthatnak a kobotok a velük kapcsolatba kerülő embereknek? Ha rendeltetésszerű használat esetén nem is, [5] felhívja rá a figyelmet, hogy a különböző támadási felületek hatást gyakorolnak a kobotok biztonsági szempontból releváns paramétereire, melyek megváltoztatása balesettel járhat. A robotok vagy rakományuk súlyos sérüléseket tudnak okozni, amikor emberi testrészekkel ütköznek vagy beszorítják azokat. E forrás [5]

helyi-távoli és fizikai-digitális dimenziókra szerint osztja fel az IT biztonsági támadásokat. Triviális eset, amikor fizikai támadás fizikai kárt, kibertámadás digitális kárt okoz. Ezen kívül egy távoli digitális kategóriába tartozó támadás fizikai sérülést is tud okozni és fordítva, fizikai behatással is megsemmisíthetők értékes adatok vagy megfelelő helyi fizikai védelem hiányában jogosulatlan kezekbe kerülhetnek.

1.2 Kockázat és elfogadható biztonság szint

A cve.mitre.org [6] weboldal a gyakori sebezhetőségek és veszélyeknek való kitettség (Common Vulnerabilities and Exposures, gyakori sebezhetőségek és kitettségek) katalógusa a MITRE gondozásában. Az OWASP (Open Web Application Security Project) sebezhetőség toplistája [7] is jó támpontot adhat, amikor a kobotok webes rendszereinek biztonságát vizsgáljuk.

Fontos azonban tudnunk, hogy mit kockáztatunk és mekkora a fenyegetettség. Így a kockázat pénzértékét is ki tudjuk számolni. Tehát a kockázat értéke a várható kár anyagi egyenértéke. A várható kár a káresemény bekövetkezésének valószínűsége (KBV) szorozva a kár értékével. A KBV-t minden egyes sebezhetőségre és a hozzá tartozó fenyegetettségre meg lehet határozni és összesíteni [8].

Egy védelmi megoldás költsége nem haladhatja meg a vele összefüggő kockázat előzőekben meghatározott értékét.

Amikor priorizálni szeretnénk, hogy milyen sebezhetőségekkel foglalkozunk egy rendszerben, valamint a rendszer összes sebezhetőségét két különböző időpillanatban meg szeretnénk vizsgálni, össze szeretnénk hasonlítani, akkor a CVSS [9]/CWSS [10] (Common Vulnerability/Weakness Scoring System, gyakori sebezhetőség/gyengeség pontozó rendszer) számítási módszerét hívhatjuk segítségül.

A CVSS és CWSS és kockázat értéke alapján már meghatározhatjuk az elfogadható biztonság szintjét. A kobotunk biztonságos működtetéséről, meg tudjuk mondani, hogy megfelel-e a biztonsági elvárásainknak vagy sem. Mind anyagilag, mind hatás elemzéshez tehát méréseket tudunk végezni.

Biztonság összefoglalás

A probléma megoldása során figyelembe kell vennünk a kockázat mértékét és mérnünk érdemes a megoldás számszerű hatását. Ezekre módszert adtunk.

2 Szabványok

A szabványok keretet adnak a biztonság értelmezésére és kezelésére, így jelentős segítséget nyújtanak a kívánt biztonsági szint meghatározásában és fenntartásában. Ismeretük elengedhetetlen és olykor törvényi előírások alapját képezik. A fejezetben tárgyalt szabványokból megismerhetjük az ipari rendszerek biztonsági kérdéseinek összetettségét.

2.1 Ipari működési folyamatok biztonsága

Az MSZ EN IEC 61511 szabvány az ipari működési folyamatok biztonságával foglalkozik, különös tekintettel a műszaki berendezések biztonságos üzemeltetésére. Az MSZ EN IEC 61511-1 magyar neve *Működési biztonság. Az ipari folyamatirányítási szektor biztonságtechnikai rendszerei*. A szabvány első része fontos fogalmakat vezet be, úgy, mint a *biztonságtechnikai rendszer, SIS (safety*

instrumented system), biztonság integritási szint, SIL (safety integrity level), biztonságtechnikai funkció, SIF (safety instrumented function), biztonsági életciklus, SLC (safety lifecycle), működési biztonsági felmérés, FSA (functional security assessment), elfogadható kockázat, biztonságos hiba hányad, SFF (safe failure fraction). A szabvány szerinti működéshez elengedhetetlen, hogy a termelő vállalat elkészítse és karbantartsa a saját biztonsági szabályzatát (Safety Requirement Specification, SRS) [11].

2.2 Ipari kiberbiztonság

„Ipari automatizálási és szabályozási rendszerek biztonságával az (ISA/ISO/MSZ EN) IEC 62443 és az ISA-99 szabványok foglalkoznak. Egyben ezek azok a biztonsági szabványok, amik főként meghatározzák a biztonságos Ipar 4.0 rendszerek fejlesztésének fogalmait, irányelveit, metodikáját [11].”

Ezeket a rendszereket azért kezelhetjük egyben, mert felépítésük és tartalmuk hasonló. A szabványok gondozói egymástól változatlan formában átemeltek részeket, azonos szabvány számmal. A szabványban megjelenik a hálózati kommunikáció biztonsága, az IT/OT (információ technológia/üzemeltetés technológia) nézőpontjai és kapcsolata, az ipari folyamatok és a kiberbiztonság összefüggései. Így elmondhatjuk hogy az IEC 62443 jól kiegészíti az IEC 61511 szabványban foglaltakat. A biztonsági kérdéseket van értelme egységes rendszerben, egységes vállalati szabályzatokban kezelni [11].

A szabvány szerint, az egymással kommunikáló rendszer komponensek hálózati zónákba (zones) való sorolása, valamint a zónák közti kommunikációs csatornákra (conduits, vezetékek) való elvárások megfogalmazása a biztonságos kommunikáció kialakítása felé mutat [12].

2.3 Gépbiztonsági szabványok

A gépbiztonsági (safety) szabványok A, B (azon belül B1 és B2) és C típusosztályba sorolhatók [2].

Az A típusba az általános, alapvető szabványok tartoznak, úgy, mint a MSZ EN ISO 12100 szabványcsalád és az IEC 61508 szabvány.

A B típus az általános biztonság (generic safety) szabványait tartalmazza, a B1, specifikus biztonsági tényezők (specific safety aspects) és B2 védelem (safeguard) altípusokkal. B1-es szabvány az ISO 13849-1 és az IEC 62061, míg a B2 körébe tartoznak az ISO 13850 és ISO 13851 szabványok. A vészleállással és leállítással az előbb említett ISO 13850 szabvány foglalkozik [2].

A C típusba a legspecifikusabb szabványok tartoznak, amik előnyt élveznek az A és B típusú szabványok felett. Ebben a típusban a biztonsági óvintézkedéseket találhatjuk egy adott géptípusra nézve. Az ISO 10218 az ipari robotok biztonságának szabványa, ami mind robot gyártó (ISO 10218-1), mind rendszer integrátor (ISO 10218-2) szempontból feldolgozza a robotok biztonságának témáját. Az ISO TS 15066 a robotok működését és üzemeltetését (guidance on collaborative robot operations) tárgyalja [2].

2.4 Szabványok összefoglalás

A cikkben, terjedelmi korlátok miatt csak említés formájában bemutatott szabványok beható tanulmányozása révén érhetővé és kezelhetővé válik az ipari folyamatok, gépek és az informatikai háttér biztonságának kezelése. Ezen szabványok ismeretében a vállalatok már szabadon eldönthetik,

hogyan mérhetik fel a biztonságukat, hogyan határozhatnak meg célokat e téren és milyen intézkedéseket, folyamatokat építenek be működésükbe.

3 Gazdasági korlátok

Annak érdekében, hogy tisztában legyünk a megoldásunk értékével és kereteivel, a kobotok felvevőpiacát, az ott szereplő vállalatok igényeit is megvizsgáljuk. Így a kereslet alapján megérthetjük, hogy kínálati oldalon mi teszi eladhatóvá a kobotokat. Az üzletfeleknél egyaránt megfigyelhetők erőforrás korlátok és prioritások a piaci dinamikák mentén, amik hatást gyakorolnak a biztonságra.

3.1 Szállítói és felhasználói szempontok

A kobotok a nagy ipari robot rendszerekkel szemben kisebb teljesítményűek. Hasznos teherbírásuk 1-10 kg nagyságrendű. Sokféle feladatra munkába állíthatók. Programozásuk egyszerű. Ezek a tulajdonságok részben gazdasági eredetűek. A KKV-k általában nem engedhetik meg maguknak, hogy összetett termékportfólió mellett tömeggyártásra törekedjenek és fejlett, nagy teljesítményű kooperatív robotokat felvonultató gyártósorokba ruházzanak be [13], [14]. Versenyképességük fokozására viszont az egyszerűbb és olcsóbb, relatíve kis kockázattal alkalmazható kobotok ideális választás lehet számukra. Ennek megfelelően gyártási folyamataik is egyszerűek és a teljes automatizálás helyett a kobotokkal inkább az emberi erőforrásaik produktivitását növelő humán-robot kollaborációt választják [15], [16].

Az előregedő társadalom, képzett munkaerőhiány regionális sajátosság. A régió válasza erre az ipari digitalizáció, az Ipar 4.0 megjelenése. A fogalom és a hozzá társuló koncepció nem véletlenül Németországból (Industrie 4.0, Ipar 4.0) kiindulva terjedt el a térségben. Ugyancsak megfigyelhető Közép-Kelet-Európában a kisvállalkozások (1-500 fő) tömeges működése, az országos viszonylatban csupán néhány nagyvállalathoz képest. De a közepes méretű, tipikusan néhány ezer főt számláló vállalatokból sincs túl sok hazánkban és a fejlődő államokban. A KKV-k és azon belül is a kis vállalatok magas száma és együttesen az Ipar 4.0 elve indukálja és formálja a kobotokra való igényeket és a kobotok jellemzőit meghatározó követelményeket [1], [16], [17].

A kínálat, azaz a szállítói oldal, tehát a kobotgyártók a kereslethez alkalmazkodva relatíve olcsó, 10 millió forint nagyságrendű vételárú, egyszerűen használható eszközöket fejlesztenek ki. A gyártók között árverseny figyelhető meg. Ugyanis a régió egy kisvállalata erősen korlátozott árbevételből gazdálkodhat, így költséges, hosszútávú beruházásokat nem engedhet meg magának [18].

3.2 A gazdasági korlátok biztonságra gyakorolt hatása

Egy ipari KKV, korlátozott erőforrásai révén, nem feltétlenül engedheti meg magának, hogy tanúsíthatóan a felsorolt szabványok szerint működjön, a szabványok ismerete mindenképp hasznos, olykor megkerülhetetlen.

A kobot szállítók az árverseny miatt inkább a hardver minőségére és biztonságára tudnak hangsúlyt fektetni. A kobotok programozására használt szoftverek egyszerűen használhatók kell legyenek, de magas fokú flexibilitást szükséges biztosítaniuk. Emiatt a végfelhasználók, operátorok számára ismert webes megoldásokat alkalmaznak. A webes fejlesztői eszközök, fejlesztői könyvtárak rendkívül gyorsan fejlődnek. Néhány év leforgása alatt egymással inkompatibilis verziók jelennek meg. A szoftverfejlesztés is meglehetősen költséges. Az olcsón vagy ingyenesen elérhető szoftverkomponensek, amire a költséghatékony szoftverfejlesztést lehet építeni, nem rendelkeznek

ipari szintű biztonsággal és támogatással. Az egyedi fejlesztésű szoftverek életciklusuk karbantartás fázisa alatt emésztik fel a legtöbb erőforrást (pénz, munkaóra), kiváltképp, ha már nem támogatott komponens verziókra épít. Egy ipari robot akár 10-15 évig is üzemelhetne, termelhetne, de így a szoftverért is ilyen időtávon lenne szükséges karbantartani. A megfelelő biztonságot adó szoftver karbantartás ezért a kobotgyártók részéről egyszerűen nem kifizetődő. Inkább az kobotok hasznos élettartamát csökkentik és új modelleket dobnak piacra, viszonylag kevés hardver változtatással, újraírt szoftverrel [5], [19].

3.3 Gazdasági korlátok összefoglalás

Beláttuk, hogy a kobotok kisvállalati alkalmazása meghatározó térségünkben. Ennek igényeihez, gazdasági sajátosságaihoz alkalmazkodnak a kobotgyártók is.

A TCP/IP és a rá épülő HTTP protokoll nem önmagában jelent biztonsági kockázatot, hanem a ráépülő egyedi szoftverfejlesztés (a karbantartást is beleértve) problémája miatt nehéz a megfelelő biztonsági szint fenntartása.

A felhasználók, többnyire KKV mivoltukból adódóan nehezen tudnak biztonságos üzemeltetési feltételeket biztosítani. Amikor a kockázatok csökkentésére megoldást tervezünk, a KKV szektor korlátozott eszköz- és erőforráskészletét szükséges számításba vennünk.

4 Műszaki elemzés

A kockázatok, szabványok és erőforrás korlátok ismeretében műszaki megoldást tervezhetünk az elfogadható biztonsági szint megteremtésére és fenntartására. Egy konkrét kobot modell veszélynek való kitettségét szekunder kutatásból megismerhetjük. Ezt felhasználva induktív módszerrel általános, modellezhető műszaki problémát kapunk. A probléma megoldásának verifikációja és validálása után a megoldás már gyakorlatban is alkalmazható.

4.1 Publikált sebezhetőségek

A HTTP és az alatta lévő TCP/IP protokollokhoz köthető megoldásai egy neves kobot gyártónak (webkiszolgáló, domain név server, fejlesztői könyvtárak és egyedi webes szoftverkomponensek) súlyos biztonsági hibákat rejtettek egy ismert, nemzetközi díjakat nyert, minőségi kobot modellnél [5].

Az [5] tanulmányban tárgyalt konkrét biztonsági rések és a rájuk adott foltok specifikusan a kobot modellre és szoftver verzióra nézve. A precedens igazolja, hogy a kobotok webes hozzáférése biztonsági kockázattal jár, így érdemes foglalkozni vele, valós problémával nézünk szembe. Bár a hivatkozott cikk szerzői műszaki megoldást adtak konkrét esetre, az elsődleges céljuk nem a különböző, eltérő gyártóktól származó kobotok webes rendszereinek általános biztonságossá tétele volt. Ez további kutatásra ad teret.

4.2 Elméleti megoldás és modellezés

Tekinthetünk a kobotunkra egy, a hálózaton lévő eszközre, ami a publikált sebezhetőségek alapján viselkedik, kommunikál. Próbáljunk meg általánosabb megoldást adni, mint a specifikus publikált megoldásban! Például mi lenne, ha elvárnánk az Internettől és a többi hálózaton lévő eszköztől a kobotot? A vizsgálatokat a beavatkozásnak megfelelő hálózati eszköz (switch, router) konfigurációval

és szimulátor szoftverrel végezhetjük el. Ez jelenti a műszaki modellünket a problémára. Támadások eseteinek a modellen, laboratóriumi körülmények között való végig játszásával verifikálhatjuk, hogy modellen vett megoldási lehetőségünk működőképes-e, azaz megfelel a célként kitűzött elfogadható biztonság szintjének.

4.3 Validáció

Többféleképpen is validálható, hogy a modell megfelelő-e, azaz a valós esetet jól reprezentálja. Legcélravezetőbb egy valódi, konkrét kobot eszközt a modell helyére illeszteni és tesztelni a modellen kidolgozott megoldást [20]. Ez természetesen lehet más és ajánlott is, hogy más legyen, mint szekunder kutatás Franka Emika Panda kobotja. Az ellenőrzéseket jól dokumentált labormérések formájában érdemes elvégeznünk.

Szintén validációs lépés, amikor modell általánosságát olyan emulátorral ellenőrizzük, ami más, létező kobot típusok specifikációi alapján készültek. A kutatási eredmények megosztása után hasznos, ha más független kutatók is validálni tudják a modell és megoldás alkalmazhatóságát [21].

Egy validációs lépés sikertelensége esetén szükséges a megoldási lehetőség módosítása, finomítása, esetleg elvetése. Például egy kobot Internet hozzáférés, illetve rendszeres szoftverfrissítés nélkül hibát jelezhet a normál működés helyett.

4.4 Műszaki elemzés összefoglalás

A TCP/IP és HTTP(S) protokollokhoz köthető technikai megoldások a kobotoknál sebezhetőségeket rejtenek, ami valós, megoldandó probléma, szekunder kutatás alapján. A problémát modellalkotással és szimulációval kísérhetjük megoldani, labor körülmények között, még kidolgozandó mérési tervvel és vezetett mérési jegyzőkönyvvel. A modell validálásának elvét ismertettük. Sikeres validálás után a megoldás a gyakorlatban is bevezethető, de javasolt egy korlátozott, ún. pilot projekt formájában „piacra vinni” a megoldást.

Összefoglalás

A kutatás egyetlen apró területre összpontosít. Hogyan alkalmazhat régiókban egy ipari KKV kobotot biztonságosan, a webes technológiák sebezhetőségeiből adódó kockázatok figyelembevételével. Kész választ még ezen a kis területen sem tudunk egyből adni a probléma összetettsége miatt. Viszont a problémát felmértük, kontextusba helyeztük, ami további kutatások számára szolgál alapul.

Sikerült belátnunk, hogy valós problémát találtunk, amelynek a felvetése, elemzése és megoldása gazdasági és tudományos értéket képvisel. A kutatás ugyanis labormérést készít elő, arra tervet és módszereket fektet le. Ezek alapján tervezünk további munkát végezni a kijelölt területen.

Bízunk benne, hogy a tudományos életben kelt némi visszhangot a jelen kutatásunk és építő kritikát kaphatunk rá, feltárva akár az esetleges pontatlanságait, megerősítve viszont a helytálló pontjait.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a XL. Kandó Konferencia szervezőinek, résztvevőinek, oktatóinknak, kutatótársainknak és szeretteinknek odaadó támogatását, amely révén a cikk létrejöhett és további kutatásokra ösztönözhet miket és társainkat!

Hivatkozott irodalom

- [1] F. Sherwani, M. M. Asad, és B. S. K. K. Ibrahim, „Collaborative Robots and Industrial Revolution 4.0 (IR 4.0)”, in *2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST)*, márc. 2020, o. 1–5. doi: 10.1109/ICETST49965.2020.9080724.
- [2] V. Villani, F. Pini, F. Leali, és C. Secchi, „Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications”, *Mechatronics*, köt. 55, o. 248–266, nov. 2018, doi: 10.1016/j.mechatronics.2018.02.009.
- [3] Nacsa J., Hajós M., Komáromi G., Horváth G., és Pataki B., „Gömbcsap szerelése ember-robot kollaborációban”, in *Workshop 2019*, HUNGARNET Egyesület, dec. 2019, o. 13–21. doi: 10.31915/NWS.2019.2.
- [4] Paniti I., Nacsa J., és Abai K., „Robotos szerelési kísérletek háromujjas megfogóval”, in *Workshop 2019*, HUNGARNET Egyesület, dec. 2019, o. 22–29. doi: 10.31915/NWS.2019.3.
- [5] S. Hollerer és mtsai., „Cobot attack: a security assessment exemplified by a specific collaborative robot”, *Procedia Manuf.*, köt. 54, o. 191–196, jan. 2021, doi: 10.1016/j.promfg.2021.07.029.
- [6] „CVE - CVE”. Elérés: 2024. december 2. [Online]. Elérhető: <https://cve.mitre.org/>
- [7] „OWASP Top Ten | OWASP Foundation”. Elérés: 2024. december 2. [Online]. Elérhető: <https://owasp.org/www-project-top-ten/>
- [8] International Society of Automation - ISA, *ISAGCA Cybersecurity Risk Assessment ANSI/ISA 62443-3-2*, (2021. június 7.). Elérés: 2023. december 6. [Online Video]. Elérhető: <https://www.youtube.com/watch?v=CfrTCNQwvws>
- [9] „Common Vulnerability Scoring System SIG”, FIRST — Forum of Incident Response and Security Teams. Elérés: 2024. december 2. [Online]. Elérhető: <https://www.first.org/cvss/>
- [10] „CWE - Common Weakness Scoring System (CWSS)”. Elérés: 2024. december 2. [Online]. Elérhető: https://cwe.mitre.org/cwss/cwss_v1.0.1.html
- [11] Ungvári P., „Diplomamunka II - Biztonságos ipari informatikai rendszerek fejlesztése”, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Híradástechnika és Infokommunikáció Tanszék: Óbudai Egyetem, 2023, o. 86.
- [12] A. Amirault, „Securing industrial networks: What is ISA/IEC 62443?”, Cisco Blogs. Elérés: 2023. december 10. [Online]. Elérhető: <https://blogs.cisco.com/security/securing-industrial-networks-what-is-isa-iec-62443>

-
- [13] Elvira P. D., „Az ipar 4.0 és a KKV-k előtt álló kihívások”, diplomadolgozat, bge, 2020. Elérés: 2024. december 2. [Online]. Elérhető: <https://dolgozattar.uni-bge.hu/27762/>
- [14] A. Schumacher, S. Erol, és W. Sihn, „A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises”, *Procedia CIRP*, köt. 52, o. 161–166, jan. 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.07.040.
- [15] Judit D. K.-D., „Az Ipar 4.0 megvalósulása a magyarországi KKV-k körében”, *Vállalkfejleszt. XXI Században*, köt. 1. kötet, sz. Az üzleti szervezetek túlélési esélyei napjaink legújabb kihívásainak idején, o. 141–160, 2022.
- [16] C. Schröder, *The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises*. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung, 2016.
- [17] Gábor T., „A 4. Ipari forradalom”, EPLM. Elérés: 2023. december 10. [Online]. Elérhető: <https://blog.eplm.hu/4-ipari-forradalom/>
- [18] Nagy J., „Az ipar 4.0 fogalma, összetevői és hatása az értékláncre ----- Industry 4.0: definition, elements and effect on corporate value chain”. Elérés: 2021. december 23. [Online]. Elérhető: <http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/3115/>
- [19] L. S. Thummapudi, A. K. Cherukuri, és T. C. Ling, „Security Concerns and Controls of Intelligent Cobots of Industry 4.0”, in *Industry 4.0, Smart Manufacturing, and Industrial Engineering*, CRC Press, 2024.
- [20] B. H. Thacker, S. W. Doebeling, F. M. Hemez, M. C. Anderson, J. E. Pepin, és E. A. Rodriguez, „Concepts of Model Verification and Validation”, United States, okt. 2004.
- [21] W. R. Adrion, M. A. Branstad, és J. C. Cherniavsky, „Validation, verification, and testing of computer software”, *ACM Comput. Surv. CSUR*, köt. 14, sz. 2, o. 159–192, 1982.

Adatsimítási technikák alkalmazása mérési adatokhoz zajcsökkentés céljából

Varga Zoltán^{1, 2, 3}, Radó László², Rác Ervin³

¹Óbudai Egyetem, Alkalmazott Informatika és Alkalmazott Matematika Doktori Iskola, 1034 Budapest, Bécsi út 96, varga.zoltan@uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar, 1034 Budapest, Bécsi út 96, varga.zoltan@uni-obuda.hu, laszlo.rado@bt.com

³ Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, 1034 Budapest, Bécsi út 96, varga.zoltan@uni-obuda.hu, racz.ervin@uni-obuda.hu

Abstract: A megújuló energiaforrások, különösen a napenergia hasznosítása terén végzett kutatások kritikus szerepet játszanak a fenntartható és környezetbarát villamosenergia-termelés előre mozdításában. A festékkérszenyített napelem (angolul: Dye-Sensitized Solar Cell, DSSC) technológia különösen ígéretes alternatívát kínál a korábbi napelem technológiákkal szemben, mert a gyártási költségek alacsonyabbak. A DSSC szendvicsstruktúra vezetőképes üveghordozók között helyezkedik el, az alábbi komponensek: (i) félvezető réteg; (ii) félvezető rétegre abszorbeált fényérzékeny festékanyag; (iii) elektrolit oldat; (iv) ellen elektróda. A cella működésének egyszerűsített magyarázata: a belépő fotonokat a festékanyag elnyeli, majd a gerjesztés hatására a festékanyag belső energiája megnő. Ezáltal, a festékanyag elektronokat injektál az n-típusú félvezető rétegbe, ahonnan az anódon keresztül kivezetésre kerül [1]. A napelemes technológiák fejlődése és kutatása során különösen fontos szerepet kap a mérési adatok pontossága és megbízhatósága. Különösen igaz ez a kis méretű napelem cellák vizsgálatára, ahol a mérési eredmények gyakran zajosak és ingadozóak lehetnek. Ezek zajok lehetnek véletlenszerű fluktuációk, amelyek a mérési folyamat során keletkeznek, vagy a mérőeszközök sajátosságaiból adódó torzítások. Az ilyen zajos adatok nehezítik a pontos és megbízható tudományos következtetések levonását. A tudományos publikációk rámutatnak az adatsimítási módszerek alkalmazásának fontosságára [2]. Fő motivációnk, hogy támogassuk a fenntartható és megújuló villamos energiatermelést, valamint csökkentsük a környezetre gyakorolt negatív hatásokat. Jelen kutatásunk célja, hogy kísérletet tervezzen meg, kísérleteket végezzen el a festékkérszenyített napelem cella villamos paramétereire és az elektromágneses sugárzás interakcióját vizsgálva, adatok begyűjtése, feldolgozás értékelése történhessen meg. Az adatértékelés során a kísérletből származó adatokon adatsimítási vizsgálatot végzünk és hasonlítunk össze annak érdekében, hogy az idő függvényében elvégzett kísérletnél felmerült véletlen fluktuációkat kiszűrjük.

Keywords: Festékkérszenyített napelem cella, Adatsimítás, Locally Estimated Scatterplot Smoothing, Mozgóátlag

1 Bevezetés

Az energiaellátásban egyre nagyobb teret nyerne az alternatív energiaforrások, hiszen a fosszilis energiahordozók kiaknázható készletei végesek és égetésük során jelentős mértékben növelik az üvegházhatású gázok légkörben megjelenő koncentrációját [3]. Az egyik legjelentősebb üvegházhatású gáz, amit érdemes megemlíteni, a szén-dioxid, amely komoly klimatikai problémákat okoz úgy, mint átlagos hőmérséklet emelkedés, szélsőséges időjárások [4]. A technológia ugrásszerű fejlődésének köszönhetően számos alternatív energiaforrás hasznosítása létezik, köztük a napenergia. A napenergia az egyik legfontosabb megújuló energiaforrás, melyet hőenergia és villamos energia formájában tudunk kinyerni [5]. A napból érkező elektromágneses sugárzást közvetlenül villamosenergiává alakító eszköz a napelem, mely nagyon vonzó mind hazai, mind nemzetközi szinten, hiszen gyártástechnológiától függően az élettartama 20-25 évre becsült, és más eszközökhöz képest elhanyagolhatóan kevés karbantartást igényel [6]. Malinoswki és munkatársai tudományos publikációjukban vizsgálták a napelem típusok világpiacra eladott arányát. Kutatásukból kitűnik, hogy a világpiacot a monokristályos napelemek uralják 69%-kal, majd ezt követi a polikristályos napelemek 24%-kal, majd kadmium-telluris, amorf-szilícium és egyéb napelemek a

korábbiakhoz képest jóval alacsonyabb részesedéssel [7]. Egyes tudományos publikációk alapján a festékérzékenyített napelem cellák megtörhetik a szilícium alapú napelemek dominanciáját [8]. Mindezek mellett a festékérzékenyített napelem cella (angolul: Dye-Sensitized Solar Cell, DSSC) technológia különösen ígéretes alternatívát kínál a korábbi napelem technológiákkal szemben, mert a gyártási költségek alacsonyabbak. A DSSC szendvicsszerkezetű vezetőképes üveghordozók között helyezkedik el, az alábbi komponensek: (i) félvezető réteg; (ii) félvezetőre abszorbeált fényérzékeny festékanyag; (iii) elektrolit oldat; (iv) ellen elektróda. A cella működésének egyszerűsített magyarázata: a belépő fotonokat a festékanyag elnyeli, majd a gerjesztés hatására elektronok injektálásával leadja az n-típusú félvezető rétegnek, ahonnan az anódon keresztül kivezetődnek [9]. A festékanyag elvesztett, leadott elektronjait pótolni tudja egy jodid/trijodid elektrolit oldatból, ami a fém ellenelektrodától (katód) vesz fel elektronokat. A bemutatott szendvicsszerű szerkezet fizikai működése eltér a korábbi hagyományos kristályos szilícium alapú napelemektől [8]. A napelemes technológiák fejlődése és kutatása során különösen fontos szerepet kap a mérési adatok pontossága és megbízhatósága. Különösen igaz ez a kis méretű napelem cellák vizsgálatára, ahol a mérési eredmények gyakran zajosak és ingadozóak lehetnek. Ezen zajok lehetnek véletlenszerű fluktuációk, amelyek a mérési folyamat során keletkeznek, vagy a mérőeszközök sajátosságaiból adódó torzítások. Az ilyen zajos adatok nehezítik a pontos és megbízható tudományos következtetések levonását. A tudományos publikációk rámutatnak az adatsimítási módszerek alkalmazásának fontosságára.

Prilliman és munkatársai a napelem modulok hátoldali hőmérsékletének előrejelzését végezték, melyhez súlyozott mozgóátlag-alapú modellt mutattak be [10]. Kini és munkatársai a napelem rendszerek termelési ingadozásának mérséklésére fejlesztettek ki egy mozgóátlag-szabályozást. A módszert valós körülmények között is tesztelték [11]. Sukumar és munkatársai tanulmányukban bemutatták a fotovillamos rendszerek termelésében tapasztalható teljesítmény-ingadozások kezelésére vonatkozó szabályozási technikákat. Ezen szabályozási technikákat, módszereket három fő kategóriába sorolták, melyek (i) mozgóátlag és exponenciális simítási alapú módszerek; (ii) szűrő alapú módszerek; (iii) ramp-rate alapú algoritmusok [12]. Hansun tanulmányában idősor elemzés keretein belül mutatja be a súlyozott exponenciális mozgó átlag módszert, mely a súlyozott mozgó átlag és az exponenciális mozgó átlag súlyozási tényezőinek kombinálásával jön létre. A bemutatott módszer célja, hogy javítsa az időbeli adatsorok előrejelzését és pontosságát [13]. A hibadetektálás során ugyancsak előfordulnak a simítási algoritmusok alkalmazása vagy azok más algoritmussal való ötvözése. Arévalo és munkatársai módszert dolgoztak ki a fotovoltaiikus rendszerekben lévő hibadetektálásra, melyben a lineáris regresszió mellett a mozgóátlag és a ramp-rate algoritmusok ötvözése is megmutatkozik [14].

Az áttanulmányozott irodalmak alapján fő célunknak tűztük ki, hogy kísérleteket tervezzünk meg, kísérleteket végezzünk el a festékérzékenyített napelem cella villamos paramétereire és az elektromágneses sugárzás interakciójára vonatkozólag, majd adatokat gyűjtsünk be, dolgozzuk fel és értékeljünk. Az adatérzékelés során a kísérletből származó adatok adatsimítási vizsgálatokat végzünk és hasonlítunk össze annak érdekében, hogy az idő függvényében elvégzett kísérletnél felmerült véletlen fluktuációkat kiszűrjük.

Tudományos kérdésfeltevés:

- (1) Milyen módon és mértékben lehet javítani a kísérletből származó adatsorok pontosságát és megbízhatóságát a simítási algoritmusok alkalmazásával?

Kutatásmódszertan

Az említett fő célkitűzés megvalósításához elsőként adatgyűjtési és adatfeldolgozási folyamatot végzünk, majd az adatsimítási eljárások segítségével kiszűrjük az idő függvényében elvégzett kísérletek véletlen fluktuációit, ezáltal növelve a mérési adatok pontosságát. A kapott eredményeket összehasonlító elemzéseknek vetjük alá.

2 Elemzési módszerek és simítási eljárások

2.1 Kísérletek megtervezése és végrehajtása

A tudományos munka céljának megvalósítása érdekében első lépésként kísérleteket terveztünk meg és hajtottunk végre. Az adatokat begyűjtöttük és értékeltük. Első lépésként, az optimális kísérleti elrendezés megtervezése során szükséges volt a napelem hőgenerátoros kettős rendszer pontos, reprodukálható és könnyen monitorozható fűtését és hűtését megterveznünk, melyhez 6,2 cm x 6,2 cm TEC1-12730 típusú Peltier-elemet alkalmaztunk. Az eljárás működését, pontosságát, reprodukálhatóságát ellenőriztük a rendszer időállandóival. A kísérleti eljárást korábbi publikációban részletesen kifejtettük [15]. A kísérleti vizsgálatokat egy megtervezett és egyéni konstrukciójú napszimulátor segítségével végeztük el, mely az American Society for Testing and Material (ASTM) E972 szabvány besorolás alapján C-kategóriájú minősítésbe sorolható [16]. Az 1. ábrán látható az említett napszimulátor laboratóriumi környezetben.

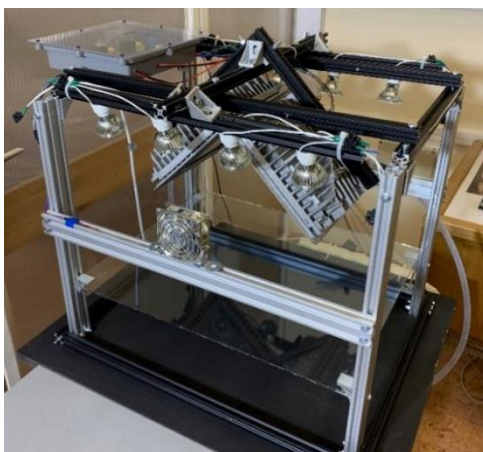


Figure 1

C-típusú napszimulátor - mely LED és halogén fényforrásokból épül fel - , ahol a vizsgálandó festékérzékenyített napelem cella a céltárgytartó üvegtálcára került.

A festékérzékenyített napelem cellát a céltárgytartó üvegtálcára helyezést követően a napszimulátort aktiváltuk és a cella elektromos feszültség-idő, feszültség idő adatpontjait rögzítettük, mely eljárás időfüggő méréseket tartalmaz. Majd az idő eliminálásával az Ohm-törvényt felhasználva nyers villamos áram és villamos feszültség koordinátákat határoztunk meg. Ezzel párhuzamosan monitoroztuk a napelem cella hőmérsékletét, a beeső elektromágneses sugárzás intenzitás-hullámhossz spektrumát és a fotonbeütésszám-hullámhossz spektrumát. A kísérletek elvégzése során a beeső fényintenzitás mérésére Steca ES1 mérőműszert, a beeső fény fotonbeütésszám-hullámhossz vizsgálatára Apogee PS 100 spektrométert alkalmaztunk. A napszimulátor spektruma, mely a festékérzékenyített napelem cella céltárgyat megvilágítja LED és halogén fényforrás szuperpozíciójából tevődik össze. A halogén fényforrás miatt az elektromágneses sugárzásnak nem csak fotovillamos hanem hőhatással is rendelkezik a napelemre vonatkozólag. Az IEC 60904-1

szabványban rögzített szabványosított vizsgálati körülményeket a kísérletek megtervezése és végrehajtása során figyelembe vettük.

2.2 Simítási eljárások

A kísérletek elvégzéséhez alkalmazott méréstechnikai eljárást a [17] publikációban bemutatott eljárásra alapoztuk, de ezen kísérleti eljárás adatelemzés részét munkánk során továbbfejlesztettük. Munkánk során három simítási algoritmust hasonlítottunk össze, melyek a mozgóátlag, súlyozott mozgóátlag és locally estimates scatterplot smoothing.

Mozgóátlag

A mozgóátlag (angolul: Moving Average, rövidítve: MA) az egyik legelterjedtebb simítási algoritmus, amely az adatsorok rövid távú ingadozásainak kiegyenlítésére alkalmazott simítási technika. A módszert különböző alkalmazási területen használjuk egészen a gazdasági, pénzügyi vizsgálatoktól az energetikai feladatokig. A mozgóátlag formulát az (1) egyenlet mutatja az alábbiak szerint:

$$MA = \frac{1}{k} \sum_{i=n-k+1}^n p_i \quad (1)$$

ahol a k az időablak hossza, p_i az i -edik adatpont értéke. Az (1) egyenletből szembetűnővé válik, hogy a módszer az adatsor egy előre meghatározott számú adatpontjának átlagolását végzi el, valamint minden adatpontot azonos súllyal vesz figyelembe. Az időablak hosszának változtatásával a kapott eredmény dinamikusan változik.

Súlyozott mozgóátlag

A mozgóátlag egy tovább fejlesztett változata a súlyozott mozgóátlag, amely az adatpontokat az egyes időablak esetén nem azonos súllyal veszi figyelembe. A súlyok változtatásával az adatok nagyobb hatással vannak a simítási eredményre. A (2) egyenlet mutatja be a súlyozott mozgóátlag képletét, ahol a ω_i a súlyozási tényező az i -edik adatponthoz, n az aktuális időpont, k az időablak hossza és p_i az i -edik adatpont.

$$WMA = \frac{\sum_{i=n-k+1}^n \omega_i \cdot p_i}{\sum_{i=n-k+1}^n \omega_i} \quad (2)$$

A súlyozott mozgóátlagról elmondható, hogy az adatok gyors változásaihoz alkalmazkodóbb szemben a mozgóátlaghoz.

Locally Estimated Scatterplot Smoothing

A Locally Estimated Scatterplot Smoothing (magyarul: lokálisan becsült szórásponthoz simítás, rövidítve: LOESS) egy olyan nem-parametrikus regressziós eljárás, amely simítja az adatpontokat azáltal, hogy egy alacsony fokszámú polinomot illeszt az adatok lokalizált részhalmazára. Mindazonáltal, a LOESS alapvetően két változó közötti kapcsolat vizuális értékelésére szolgál. Más megfogalmazásban, a LOESS egy előre meghatározott tartományban végzett súlyozott lineáris regresszió segítségével határoz meg trendvonalat. A módszer matematikailag az alábbi egyenlettel adható meg:

$$LOESS(x) = \sum_{i \in I} \omega_i(x) \cdot p_i \quad (3)$$

ahol $\omega_i(x)$ a súlyozási tényező, p_i az i -edik adatpont. A módszer esetén a leggyakrabban alkalmazott súlyfüggvény a tricube súlyfüggvény, mely az alábbi egyenlettel adható meg: $\omega_i = \left(1 - \left(\frac{|x_i - x_0|}{h}\right)^3\right)^3$, ahol h az ablak szélessége.

2.3 Mutatószámok

A modell teljesítményének értékeléséhez három mutatószám került alkalmazásra, melyek a Mean Square Error (rövidítve: MSE), Root Mean Square Error (rövidítve: RMSE) és a Mean Absolute Error (rövidítve: MAE). Ezen mutatók segítségével a simítási algoritmusokat összehasonlítottuk és a legpontosabb simítási algoritmust kiválasztottuk.

Mean Square Error

Az MSE mutató a nyers adatpontokra illesztett villamos áram-feszültség karakterisztika és a simított adatpontokra illesztett villamos áram-feszültség karakterisztika egyes értékei közötti négyzetes eltérések átlagát számítja ki. A Mean Square Error az (5) egyenlettel definiálható, mely a következő:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (5)$$

Az (5) egyenletben szereplő négyzetre emelés miatt a mutatószám nagyobb súlyt ad a nagyobb eltéréseknek.

Root Mean Square Error

Az eredeti mértékegységbe való visszaalakítás érdekében bevezetésre került a Root Mean Square Error mutatószám, mely az MSE négyzetgyökének kiszámításával állítható elő. A (6) egyenlet szemlélteti az RMSE számítását.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (6)$$

Fontos megemlíteni, hogy az RMSE ugyancsak érzékeny a nagyobb hibákra és ezen hibák befolyásolják a végeredményt. Másképpen megfogalmazva, az RMSE magában foglalja az MSE érzékenységet.

Mean Absolute Error

Az előző két metrikával szemben, a Mean Absolute Error nem túlozza el a nagyobb hibák hatását, ezért a tanulmányunkban kiemelt figyelmet fordítottunk ezen mérőszámra. A Mean Absolute Error mutató az alábbi egyenlettel számolható ki:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (7)$$

A MAE mutató a nyers adatpontokra illesztett villamos áram-feszültség karakterisztika és a simított adatpontokra illesztett villamos áram-feszültség karakterisztika egyes értékei közötti átlagos abszolút különbséget adja meg. Továbbá, az abszolút hibák összege eloszódik a minta méretével.

Mindezek mellett, mind a három mutatószám esetén elmondható, hogy minél alacsonyabb az értéke, annál pontosabb az alkalmazott modell.

3. Eredmények

A kísérletekből származó adatokat begyűjtöttük, python környezetbe importáltuk és első lépésként megvizsgáltuk az esetleges kiugró, hiányzó adatokat. Mindezek mellett, leíró statisztikákat alkalmaztunk az adatok eloszlásának vizsgálatára, beleértve olyan mutatókat, mint az átlag, medián, módusz és szórás. Ezen elemzés során kiderült, hogy bizonyos értékek gyakorisága kiemelkedően magas és az adatok eloszlása nem Gauss-eloszlású. Korábban említésre került, hogy a laboratóriumi kísérletek időfüggő mérési eljárásokat tartalmaztak. Ezáltal a mérőműszer időértékeket rendelt az adatkészlet minden egyes mért adatpontjához egyenlő mintavételezés mellett. Az alkalmazott két csatornás oszcilloszkóp minkét csatornájának mintavételezési ideje azonos volt.

A következő lépésként előállított elektromos áramerősség-feszültség párok (koordináták) simítási technikákat alkalmaztunk. A mozgóátlag esetében két különböző ablakméretet alkalmaztunk: (i) egy rövidebbet, ahol $k=3$ és (ii) egy hosszabbat, ahol $k=5$, annak érdekében, hogy értékelhessük az eltérő ablakméretek hatását az adatkészletre. A súlyozott mozgóátlag módszer esetén két különböző súlyozási tervet kellett meghatározásra: (i) 0.1, 0.2, 0.3 és 0.4; (ii) 0.05, 0.1, 0.25 és 0.6. A két tervet lényegesen eltér egymástól, míg az (i) esetén a súlyok fokozatosan növekednek, addig a (ii) esetén a legfrissebb adatra helyezzük a legnagyobb hangsúlyt. A LOESS módszer esetében részhalmazarányok megadására az alábbiakat használtuk: (i) 0.015; (ii) 0.02; (iii) 0.03; (iv) 0.04; és (v) 0.05. Ezen részhalmazarányok a helyi illesztésben használt részhalmazok arányait adják meg.

A simítási eljárásokat követően a simított adatpontokra az elektromos áram-feszültség karakterisztika egyszerűsített egyenletét illesztettük. Az elektromos áram-feszültség karakterisztika egyenlete az alábbi egyenlettel ((8) egyenlettel) adható meg:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (8)$$

ahol I : az áramerősség; I_L : a fotóáram; I_0 : az elektromos sötét telítési áram; q : az elektron elemi töltése; V : az elektromos töltés; n : az idealitási tényező; k : Boltzmann-állandó; T : hőmérséklet.

Table 1

Mean Absolute Error paraméter javulása különböző simítási technikák alkalmazása mellett, ahol f a részhalmazokat szimbolizálja az alábbiak szerint: $f1$: 0.015; $f2$: 0.02; $f3$: 0.03; $f4$: 0.04 és $f5$: 0.05; $w3$: az ablakméret értéke 3, $ws5$: ablakméret értéke 5; $w1$: súlyok értékei: 0.1, 0.2, 0.3 és 0.4; $w2$: súlyok értékei: 0.05, 0.1, 0.25 és 0.6

	Adatok száma	Javulások száma	Százalékos arány (%)
LOESS $f1$	144	76	52.78
LOESS $f2$	157	91	57.96
LOESS $f3$	164	96	58.54
LOESS $f4$	175	104	59.77
LOESS $f5$	177	104	58.76
MA $ws3$	175	90	51.43
MA $ws5$	174	76	43.68
WMA $w1$	175	90	51.43
WMA $w2$	170	92	54.12

Míg az elektromos áram-feszültség karakterisztika egyszerűsített egyenletét a (9) egyenlet szemlélteti az alábbiak szerint:

$$y = a - b[\exp(c \cdot x) - 1] \quad (9)$$

ahol a , b , c az egyenlet paraméterei. Ezen paraméterek segítségével görbét illesztettünk az adatahalmaz x -koordinátáihoz mind a nyers, mind a simított görbeparaméterek alapján. Majd ezen eredményekre alapozva kiszámítottuk az MSE, RMSE, MAE és R^2 értékeket, ahol R^2 a görbeillesztés

minőségét jelenti. Az 1. táblázat szemlélteti a Mean Absolute Error paraméter értékeit, az felhasznált adatok számát, a javulások számát és az ezekből számított százalékos arányokat az egyes esetekben. A 2. táblázat szemlélteti az illesztési pontosságok összehasonlítását a nyers és a simított adatokra vonatkozólag a különböző simítási technikák esetén.

Table 2

Az illesztési pontosság összehasonlítása a nyers és a simított adatokra vonatkozólag különböző simítási technikákat figyelembe véve

	Nyers adatpontok	Simított adatpontok	Növekedési ráta
LOESS f1	0.38403	0.778127	2.0262
LOESS f2	0.38935	0.895285	2.2994
LOESS f3	0.39158	0.920959	2.3519
LOESS f4	0.38987	0.937466	2.4046
LOESS f5	0.39058	0.943665	2.4161
MA ws3	0.38737	0.642858	1.6595
MA ws5	0.38812	0.741514	1.9105
WMA w1	0.38874	0.66617	1.7136
WMA w2	0.38764	0.583222	1.5046

A Mean Squared Error és Root Mean Squared Error értékei is kiszámításra kerültek, azonban ezen mutatók esetén nem tapasztaltunk javulást, így ezen eredmények nem kerültek bemutatásra. A magyarázat abban rejlik, hogy az MSE és RMSE mutatók érzékenyek a nagyobb hibákra és ezen hibák erősen befolyásolják az eredményt. A 2. ábra szemlélteti a nyers adatpontokra és a simított adatpontokra illesztett görbéket. Az egyes simítási módszerek hatékonyságát az 1. és a 2. táblázatok alapján végeztük el és az alábbi következtetések vonhatók el:

- Nemcsak a táblázatokból, hanem vizuálisan is egyértelmű, hogy simítási algoritmusok alkalmazásával a nyers adatok zajszintje csökkent.
- A Locally Estimated Scatterplot Smoothing esetén található a legnagyobb javulás mind a MAE (58-59%-os javulás), mint az R^2 esetén (R^2 : 0.8-0.9). Ezáltal a LOESS módszer hatékonyabb simítási algoritmus kis méretű festékérzékenyített napelem cella villamos paramétereinek vizsgálatára szemben a mozgó átlaggal és a súlyozott mozgó átlaggal.
- Mindezek mellett, a LOESS technikák belül a 0.04 és a 0.05 részhalmazarányok esetén mutatkozott a legnagyobb javulás.
- Bár az MA és a WMA technikák ugyancsak csökkentették a zajt, hatékonyságuk kevésbé mutatkozott jelentősnek. A súlyozott mozgóátlag nem minden mutató esetén mutatott jobb eredményt a mozgóátlagnál.

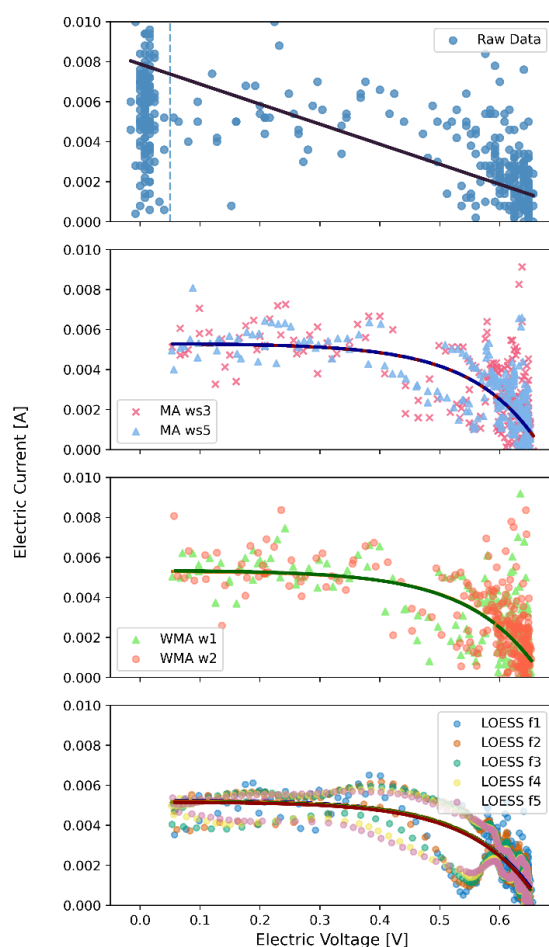


Figure 2

A különböző simítási módszerek összehasonlító elemzése az elektromos áram-feszültség jelleggörbéken. A nyers adatpontok esetén a kék színű szaggatott vonal azt jelzi, hogy az x-tengely körül jelentősen szignifikáns az adatpontok sűrűsége.

A szerzők a munkát tovább kívánják folytatni további simítási algoritmusok figyelembevétele mellett, különös tekintettel a gépi tanulási alapú megközelítésekre, melyek dinamikusan alkalmazkodhatnak az adatok jellemzőihez.

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. Továbbá, a szerzők köszönik az Óbudai Egyetem Alkalmazott Informatika és Alkalmazott Matematika Doktori Iskola támogatását.

Hivatkozások

- [1] J. Gong, K. Sumathy, Q. Qiao, and Z. Zhou, 'Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Advanced techniques and research trends', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, pp. 234–246, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.097.
- [2] J. Martins, S. Spataru, D. Sera, D.-I. Stroe, and A. Lashab, 'Comparative Study of Ramp-Rate Control Algorithms for PV with Energy Storage Systems', *Energies*, vol. 12, no. 7, p. 1342, Apr. 2019, doi: 10.3390/en12071342.
- [3] A. M. Omer, 'Energy, environment and sustainable development', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, no. 9, pp. 2265–2300, Dec. 2008, doi: 10.1016/j.rser.2007.05.001.

-
- [4] S. J. Davis and K. Caldeira, 'Consumption-based accounting of CO₂ emissions', *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 107, no. 12, pp. 5687–5692, Mar. 2010, doi: 10.1073/pnas.0906974107.
- [5] F.-T. Kong, S.-Y. Dai, and K.-J. Wang, 'Review of Recent Progress in Dye-Sensitized Solar Cells', *Adv. Optoelectron.*, vol. 2007, pp. 1–13, Aug. 2007, doi: 10.1155/2007/75384.
- [6] M. Ghannam *et al.*, 'Trends in industrial silicon solar cell processes', *Sol. Energy*, vol. 59, no. 1–3, pp. 101–110, Jan. 1997, doi: 10.1016/S0038-092X(96)00095-3.
- [7] M. Malinowski, J. I. Leon, and H. Abu-Rub, 'Solar Photovoltaic and Thermal Energy Systems: Current Technology and Future Trends', vol. 105, no. 11, pp. 2132–2146, Nov. 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2690343.
- [8] B. O'Regan and M. Grätzel, 'A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films', *Nature*, vol. 353, no. 6346, pp. 737–740, Oktober 1991, doi: 10.1038/353737a0.
- [9] K. Sharma, V. Sharma, and S. S. Sharma, 'Dye-Sensitized Solar Cells: Fundamentals and Current Status', *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 13, no. 1, p. 381, Dec. 2018, doi: 10.1186/s11671-018-2760-6.
- [10] M. Prilliman, J. S. Stein, D. Riley, and G. Tamizhmani, 'Transient Weighted Moving-Average Model of Photovoltaic Module Back-Surface Temperature', *IEEE J. Photovolt.*, vol. 10, no. 4, pp. 1053–1060, Jul. 2020, doi: 10.1109/JPHOTOV.2020.2992351.
- [11] R. Kini, D. Raker, T. Stuart, R. Ellingson, M. Heben, and R. Khanna, 'Mitigation of PV Variability Using Adaptive Moving Average Control', *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 11, no. 4, pp. 2252–2262, Oct. 2020, doi: 10.1109/TSSTE.2019.2953643.
- [12] S. Sukumar, M. Marsadek, K. R. Agileswari, and H. Mokhlis, 'Ramp-rate control smoothing methods to control output power fluctuations from solar photovoltaic (PV) sources—A review', *J. Energy Storage*, vol. 20, pp. 218–229, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.est.2018.09.013.
- [13] S. Hansun, 'A new approach of moving average method in time series analysis', in *2013 Conference on New Media Studies (CoNMedia)*, Tangerang, Indonesia: IEEE, Nov. 2013, pp. 1–4. doi: 10.1109/CoNMedia.2013.6708545.
- [14] P. Arévalo, D. Benavides, M. Tostado-Véliz, J. A. Aguado, and F. Jurado, 'Smart monitoring method for photovoltaic systems and failure control based on power smoothing techniques', *Renew. Energy*, vol. 205, pp. 366–383, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.01.059.
- [15] Z. Varga and E. Racz, 'Statistical Analysis of the Performance of the Dye-Sensitized Solar Cell – Thermoelectric Generator', in *2023 IEEE 21st World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, Herl'any, Slovakia: IEEE, Jan. 2023, pp. 000267–000272. doi: 10.1109/SAMI58000.2023.10044524.
- [16] Z. Varga and E. Racz, 'Sun Simulator for Laboratory Testing', in *2022 IEEE 5th International Conference and Workshop Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*, Budapest, Hungary: IEEE, Nov. 2022, pp. 000107–000112. doi: 10.1109/CANDO-EPE57516.2022.10046374.
- [17] P. Kadar and A. Varga, 'Measurement of spectral sensitivity of PV cells', in *2012 IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*, Subotica, Serbia: IEEE, Sep. 2012, pp. 549–552. doi: 10.1109/SISY.2012.6339582.

Gépi tanulási algoritmusok alkalmazása festékérzékenyített napelem cella gyártástechnológia területén

Varga Zoltán^{1, 2, 3}, Rácz Ervin³

¹Óbudai Egyetem, Alkalmazott Informatika és Alkalmazott Matematika Doktori Iskola, 1034 Budapest, Bécsi út 96, varga.zoltan@uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar, 1034 Budapest, Bécsi út 96, varga.zoltan@uni-obuda.hu

³ Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, 1034 Budapest, Bécsi út 96, varga.zoltan@uni-obuda.hu, racz.ervin@uni-obuda.hu

Abstract: A megújuló energiaforrások iránti növekvő globális igény napjainkban különös hangsúlyt helyez az energiahatékony és környezetbarát villamosenergia-termelési módszerek és technológiák fejlesztésére és innovációjára. Ebben a kontextusban a festékérzékenyített napelemek (angolul: Dye Sensitized Solar Cell, rövidítve: DSSC) jelentős potenciállal bírnak, mivel alacsony gyártási költségeikkel és egyedülálló felépítésükkel egy vonzó alternatívát kínálhatnak a hagyományos szilícium alapú technológiákkal szemben. Tekintettel arra, hogy nem csak az elektromágneses hőhatás befolyásolja a napelemek hatásfokát, hanem maga a napelem gyártási folyamata is, ideértve a megmunkálási hőmérsékletet és annak idejét. A megfelelő hőmérsékletkezelés kulcsfontosságú a DSSC napelemek optimális teljesítményének és tartósságának biztosításához. Mindezek mellett, a napelem kutatás az utóbbi években a mesterséges intelligencia felé mozdult el. Egyre több rangos folyóiratban jelennek meg olyan tudományos publikációk, amelyek a gépi tanulási algoritmusok (rövidítve: ML) alkalmazásán alapszanak. A rangos folyóiratokban megjelent publikációk rámutatnak az ML alkalmazásának fontosságára, mert a sok kísérleti próbálkozás helyett, a módszerek alkalmazásával fontos következtetések vonhatók le a cella készítése előtt. A kutatás során átfogó irodalomkutatás került végrehajtásra, melynek célja, hogy a releváns eredményeket szisztematikusan összegyűjtse. Ezen adatgyűjtési folyamat eredményeképpen adatbázist fejlesztettünk. Ezt követően, a létrehozott adatbázist felhasználva, gépi tanulási modellt implementáltunk, hogy predikciót végezzünk a DSSC villamos paramétereinek meghatározására. Kutatási munkánkkal előrelépést kívánunk elérni a DSSC napelem fejlesztésében a projekt innovatív és multidiszciplináris megközelítése révén.

Keywords: Festékérzékenyített napelem cella, gépi tanulási algoritmusok, neurális hálózat

1 Bevezetés

A villamosenergetikai iparágban a kutatók és a mérnökök folyamatosan keresik azokat az innovatív megoldásokat, melyek csökkentik a fosszilis energiahordozók égetését, ezáltal minimalizálva a villamosenergia termelés ökológiai lábnyomát [1], [2]. A fosszilis energiahordozók égetése során a légkörben lévő szén-dioxid kibocsátás megnövekszik, amely klimatikai problémákat okoz úgy, mint a szélsőséges időjárások kialakulása és a földfelszín átlagos hőmérsékletének emelkedése [3]. A félvezetőipar ugrásszerű növekedése lehetővé tette, hogy a megújuló energiaforrásokat átalakító eszközök, különös tekintettel a napelemre, előtérbe kerüljön a piaci alkalmazásokban [4]. Az egyik legígéretesebb fejlesztési irány a napenergia, melynek hasznosítása hőenergia és villamosenergia formájában lehetséges [5]. A Napból a Föld felszínére érkező elektromágneses sugárzást közvetlenül átalakító eszköz a napelem, mely technológia jelentős mértékben hozzájárul a környezeti terhelés csökkentéséhez.

A napelemek számos típusát különböztetjük meg az alapanyag szerinti kategorizálás alapján. Ebben a rendszerben az elsődleges klasztert a szilícium alapú napelemek alkotják, melyeken belül két domináns altípust különböztetünk meg: a monokristályos és a polikristályos szilícium alapú napelemeket, amelyek a szilícium kristályrácsának rendezettségében mutatkozó különbségeik alapján különböztethetők meg egymástól. Ezen csoportra jellemző, hogy a hétköznapi felhasználás

tekintetében az egyik legelterjedtebbek, valamint hosszú az élettartamuk, amely 20-25 évre is becsülhető [6]. A második nagy csoport a vékonyréteg napelemek, melyek közül az amorf szilícium alapú napelem a legelterjedtebb a vékonyréteg csoporton belül az egyes piaci elemzések alapján [5]. Mindezek mellett, a harmadik csoportba tartoznak a speciális alkalmazási területen, ideértve az űrkutatást, előforduló napelem típusok úgy, mint a gallium-arsenid és más vegyület félvezető napelemek, melyek gyártási költsége magasabb korábbi típusokhoz képest, de ezzel szemben magasabb hatásfokkal rendelkeznek [7], [8]. Az utolsó megemlíthető csoport a kutatás-fejlesztési fázisban lévő napelemek, melyek közé sorolható a festékképzékenyített napelem cella is. Ezen csoportban lévő innovatív napelemek számos potenciállal bírnak a széles alkalmazási terület és gazdaságosság szempontjából [9].

A festékképzékenyített napelem cellával kapcsolatos első publikációk M. Greatzel és O'Brian közték 1991-ben, melyben 7,1%-os hatásfokról számoltak be [10]. A munkájuk azóta is referencia pont a festékképzékenyített napelem kutatásban. A hagyományos festékképzékenyített napelem cella öt fő alkotó elemet tartalmaz, amely (i) az üveghordozó réteg átlátszó vezetőképes oxiddal bevonva; (ii) vezetőképes üveghordozóra felvitt általában n-típusú félvezetőréteg; (iii) félvezetőrétegre abszorbeált fényérzékeny; (iv) elektrolit oldalt; (v) és az utolsó réteg az ellen elektróda [11].

A DSSC gyártástechnológiája esetén számos kutató tett kísérletet az anyagok optimalizálására és a különböző nanostruktúrák kialakítására, hogy tovább javítsák a cellák villamos paramétereit. Ilyen struktúrák a nano csövek, nano rudak, nano vezetékek [12]. Mindezek mellett, a szintézis hőmérséklete és időtartama ugyancsak kulcsfontosságú paraméterek, melyek befolyásolják a félvezető réteg morfológiáját és a kristály növekedésének dinamikáját, ezáltal meghatározva a festékanyag adszorpciós képességét [7]. A festékanyag jellemzőit gépi tanulási algoritmusok felhasználásával több kutató és kutatócsoport is tanulmányozta. Wen és munkatársai az organikus fényérzékeny festékanyag predikciós vizsgálatára fejlesztettek modellt [13]. Sutar és munkatársai a cink-oxid alapú DSSC hatásfokának vizsgálatát végezték, amely a gyártástechnológiai oldalról nézve tölt be fontos szerepet. Bemeneti réteggént a félvezető réteg struktúráját, a prekursor, a fényérzékeny festékanyag típusát, a szintézis hőmérsékletét és a szintézis idejét választották; és a kimeneti rétegen a DSSC hatásfokát jelezték elő. Továbbá, munkájukban kiemelik, hogy a hidrotermálisan előállított félvezető réteg kialakítása a leghatékonyabb módszer a további technikákkal szemben. Mindezek mellett, predikciós modellként a döntési fát, neurális hálózatot, véletlen erdőt alkalmaztak. A predikciós modellek közül a legnagyobb pontosságot a döntési fa mutatta [14]. Xu és munkatársai neurális hálózatok segítségével tanulmányozták az organikus fényérzékeny festékanyag abszorpciós maximumát [15]. Ezen publikációk rámutatnak arra, hogy ezen módszerek nem csak elméleti jelentőséggel bírnak, hanem gyakorlati alkalmazásuk is lehetővé teszi az energiahatékony fejlesztést, hiszen a sok kísérleti próbálkozás helyett, a módszerek alkalmazásával fontos következtetéseket vonhatunk le a cella készítése előtt, ezáltal időt és energiát spórolhatunk meg. Továbbá, az irodalomkutatásból az is kiderült, hogy a kutatások egy jelentős része a gépi tanulási algoritmusok (angolul: Machine Learning, rövidítve: ML) irányába mozdult el, amely lehetővé teszi, hogy fontos következtetéseket vonjunk le a cella készítése előtt.

Az áttanulmányozott irodalmak alapján célunkul tűztük ki, hogy átfogó irodalomkutatás hajtunk vére, melynek célja, hogy a releváns eredményeket szisztematikusan összegyűjtse. Ezen adatgyűjtési folyamat eredményeként adatbázist fejlesztünk, majd a létrehozott adatbázist felhasználva gépi tanulási modellt implementálunk, hogy predikciót végezzünk a festékképzékenyített napelem cella villamos hatásfok paraméter meghatározására.

2 Elemzési módszerek és szimulációs eljárások

2.2 Elemzési módszerek

Első lépésként a SCOPUS és Web Of Science adatbázisokban irodalomkutatást végeztünk a téma mélyrehatóbb megismerése érdekében. Az irodalomkutatás során realizáltuk, hogy az első körben kiválasztott bemenő paraméterek mellett mely más paraméterek megléte szükséges és elengedhetetlen. Majd, következő lépésként, a szisztematikus irodalomkutatást követően adatbázist fejlesztettünk, amely a tudományos publikációkban fellelhető festékérzékenyített napelem cella adatokra alapoz. A tudományos munkánkhoz felügyelt tanulási algoritmus alkalmaztunk. A kiválasztás módja az adatok jellegétől függött. A tanító adatok mellett a modellt teszt adatokkal teszteltük és a módszer jóságát mutatók alapján ellenőriztük.

Tudományos munkánk gépi tanulási algoritmusára vonatkozó folyamatábrát a modell fejlesztési fázisától a modell elfogadásáig a 1. ábra szemlélteti. Az irodalomkutatás során összesen 68 darab publikációt dolgoztunk fel, ezáltal 168 kísérleti megfigyelésből álló adathalmazt fejlesztettünk. A feldolgozott publikációk 2005 és 2022 között kerültek publikálásra. Továbbá, az elemzés során kiemelt figyelmet fordítottunk a 168 rekord minőségének biztosítására, ennek érdekében az adattisztítási folyamat alkalmazása elengedhetetlen volt. Az adattisztítás célja az adatok minőségének javítása, ugyanis az adatokban lévő hibák kiszűrése és eltávolítása növeli az adatok konzisztenciáját. A változónak (attribútumoknak) három típusát különböztetjük meg, melyek (i) kategorikus attribútumok, mely csak megadott értékek közül választhat; (ii) numerikus attribútum, mely számértéket (pl.: mérési eredményt) tartalmaz; és (iii) bináris attribútum, melyek csak két értéket vehetnek fel (pl.: igen – nem). Az adattisztítás esetén fontos megemlíteni a hiányzó értékek kezelését, hiszen minden attribútumot ismerni szükséges a vizsgálatok elvégzése érdekében. A hiányzó értékek kezelésére számos megoldás áll rendelkezésre, melyek a következők: (i) azon sorokat, melyek hiányosak nem vesszük figyelembe; (ii) attribútum átlagértékével pótoljuk a hiányzó értéket; (iii) a legvalószínűbb értékkel pótoljuk a hiányzó értéket. Az adattisztítás során a hiányos sorok törlésre kerültek, ezáltal összesen 106 rekordon került elvégzésre a vizsgálat.

Sutar és munkatársai adatnormalizációs módszereket alkalmaztak a szintézis hőmérsékletén, szintézis idején és a határfokon [14]. Kutatásunk során hasonló adatnormalizációs technikát alkalmaztunk. Az adatnormalizálási folyamat során a minimum, maximum és a kvantálási intervallumokat használtuk fel, ugyanis a minimum és az első kvartilis (Q1) közötti értékek alacsony; a Q2 és a második kvartilis (Q2) közötti értékek közepes; Q2 és a harmadik kvartilis Q3 közötti értékek magas; és Q3 és maximum közötti értékek nagyon magas kategóriákba sorolódnak. Az adatok normalizálása után a kezdeti vizsgálatokból megállapítottuk, hogy a szintézis hőmérsékletének és időtartamának normalizált értékei alacsony predikciós pontosságot eredményeznek, ennek érdekében folytonos értéként vettük ezeket figyelembe.

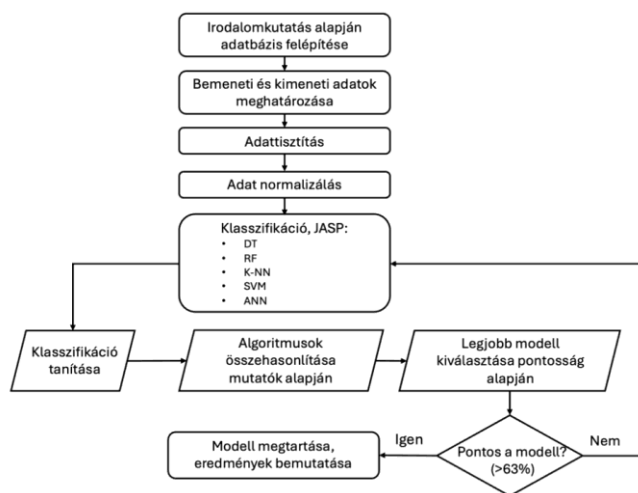


Figure 1

Tudományos munkánk gépi tanulási alkalmazásának lépései folyamatábraként szemlélítve a modell fejlesztési fázisától a modell elfogadásáig, ahol DT: döntési fa; RF: véletlen erdő; K-NN: k-legközelebbi szomszéd; SVM: tartóvektor-gép, és ANNA: mesterséges neurális hálózatot jelen.

Bemeneti paraméterek

Az áttanulmányozott irodalmak alapján bemeneti paraméterek kerültek meghatározásra. A bemeneti paramétereink: félvezető típusa; félvezető réteg vastagsága; morfológiai szerkezet; prekursor; fényérzékeny festékanyag típusa; szintézis hőmérséklete; szintézis ideje.

Mérőszámok

A gépi tanulási algoritmusok összehasonlítására különböző mérőszámokat alkalmaztunk, melyek a precizitás (precision), az érzékenység (recall) és az F1 pontszám. A precizitás egy olyan arányszám, mely a modell pozitívként helyesen azonosított tételének és az összes pozitív előrejelzés hányadosa, melyet a (1) egyenlet szemléltet.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

ahol TP (True Positive) azoknak a pozitív példának a száma, melyeket a modell helyesen azonosított pozitívként és FP (False Positive) azoknak a negatív példának a száma, melyeket a modell tévesen azonosított pozitívként. Más szavakkal, a precizitás megmondja, hogy a modell által pozitívként azonosított esetek mennyire pontosak. Az érzékenység ((2) egyenlet) megmutatja, hogy a modell milyen arányban ismeri fel az összes lehetséges pozitív esetet. Más szavakkal, a helyesen azonosított tételek (TP) és az összes pozitív tételek hányadosa ($TP + FN$).

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

ahol FN (False Negatives), mely azoknak az eseteknek a száma, ahol a modell tévesen azonosított egy esetet negatívként, pedig pozitív volt. Az F1 pontszám (F1 score) az előző két metrika segítségével állítjuk elő, mégpedig a (3) egyenlet alapján, mely az alábbi

$$F1\ score = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (3)$$

Az F1 mérőszám meghatározása azért fontos, mert előfordulhat, hogy az előző két mérőszám ellentétben áll egymással, azaz a precizitás növelése csökkentheti az érzékenységet és fordítva. Ennek érdekében, az F1 érték megadása, ami a precizitás és az érzékenység harmonikus közepét adja, egyensúlyozza a két mérőszámot. A modellek összehasonlítását követően azon klasszifikációk

algoritmust választottuk ki, mely a legmagasabb mérőszámokkal rendelkezik. Majd a teszhalmazon mért pontossági ráta (angolul: test accuracy) alapján validáltuk a modellt. Amennyiben a teszt pontossága meghaladja a 63%-os küszöbértéket, a modell alkalmazhatónak ítéltük meg, ellenkező esetben – avagy, ha a teszt pontosságára adott érték kisebb a küszöbértéknél – újraindítottuk az algoritmust. A teszt pontossága a (4) egyenletben szemléltetett egyenlet alapján adható meg:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (4)$$

A 63%-os küszöbértéket a Hisham. A. Maddah munkája által határoztuk meg, akik hasonlóképpen klasszifikációs módszereket alkalmazva vizsgálták a festékérzékenyített napelem cella természetes fényérzékeny festékanyagát [16].

2.2 Szimulációs eljárások

Döntési fa (Decision Tree, DT)

A gépi tanulási algoritmusok közül legelsőnek a döntési fa (angolul: Decision Tree, rövidítve DT) került bemutatásra, mely az osztályozási feladatoknak az egyik legismertebb és széles körben alkalmazott eszköze. A DT-ről elmondható, hogy egy fa formájú folyamatábrát eredményez, melynek gyökeréből kiindulva, fentről lefelé a csúcsok közötti éleken haladva a belső csúcsok egy-egy attribútum értékének vizsgálatában a döntéshez (levélcsúcs) eljutunk. A fa struktúra miatt a DT osztályozási szabályokat foglal magába, mely összességét szabálybázisnak nevezzük. A gyakorlatban a bináris DT terjedt el, mely azt jelenti, hogy az egyes csomópontoknak két gyermeke van. Ugyanakkor, előfordulhat, hogy egyes attribútumok nem jelennek meg a döntési fában, mert nem jelennek meg a döntésben, döntéshozatalban. Ezen elemeket invariánsnak tekintjük. A fa készítése során kezdetben egyetlen csúcsból indulunk ki, majd az az attribútum kerül kiválasztásra, mely a legjobban szeparálja (szétosztja) a halmazt. Az elágazások elkészítését követően az algoritmus rekurzívan elvégzi az eljárást a munkát minden egyes partíciójánál. A rekurzív folyamat leállításának feltétele a következő: (i) nem maradt attribútum, ami alapján tovább bonthatnánk a mintát; (ii) az összes adatpontot osztályba soroltuk; (iii) egy adott csomópont tartalmazza az adatpontok olyan halmazát, melyek ugyanabba az osztályba esnek [17].

Véletlen erdő (Random Forest, RF)

A véletlen erdő (angolul: Random Forest, rövidítve RF) modell a döntési fák koncepciójára épül, de a túltanulás – másképpen túlillesztés – veszélye csökken. Az RF bemeneti adatai a különálló döntési fák részhalmaza, melyek külön-külön adnak egy-egy eredményt. Az egyes fák által kapott egyedi előrejelzések aggregációját követően, többségi szavazás – azaz a leggyakoribb eredmény – segítségével megkapjuk a végső eredményt. A véletlen erdő előnye, hogy a túltanulásra kevésbé érzékeny, pontosabban képes elkerülni a túlilleszkedést, ami a döntési fák esetén jelentkezhet [18].

K-legközelebbi szomszéd (K-Nearest Neighbors, K-NN)

A k-legközelebbi szomszéd (angolul: k-nearest neighbors, K-NN) algoritmus egy „lusta” klasszifikációs és regressziós módszer a gépi tanulási algoritmusok között. Az algoritmus azokra a mintákra támaszkodik, melyek az adathalmazban, mint tanuló adatok megtalálhatók, vagyis nem igényel explicit modellépítést [19]. Az algoritmus három nagyobb lépésből áll, melyek a következők:

1. *Távolságmérés:* a tesztelő és a tanító adathalmaz pontjai közötti előre definiált távolság meghatározása. Továbbá, feltesszük, hogy a tanuló mintákat n-dimenziós numerikus attribútumok írják le, melyek n-dimenziós térben helyezkednek el. A távolság meghatározása a leggyakrabban az euklideszi távolságot és a Manhattan távolságot

alkalmazzák, ahol az alábbi egyenlettel az euklideszi távolságot definiáljuk: $d(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$, amely az attribútumok közötti legközvetlenebb távolságot méri az n -dimenziós térben és az alábbi egyenlettel a Manhattan metrikát definiáljuk: $d(X, Y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$, amely az attribútumok értékkülönbségeinek abszolút összegét veszi.

2. *Legközelebbi szomszédok kiválasztása:* A k minimális távolság meghatározása a tanító adathalmaz alapján. Nevezetesen, kiválasztjuk a tanító adathalmazból azokat a k darab szomszédokat, melyek a teszt adatbázisból származó teszt adatpontjához a legkisebb távolságra helyezkednek el figyelembe véve az alkalmazott metrikát.
3. *Osztályozás:* A legközelebbi szomszédok kiválasztását követően, a k leggyakoribb osztálycímke alapján történik a döntés meghozatala. A szavazási mechanizmus esetén súlyozási módszert is lehet alkalmazni, mely esetén a k szomszéd minden tagjának a súlyát úgy határozzuk meg, hogy prediktálandó (osztályozandó) ponttól mért távolságának vesszük az inverzét [20].

Tartóvektor-gép (Support Vector Machine, SVM)

A tartóvektor-gépek (angolul: support vector machine, rövidítve: SVM) célja, hogy megtalálja a legnagyobb távolságú hipersíkot (döntési határt) a különböző osztályokhoz tartozó adatpontok között. Az SVM széles körben elterjedt a regressziós és klasszifikáció problémák megoldására, alkalmazzák karakterfelismerésre, képfeldolgozásra, adatbányászatra és még bioinformatika területén is fontos szerepet tölt be.

Neurális hálózat (Artificial Neural Network, ANN)

A mesterséges neurális hálózatoknak az agyműködését utánozó analógiája van, mert a neurobiológia és az informatika összefonódása bonyolultabb modellezési technikákat tesz lehetővé. Az ANN mesterséges neuronokból állnak, melyek az egymásnak küldött jeleken keresztül kommunikálnak egymással és a jelek nagyszámú súlyozott kapcsolatban áramlanak. Az input és az output neuronok közötti rétegeket, másnéven a közbenső rétegeket rejtett rétegeknek (angolul: hidden layer) nevezzük. Elmondható, hogy minden réteg minden neuronjának kimenete a következő réteg neuronjának a bemenete lesz és a neuronok közötti kapcsolat szorosságát súlyok jellemzik. Az irodalmak azt mutatják, hogy a nemlineáris paraméterezett függvényekkel, vagyis súlyozás használatával jobb közelítés érhető el [21]. A kimenet generálása valamilyen transzferfüggvény (activation function) segítségével történik, melyek közül párat emelünk ki, melyek a gyakorlatban elterjedtek: lineáris, szigmoid függvény, tangens hiperbolikus, logisztikus és radiális. A lineáris függvény hátránya, hogy nem képes a nem-lineáris összefüggések modellezésére, ezért komplexebb feladatok modellezése során korlátozott a használata. A szigmoid függvény jól használható bináris osztályozási feladatoknál. A logisztikus függvény pedig gyakorlatilag megegyezik a szigmoid függvénnyel, ugyanis a logisztikus függvény a szigmoid függvény egy speciális esete. A tangens hiperbolikus függvény ugyancsak egy szigmoid típusú függvény, de a függvény -1 és 1 közötti értékeket vesz fel [22].

3. Eredmények

A szisztematikus irodalomkutatásból adatbázist fejlesztettünk, majd az adathalmazt alapos előfeldolgozásnak vetettük alá, mely magába foglalta az adattisztítást és normalizálást. A bemeneti paramétereink: félvezető típusa; félvezető réteg vastagsága; morfológiai szerkezet; prekursor; fényérzékeny festékanyag típusa; szintézis hőmérséklete; szintézis ideje. Az adatfeldolgozást követően különböző klasszifikációs algoritmusok úgy, mint döntési fa, véletlen erdő, k -legközelebbi szomszédok, tartóvektor-gép és mesterséges neurális hálózat tesztelését végezzük el. Ebben a

fejezetben részletesen bemutatjuk a különböző osztályozó algoritmusok teljesítményeit, majd azokat összehasonlítjuk három mérőszám alapján a hatásfok paraméterre nézve.

A 2. ábra szemlélteti a különböző algoritmusok teljesítményeinek összehasonlítását a precizitás (precision), érzékenység (recall) és F1 pontszám (F1 score) mérőszámok alapján a hatásfok villamos paraméterre nézve. Az ábráról jól látható, hogy a precizitás mutató átlagára a véletlen erdő algoritmus adja a legnagyobb értéke (0,912), majd ezt követi a vektortartógép (0,855), K-legközelebbi szomszédok (0,817), majd neurális hálózat (0,723) és végül a döntési fa (0,6125). Továbbá, az érzékenység mutatóra a véletlen erdő és a vektortartó gép adja a legnagyobb értéket (0,85), majd ezt követően a k-legközelebbi szomszédok (0,75), döntési fa (0,7) és neurális hálózat (0,6). Figyelembe véve az F1 értéket, a legjobb predikciós modell a hatásfok villamos paraméterre nézve megadható. Tekintettel arra, hogy mind a három mutató esetén a véletlen erdő adja a legmagasabb értéket, ezért a hatásfok vizsgálata esetén a véletlen erdő algoritmust választottuk ki. A hatásfok villamos paraméterre nézve a véletlen erdő 13 fából áll és a modell pontossága 85%, ami magasabb a korábbi fejezetben bemutatott küszöbértéknél (>63%). Továbbá, a véletlen erdőnél, mely egy bagging-alapú modell, az Out-of Bag, rövidítve OOB, pontosságot is érdemes figyelembe venni, mely egy specifikus metrika. Az OOB pontosság az összes fa átlagos teljesítményét mutatja meg azokon a mintákon, amelyeket tanítási fázisban a döntési fák nem használtak fel. A véletlen erdő esetén az OOB pontosság 72,2%.

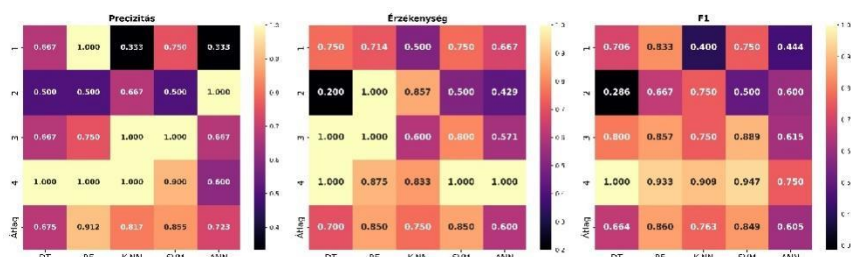


Figure 2

A különböző algoritmusok (DT – döntési fa; RF – véletlen erdő; K-NN – k-legközelebbi szomszédok; SVM – tartóvektor-gép; ANN – mesterséges neurális hálózat) teljesítményének összehasonlítása precizitás, érzékenység és F1 pontszám alapján a hatásfok paraméterre nézve.

4. Összefoglalás

A kutatás során egy szisztematikus irodalomkutatás eredményeként adatbázist fejlesztettünk. A vizsgálathoz szükséges bemeneti paraméterek és kimeneti paramétert meghatároztunk. Az adatfeldolgozás után különböző klasszifikációs algoritmusokat, mint a döntési fa, véletlen erdő, k-legközelebbi szomszédok, tartóvektor-gép és mesterséges neurális hálózat került tesztelésre. Az algoritmusok teljesítményét három mérőszám alapján hasonlítottuk össze, melyek a precizitás, érzékenység és F1 pontszám. Az eredményekből kiderül, hogy a hatásfok esetén a legpontosabb predikciót a véletlen erdő algoritmus adja. A véletlen erdő modell 13 fát tartalmazott, és 85%-os pontosságot ért el, amely meghaladta a 63%-os küszöbértéket. A munkára alapozva a jövőben a munka tovább folytatását tervezzük.

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. Továbbá, a szerzők köszönik az Óbudai Egyetem Alkalmazott Informatika és Alkalmazott Matematika Doktori Iskola támogatását.

Hivatkozások

- [1] E. Martinot, A. Chaurey, D. Lew, J. R. Moreira, and N. Wamukonya, 'Renewable Energy Markets in Developing Countries', *Annu. Rev. Energy Environ.*, vol. 27, no. 1, pp. 309–348, Nov. 2002, doi: 10.1146/annurev.energy.27.122001.083444.
- [2] U. Blieske et al., 'Current and future trends in photovoltaic technology', in 2019 International Energy and Sustainability Conference (IESC), Farmingdale, NY, USA: IEEE, Oct. 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/IESC47067.2019.8976871.
- [3] X. Li, H. Liao, Y.-F. Du, C. Wang, J.-W. Wang, and Y. Liu, 'Carbon dioxide emissions from the electricity sector in major countries: a decomposition analysis', *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 25, no. 7, pp. 6814–6825, Mar. 2018, doi: 10.1007/s11356-017-1013-z.
- [4] Zh. I. Alferov, V. M. Andreev, and V. D. Rumyantsev, 'Solar photovoltaics: Trends and prospects', *Semiconductors*, vol. 38, no. 8, pp. 899–908, Aug. 2004, doi: 10.1134/1.1787110.
- [5] M. Malinowski, J. I. Leon, and H. Abu-Rub, 'Solar Photovoltaic and Thermal Energy Systems: Current Technology and Future Trends', vol. 105, no. 11, pp. 2132–2146, Nov. 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2690343.
- [6] U. K. Das et al., 'Forecasting of photovoltaic power generation and model optimization: A review', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, pp. 912–928, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.017.
- [7] J. Li et al., 'A Brief Review of High Efficiency III-V Solar Cells for Space Application', *Front. Phys.*, vol. 8, p. 631925, Feb. 2021, doi: 10.3389/fphy.2020.631925.
- [8] R. Verduci et al., 'Solar Energy in Space Applications: Review and Technology Perspectives', *Adv. Energy Mater.*, vol. 12, no. 29, p. 2200125, Aug. 2022, doi: 10.1002/aenm.202200125.
- [9] M. V. Dambhare, B. Butey, and S. V. Moharil, 'Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends', *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1913, no. 1, p. 012053, May 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1913/1/012053.
- [10] B. O'Regan and M. Grätzel, 'A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films', *Nature*, vol. 353, no. 6346, pp. 737–740, Október 1991, doi: 10.1038/353737a0.
- [11] M. Grätzel, 'Photoelectrochemical cells', vol. 414, 2001.
- [12] S. H. Ko et al., 'Nanoforest of Hydrothermally Grown Hierarchical ZnO Nanowires for a High Efficiency Dye-Sensitized Solar Cell', *Nano Lett.*, vol. 11, no. 2, pp. 666–671, Feb. 2011, doi: 10.1021/nl1037962.
- [13] Y. Wen, L. Fu, G. Li, J. Ma, and H. Ma, 'Accelerated Discovery of Potential Organic Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells by Interpretable Machine Learning Models and Virtual Screening', *Sol. RRL*, vol. 4, no. 6, p. 2000110, Jun. 2020, doi: 10.1002/solr.202000110.
- [14] S. S. Sutar, S. M. Patil, S. J. Kadam, R. K. Kamat, D. Kim, and T. D. Dongale, 'Analysis and Prediction of Hydrothermally Synthesized ZnO-Based Dye-Sensitized Solar Cell Properties Using Statistical and Machine-Learning Techniques', *ACS Omega*, vol. 6, no. 44, pp. 29982–29992, Nov. 2021, doi: 10.1021/acsomega.1c04521.
- [15] J. Xu, H. Zhang, L. Wang, G. Liang, L. Wang, and X. Shen, 'Artificial neural network-based QSPR study on absorption maxima of organic dyes for dye-sensitized solar cells', *Mol. Simul.*, vol. 37, no. 1, pp. 1–10, Jan. 2011, doi: 10.1080/08927022.2010.506513.
- [16] H. A. Maddah, 'Machine learning analysis on performance of naturally-sensitized solar cells', *Opt. Mater.*, vol. 128, p. 112343, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.optmat.2022.112343.
- [17] B. Charbuty and A. Abdulazeez, 'Classification Based on Decision Tree Algorithm for Machine Learning', *J. Appl. Sci. Technol. Trends*, vol. 2, no. 01, pp. 20–28, Mar. 2021, doi: 10.38094/jastt20165.
- [18] L. E. Ordoñez Palacios, V. Bucheli Guerrero, and H. Ordoñez, 'Machine Learning for Solar Resource Assessment Using Satellite Images', *Energies*, vol. 15, no. 11, p. 3985, May 2022, doi: 10.3390/en15113985.
- [19] U. Singh, M. Rizwan, M. Alaraj, and I. Alsaidan, 'A Machine Learning-Based Gradient Boosting Regression Approach for Wind Power Production Forecasting: A Step towards Smart Grid Environments', *Energies*, vol. 14, no. 16, p. 5196, Aug. 2021, doi: 10.3390/en14165196.

-
- [20] H. A. Alghamdi, 'A Time Series Forecasting of Global Horizontal Irradiance on Geographical Data of Najran Saudi Arabia', *Energies*, vol. 15, no. 3, p. 928, Jan. 2022, doi: 10.3390/en15030928.
- [21] F. Li et al., 'Machine Learning (ML)-Assisted Design and Fabrication for Solar Cells', *ENERGY Environ. Mater.*, vol. 2, no. 4, pp. 280–291, Dec. 2019, doi: 10.1002/eem2.12049.
- [22] M. S. Bakay and Ü. Ağbulut, 'Electricity production based forecasting of greenhouse gas emissions in Turkey with deep learning, support vector machine and artificial neural network algorithms', *J. Clean. Prod.*, vol. 285, p. 125324, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125324.

DSP jelfolyamdiagramok grafikus transzformációja

Wühl Tibor

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, EKRI – HTI

wuhrl.tibor@kvk.uni-obuda.hu

ORCID: 0000-0002-7522-3511

Absztrakt: Digitális jelfeldolgozó algoritmusok tervezése során a tervezés, a végellenőrzés és szimuláció lépéseket más-más tartományban (időtartomány, komplex frekvenciatartomány és annak különböző eltorzított változatai) végezzük. Az egyes transzformációk matematikai alapokon nyugszanak és a használatuk a tervezés egyes lépéseit segítik. A cikk bemutatja a tervezéshez szükséges teljes transzformációk rendszerét. A DSP algoritmus tervezésekor több lépésben jutunk el a végeredményhez, az időtartományban az algoritmust leíró jelfolyam diagramhoz. Az egyes tervezési lépések során több matematikai transzformációt is elvégzünk. Ezen transzformációk, előre elkészített grafikus elemkészlettel is elvégezhetők, így kényelmesebben, akár rutinszerűen juthatunk el az eredményhez.

Kulcsszavak: DSP, transzformációk, jelfolyamdiagram

Bevezetés

A digitális jelfeldolgozó algoritmusok leírása gyakran jelfolyamdiagrammal történik. Az időtartományban megrajzolt jelfolyam diagram a matematikai műveletek szekvenciáját írja le szemléletesen [1], [2]. Az egyes elvégzendő műveletek ütemezése ezen diagramokból jól tervezhető, értelmezésükkel szoftveresen, vagy hardver kialakításokkal realizálható. Az időtartományban definiált műveletek – így az összegzés, konstans szorzás - műveleti időtartamát a jelfolyam diagram nem definiálja, hiszen ez megvalósítás- és hardver függő paraméter. Az említett okból ezen műveletek végrehajtási időtartamát nullának vesszük. Az egyes műveletek elvégzését követően, szoftveres megoldás esetén kerekítések, kiigazítások, adatmozgatások, tárolás műveletek, mint járulékos feladatok is szükségessé válhatnak. A megvalósításnál elvárás, hogy minden művelet elvégzése megvalósuljon a következő minta beérkezéséig.

A digitális jelfeldolgozó algoritmus tervezés lépéseinek jelentős része a komplex frekvencia tartományban történik. Az átviteli függvényből, vagy hullámdigitális jelfeldolgozás esetén a kapunként csatolt komponensekből a Z síkon már képesek vagyunk jelfolyam diagram rajzolásra. Az itt született eredmények, részeredmények időtartományba transzformálása elvárt. A „z” sík és az időtartomány közötti átjárást az inverz Z transzformáció adja.

A DSP jelfolyam diagram megvalósítás előtt az algoritmus helyes működését célszerű időtartomány analízissel elvégezni [3], [4].

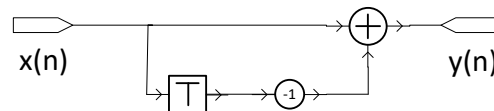
1 Jelfolyam diagramok a „z” síkon és a „t” időtartományban

A digitális jelfeldolgozó algoritmusok tervezése sok esetben a „z” síkon előálló jelfolyam diagramot eredményez, mint részeredményt. Ezt a részeredményt szükséges időtartományba áttaszformálni, melynek matematikai értelemben vett lépése az inverz Z transzformáció [5]. Célszerű megvizsgálni az időtartomány és a komplex „z” sík kapcsolatát, az oda-vissza átjárás lehetőségét és módszerét.

A vizsgálatokat egyszerű DSP megoldásokkal tekintjük át, először egy első fokú differenciáló tag értelmezését végezzük el. A számítást az $x(n)$ és az $x(n-1)$ mintával végezzük, vagyis az időtartományban a következő egyenletet írhatjuk:

$$y(n) = x(n) - x(n-1]$$

Ezen elsőfokú differencia egyenlet alapján az időtartományban a jelfolyam diagramunk a következő:



1. ábra

Első fokú differenciátor jelfolyamdiagramja az időtartományban

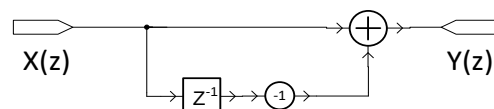
Most határozzuk meg az első fokú differenciáló tagunk jelfolyamdiagramját a „z” síkon. Tudjuk, hogy az időtartományban a „T” késleltetés (a „T” most a mintavételi frekvencia reciproka) a „z” síkon a „z” komplex frekvenciaváltozóval történő osztás, vagy $1/z$ -vel, vagyis z^{-1} -el történő szorzásnak felel meg. Az összegzés a „z” síkon szintén összegzés marad, valamint a konstans szorzás a „z” síkon szintén konstans szorzás lesz. Mindez a Laplace transzformáció, illetve a Z transzformáció azonosságából következik:

$$Z\{a(t)+b(t)\} = Z\{a(t)\} + Z\{b(t)\}$$

Az $a(t)$ és a $b(t)$ időfüggvények összegének Z transzformáltja megegyezik az $a(t)$ időfüggvény Z transzformált és a $b(t)$ időfüggvény Z transzformált összegével.

$$Z\{c \cdot a(t)\} = c \cdot Z\{a(t)\}$$

A „c” konstans számmal megszorozott $a(t)$ időfüggvény Z transzformáltja megegyezik az $a(t)$ időfüggvény Z transzformáltjának „c” szeresével.



2. ábra

Első fokú differenciátor jelfolyamdiagramja a „z” síkon

A fenti ábra alapján könnyen felírhatjuk az átviteli függvényt a „z” síkon:

$$y(z) = x(z) - x(z) \cdot z^{-1}$$

$$H(z) = y(z) / x(z) = 1 - z^{-1}$$

A fentiekben egy grafikus diszkrét Laplace transzformálást (Z transzformálást) hajtottunk végre, hiszen az első fokú differenciátor jelfolyam diagramját transzformáltuk a „z” síkra. Természetesen ha ez utóbbi ábrára felírjuk a bemenő mintasorozat Z transzformáltjának, valamint a kimenő

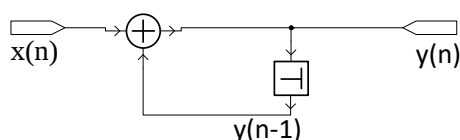
mintasorozat Z transzformáltjának hányadosát, akkor a „z” síkon az átviteli függvényt, vagyis $H(z)$ -t kapjuk.

A következő lépésben megvizsgálunk egy első fokú integrátort!

Az időtartományban az integrátort a következő összefüggés írja le:

$$y(n) = x(n) + y(n-1]$$

Ez alapján az első fokú integrátor jelfolyamdiagramja az időtartományban:



3. ábra

Első fokú integrátor jelfolyamdiagramja az időtartományban

Most ismét rajzoljuk át az időtartományban létrehozott jelfolyam diagramot a „z” síkra!

Természetesen most is a „T” együtemnyi késleltetés z^{-1} szorzás lesz a „z” síkon, az elágazó csomópont elágazó csomópont, míg az összegző csomópont összegző csomópont marad.



4. ábra

Első fokú integrátor jelfolyamdiagramja a „z” síkon

Ebből az eredményből is jól látható, hogy a jelfolyam diagram következetes átrajzolása gyors és pontos eredményt ad, így ezzel a módszerrel elkerülhetjük az egyes egyenleteken elvégzendő matematikai műveleteket, jelen ezestben Z és inverz Z transzformációt.

A grafikus transzformáció építő blokk összefoglalóját a következő táblázat tartalmazza.

Táblázat 1

Jelfolyamdiagram komponensek grafikus transzformáltjai

Időtartomány	„z” sík

Az összefoglaló táblázatban szereplő grafikus transzformáltak természetesen lineáris környezetben alkalmazhatók, ahol teljesül a szuperpozíció tétele.

Összefoglalás

DSP jelfolyamdiagramok hatékonyan és szemléletesen írják le a digitális jelfeldolgozó algoritmusokat. Tervezési lépések többnyire a komplex frekvencia tartományban valósulnak meg, míg a hardveres kialakításhoz az időtartomány leírás bizonyul hatékonyabbnak. A komplex frekvenciatartományból az áttérést matematikai transzformációval hajthatjuk végre. A cikk bemutatta, hogy miképp lehet ezt a transzformációt gyakorlatorientáltan és hatékonyan grafikusán elvégezni.

Zárásképp szeretnék köszönetet mondani az Óbudai Egyetemnek, a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karnak, hogy kutatásaimnak teret biztosít és támogatja azt.

Hivatkozott irodalom

- [1] Wühl Tibor: DSP algoritmusok, ÓE-KVK-2116 Budapest, 2014.
- [2] Richard G. Lyons: Understanding Digital Signal Processing (third edition), 2011 PEARSON
- [3] Wühl Tibor, Gyányi Sándor: Digital Signal Processing Simulation Based on Matrix-Vector description. SYSTEM THEORY CONTROL AND COMPUTING JOURNAL (2668-2966 2810-4099): 4 1 pp 1-8 (2024).
- [4] Tibor WÜHRL: Simulation of Digital Signal Processing Algorithms in Time Domain. IEEE 17th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2023 Temesvár, Románia: Proceedings pp 767-772 (2023).
- [5] Fellegi József: Digitális Jelfeldolgozás I. BMF, Számítógéptechnikai Intézet, Székesfehérvár 2004.