

Elektrotechnika

A MAGYAR ELEKTROTECHNIKAI EGYESÜLET HIVATALOS LAPJA
JOURNAL OF THE HUNGARIAN ELECTROTECHNICAL ASSOCIATION

■ ALAPÍTVÁ: 1908
■ FOUNDED: 1908



MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALAPÚ MEGOLDÁSOK AZ ENERGETIKÁBAN

Mesterséges Intelligencia által generált kép (Stable Diffusion 2.1)

Nagy nyelvi modellek
és a nyílt tudomány elve

Az égboltkamerák szerepe
a fotovillamos termelés
rövidtávú előrejelzésében

Mesterséges neurális
hálózatok alapú kooperatív
napenergia
termelés-előrejelzés

Rövidtávú
kiegyenlítetlenség-
becslés gépi tanuló
eljárásokkal

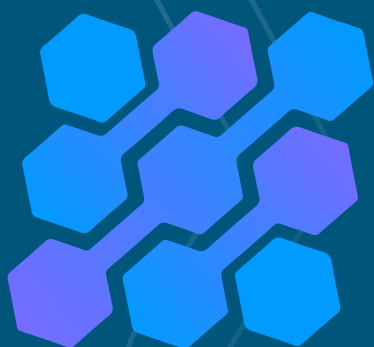
A hosszú távú
terhelésprognózis
aktuális kérdései

Tartalékigény-
meghatározás tanuló
algoritmus segítségével

116. ÉVFOLYAM

2023/5-6

www.mee.hu



#MEEnet

Magyar Elektrotechnikai Egyesület

SZAKMAI PÁRBESZÉDRE FEL
ELŐRE A DIGITÁLIS ÚTON

A #MEEnet platformot azért hoztuk létre, hogy lehetőséget adjunk az iparág szereplőinek az interaktív kommunikációra, legyen szó tudásmegosztásról, szakmai kapcsolatépítésről vagy tudományos érdekképviseléstről.

120 ÉVE HAGYOMÁNY **AZ INNOVÁCIÓ**

A MAGYAR ELEKTROTECHNIKAI EGYESÜLET 120 ÉVES FENNÁLLÁSA ÓTA A MEGBÍZHATÓ VILLAMOSENERGIA-ELLÁTÁS ÉS -FELHASZNÁLÁS SZÍNVONALÁNAK EMELÉSE ÉS HATÉKONYSÁGÁNAK JAVÍTÁSA ÉRDEKÉBEN TEVÉKENYKEDIK, MINDEKÖZBEN PEDIG A FOLYAMATOS MEGÚJULÁS ÉS FEJLŐDÉS MELLETT KÖTELEZTE EL MAGÁT.

Legújabb törekvésünk, hogy lépést tartva az online világgal, könnyen hozzáférhető, a hatékony kommunikációt lehetővé tevő digitális felületet nyújtsunk mindazon szereplőknek, akik valamilyen formában részt vesznek a villamosenergia-ipar működésében, hagyományainak és értékeinek ápolásában, valamint gyakorlati fejlesztésében. A #MEEnet felületén megosztásra kerülnek a fizikailag vagy online módon megvalósuló rendezvényeink keretében elhangzott előadások és további anyagok. Ugyanitt az előadók és a résztvevők számára esetenként lehetőséget nyújtunk az egyes témák további megvitatására, szakmai eszmecserére is, hogy Egyesületünk ebben a formában is valódi motorja lehessen a hazai villamosenergia-iparnak. A Magyar Elektrotechnikai Egyesület évente megrendezésre kerülő három rendezvénye és a hozzá tartozó szakmai tudásanyag az idei évben részben vagy egészben az online térbe költözik. Terveink szerint az online megjelenéseket, digitális formát később is megőrizzük, ezzel több platformon is találkozóhelyet biztosítva a szakmának. Eseményeinkről, bővebb információért keresse fel weboldalunkat: www.mee.hu/meenet



MAGYAR
ELEKTROTECHNIKAI
EGYESÜLET

1075 Budapest,
Madách Imre út 5. III. emelet
mee@mee.hu
www.mee.hu



#MEEnet
Magyar Elektrotechnikai Egyesület

Felelős kiadó: Veisz Imre

Szerkesztőbizottság elnöke:
Hatvani György

Szerkesztőbizottsági tagok:
Dr. Berta István, Dr. Hatibovic Alen,
Dr. Madarász György, Dr. Nagy László,
Orlay Imre, Dr. Vajk István,
Dr. Varjú György, Vinkovits András,
Béres József, Gelencsér Lajos,
Tillesch Péter, Veisz Imre, Táczy István

Témafelelősök:

Energetika, atomenergia: Hárfás Zsolt
Energetikai informatika:

Karacsi Márk

Energetikai hírek: Dr. Bencze János
Oktatás: Dr. Tóth Judit

Új generáció: Csöre Máté

Szabványosítás: Somorjai Lajos

Szakmai jog: Arató Csaba

Technikatörténet: Dr. Antal Ildikó

Világítástechnika:

Némethné Dr. Vidovszky Ágnes

Villamos fogyasztóberendezések:

Dési Albert

Villamos gépek: Dr. Marcsa Dániel

Tiszteltbeli rovat szerkesztő:

Jakabfalvy Gyula

Tudósítók:

Kovács Gábor, Lieli György

Szerkesztőségi titkár:

Andrássy Katalin

Korrektor: Fejér Petra

Grafika: Kószei Zsolt

Nyomda:

Innovariant Nyomdaipari Kft. Szeged

Szerkesztőség és kiadó:

1075 Budapest, Madách Imre u. 5. III. e.

Telephely:

1075 Budapest, Madách Imre u. 5. III. e.

Telefon: 788-0520

E-mail: mee@mee.hu

Honlap: www.mee.hu

Kiadja és terjeszti:

Magyar Elektrotechnikai Egyesület

Adóigazgatási szám: 19815754-2-42

Előfizethető:

A Magyar Elektrotechnikai Egyesületnél

Előfizetési díj egész évre: 6000 Ft + áfa

Kéziratokat nem őrzünk meg és nem

küldünk vissza.

A szerkesztőség a hirdetések

és a PR-cikkek tartalmáért felelősséget

nem vállal.

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta

Zrt. 1900 Budapest, tel.: 06-1-767-8262

Index: 25 205

HU ISSN: 0367-0708

Nyomdába adás: 2023.06.20.



IMEDIA

TARTALOMJEGYZÉK 2023/5-6

Dr. Vokony István: Előszó 4

TUDOMÁNYTERÜLET

Dr. Hartmann Bálint, Dr. Vokony István: Nagy nyelvi modellek és a nyílt tudomány elve 5

ENERGETIKA

Günter Dalma, Barancsuk Lilla, Oláhné Dr. Groma Veronika, Sinkovics Bálint: Az égboltkamerák szerepe a fotovillamos termelés rövidtávú előrejelzésében 7

Pašić Lejla, Pašić Azra, Pašić Alija, Vokony István, Bíró József: Mesterséges neurális hálózatok alapú kooperatív napenergia termelés-előrejelzés 11

Bessenyei Tamás, Fábíán Attila, Markovics Dávid, Tomasics Sára: Rövidtávú kiegyenlítetlenség-becslés gépi tanuló eljárásokkal 13

Kádár András: A hosszú távú terhelésprognózis aktuális kérdései 20

Beregszászi Miklós, Fábíán Attila, Tomasics Sára: Tartalékigény-meghatározás tanuló algoritmus segítségével 25

VILLAMOSENERGIA-RENDSZEREK

Balogh Dániel, Dr. Cselkó Richárd: Villamos berendezések élettartam-kiterjesztési lehetőségei .. 29

Rácz Levente, Balogh Dániel, Dr. Németh Bálint: Távvezetési sodronyok állapotfelügyelete mesterséges neurális hálózatokkal 33

Dr. Hatibovic Alen: A vezeték görbe új parabolikus egyenlete ferde felfüggesztés esetén, a legmélyebb pont y-koordinátája alapján 37

VILÁGÍTÁSTECHNIKA

Lipák Gyula, Hegedüs János, Hantos Gusztáv: A LED-ek segítségével előállított fehér fény 42

ÚJ GENERÁCIÓ

Berczik Péter: Rezonáns, fázistolással vezérelt ZVT tápegység megvalósítása 48

BIZTONSÁGTECHNIKA

Arató Csaba, Rajkai Ferenc, Dr. Novothny Ferenc: Emlékeztető a Villamos Biztonsági Munkabizottság 2023. április 5-i üléséről 50

TECHNIKATÖRTÉNET

Kimpián Aladár: Dr. Csikós Béla, a mérnök és műve, a magyar nagyfeszültségű átviteli hálózat létrehozása I. rész 56

Tóth Éva: világscúcs gyártási sebesség 59

EGYESÜLETI ÉLET

Lieli György: Sajtóközlemény egy sikeres szakmai napról 61

NEKROLÓG 62

HÍREK

A WAGO sikeresen zárta a 2022 évet 19

Új épület energetikai tanúsítvány 24

Energiamenedzsment megoldásokkal épül újjá a Notre-Dame 32

MVM Edison győztesek 41

Új akkugyár Debrecenben 47

Hidrogén autók 55

Több mint egymillió robot az autógyártásban 62

CONTENTS 5-6/2023

Dr. István Vokony: Foreword

SCIENCES

Dr. Bálint Hartmann, Dr. István Vokony: Large Language Models and the Theory of Open Sciences

ENERGETICS

Dalma Günter, Lilla Barancsuk, Mrs. Oláhné Dr. Veronika Groma, Bálint Sinkovics: The Role of Sky Cameras in the Short-term Forecasting of Photoelectrical Production

Lejla Pašić, Azra Pašić, Alija Pašić, István Vokony, József Bíró: Artificial Neural Networks-Based Cooperative Solar Power Generation Forecasting

Tamás Bessenyei, Attila Fábíán, Dávid Markovics, Sára Tomasics: Short-term Forecasting of Unbalance Estimation with the Use of Machine Learning Techniques

András Kádár: Current Issues in Long-term Load Prognosis

Miklós Beregszászi, Attila Fábíán, Sára Tomasics: Reserve Demand Forecasting with the Help of Learning Algorithm

ELECTRIC MACHINERY

Dániel Balogh, Dr. Richárd Cselkó: Possibilities to Extend the Useful Live of Electrical Appliances

Levente Rácz, Dániel Balogh, Dr. Bálint Németh: Monitoring the Condition of Transmission Line Cables with the Use of Artificial Neural Networks

Dr. Alen Hatibovic: A New Parabolic Equation of the Conductor Curve in Inclined Spans Based on the Y-coordinate of the Low Point

LIGHTING TECHNOLOGY

Gyula Lipák, János Hegedüs, Gusztáv Hantos: The White Light Produced by LEDs

THE NEW GENERATION

Péter Berczik: The Realization of a Resonant, Phase-shift Controlled ZVT Power Supply

SECURITY TECHNOLOGY

Csaba Arató, Ferenc Rajkai, Dr. Ferenc Novothny: Memorandum of the Meeting of the Electrical Safety Work Committee Held on 5th April 2023

HISTORY OF TECHNOLOGY

Aladár Kimpián: Dr. Béla Csikós, the Engineer at Work: Establishing the Hungarian High-voltage Transmission Network, Part 1

Éva Tóth: World-record Production Rate

ASSOCIATION RELATED NEWS

György Lieli: Press release about a successful professional day 61

OBITUARY

NEWS

WAGO Ended 2022 with Success

New Energy-efficiency Certificate for Buildings

The Reconstruction of Notre-Dame by Means of Power Management Solutions

MVM Edison Winners

New Battery Factory in Debrecen

Hydrogen-powered Vehicles

More than a million robots in car manufacturing

Kedves Olvasó!

Örömmel köszöntöm Önöket a Magyar Elektrotechnikai Egyesület Elektrotechnika című lapjának májusi számában! Ezúttal kiemelt figyelmet fordítunk az egyik legizgalmasabb és legdinamikusabban fejlődő területre az energetika és elektrotechnika világában: a mesterséges intelligenciára és annak különféle alkalmazásaira.

A mesterséges intelligencia és az elektrotechnika közötti kapcsolat soha nem volt ennyire izgalmas és ígéretes, ahogy az újabb fejlesztések és kutatások felbontják a korlátokat, és lehetővé teszik számunkra, hogy hatékonyabb és fenntarthatóbb megoldásokat hozzunk létre az energiaiparban.

Az egyik legnagyobb áttörést az elmúlt években a neurális hálózatok fejlődése jelentette. Ezek az intelligens rendszerek képesek tanulni és adaptálódni, megérteni az adatok mögött rejlő összefüggéseket, és kiváló prediktív és döntéstámogató funkciókat biztosítani az energiaellátási rendszerek tervezése, optimalizálása és üzemeltetése során. A neurális hálózatok már most hozzájárulnak az energiahatékonyság növeléséhez, a hálózati stabilitás javításához és az energia-szektor digitalizációjához.

Azonban a mesterséges intelligencia alkalmazásai nem merülnek ki csupán a neurális hálózatokban. Fuzzy modellek, genetikus algoritmusok, adattudományi módszerek és más intelligens megoldások is nagy szerepet játszanak az energetikai és elektrotechnikai területeken. Ezek a technológiák segítenek a kockázatelemzésben, a hibajavításban, a berendezések és rendszerek diagnosztizálásában, valamint a fogyasztói igények és trendek előrejelzésében.



Az új kiadványunkban számos érdekes cikk vár Önökre, amelyek bemutatják az intelligens megoldásokat az energiaiparban. Találkozhatnak a legfrissebb kutatási eredményekkel, a sikeres implementációkkal és az iparág vezető szakembereinek véleményével. Reméljük, hogy ezek a cikkek nem csak információval szolgálnak, hanem inspirációval is szolgálnak Önöknek a további kutatásokhoz és projektekhez.

Az Elektrotechnika lap mindig is törekedett arra, hogy az elektrotechnikai és energetikai szakembereknek a legújabb és legjobb információkat nyújtsa. Az energiaipar és a mesterséges intelligencia közös jövője fényes és izgalmas lehetőségeket kínál számunkra. Azon dolgozunk, hogy lépést tartsunk az új technológiai fejleményekkel, és megosszuk Önökkel a legújabb gondolatokat és eredményeket ezen a különleges területen.

Bízunk benne, hogy a májusi szám tartalma inspiráló lesz Önök számára, és hozzájárul az energiatermelés és -felhasználás hatékonyságának növeléséhez. Köszönjük, hogy velünk tartanak, és mindig készen állunk arra, hogy segítsünk és támogassunk Önöket ezen az izgalmas úton.

Kellemes olvasást kívánunk!

Üdvözlettel,
Dr. Vokony István
Szakmai Tudományos Bizottság

intelligencia, mesterséges intelligencia – vagy nyelvi modellek, már nem újságírók szövegei, vagy hang- zatos fogalmak, hanem a közönséget, rögzítve a valóságot. Hogy ne intézzem el ennyivel a véleményformálást és az üzenetet, a lapban egy picit bővebben írunk Hartmann Bálint kollégámmal a nyelvi modellek és a tudomány kapcsolatáról. Bizom benne, hogy ez a nem szokványos közönséget vitára serkent, mintsem bosszúságot vagy felháborodást okoz.

Kedves Olvasó! Utólag is elnézést kell kérjek: az eddig olvasható bevezető az openAI chatGPT alkalmazás írta az alábbi utasításra: „Írj egy szerkesztői bevezetőt a Magyar Elektrotechnikai Egyesület Elektrotechnika című lap májusi számába. A fókuszban a mesterséges intelligencia, a neurális hálózatok, fuzzy modellek és egyéb intelligens megoldások energetikai, elektrotechnikai alkalmazása legyen.” Ezzel a kis „pimaszsággal” szeretnénk volna arra rámutatni, hogy az AI – artificial

A Magyar Elektrotechnikai Egyesület kiemelt támogatói:



Dr. Hartmann Bálint, Dr. Vokony István

Nagy nyelvi modellek és a nyílt tudomány elve

Az utóbbi időben sok érvelés és hangzatos előadás nyitott azzal a tétellel, hogy a negyedik ipari forradalom küszöbén állunk. Ezt pedig nem más, mint az informatika és határterületei teszik lehetővé. Hívhatjuk ipar 4.0-nak, vagy ICT (info-communication-technology) forradalomnak, a leginkább kézzelfogható, társadalmat és iparágakat egyaránt átforgató képes jelenség az AI – artificial intelligence, azaz a mesterséges intelligencia. Ahogy a 2000-es éveket a smart, a 2020-as éveket várhatóan az AI határozza meg. Az analógia itt is érvényes: pontosan mit értünk AI alatt? Mire lehet használni, valóban „képes gondolkodni”, mit okoz az elektrotechnikai szakma, a tudomány szempontjából? És mi köze ehhez egyáltalán egy nyelvi modellnek? A következőkben, ha válaszokat csak módjával, irányokat, kérdéseket annál többet felteszünk, bízva abban, hogy elindulhat a lapban egy nyílt, szakmai diskurzus. Mert a technológia önmagában nem lehet jó vagy rossz: lehet jól, jóra használni, vagy lehetőségeket elpocsékolni...

Recently, many arguments and fancy presentations have opened with the proposition that we are on the verge of the fourth industrial revolution. This is made possible by none other than IT and its border areas. We can call it industry 4.0, or the ICT (info-communication-technology) revolution, the most tangible phenomenon capable of reshaping society and industries alike is AI – artificial intelligence. Just as the 2000s are defined by smart, the 2020s will likely be defined by AI. The analogy applies here as well: what do we exactly mean by AI? What can it be used for, is it really „capable of thinking”, what does it cause from the point of view of electrical engineering, science? And what does a language model even have to do with this? In the following, if we only give answers in a way, directions and questions are more likely to be raised, trusting that a professional, open discourse can start in the journal. Because technology cannot be good or bad: it can be used well, for good, or it can waste opportunities...

1. NYÍLT TUDOMÁNY

Magyarország vezető kutatási és oktatási szervezetei 2021 októberében közös állásfoglalást adtak ki a nyílt tudomány kapcsán, mely nagy súlyú lépés volt a hazai szintén. [1]

Az Open Science (nyílt tudomány) a tudományos kommunikáció új megközelítése, amely az átláthatóság és együttműködés elvein alapul és a friss kutatási eredmények terjesztésének innovatív módját jelenti a legújabb technológiai fejlesztések és a digitalizáció vívmányainak alkalmazásával.

A nyílt tudomány egyrészt a jelentős nemzetközi kutatások eredményeihez, valamint a magyar tudomány nemzeti nyelven és más nyelveken korábban megjelent, illetve aktuálisan publikált eredményeihez való hozzáférést, másrészt új szemléletmódot jelent. A nyílt tudomány lehetővé teszi a nyitott szemléletmód elsajátítását a tudomány világának minden szereplője számára, s ezzel a verseny mellett az együttműködésre helyezi a hangsúlyt, erősítve ezzel a civil társadalomnak a tudományba vetett bizalmát.

Az Open Science ökoszisztéma alapvető pillérei:

- nyílt hozzáférés biztosítása a kutatási eredményekhez
- FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) és CARE (Collective benefit, Authority to control, Responsibility, Ethics) szemléletű kutatási adat-kezelés
- kutatási integritás, tudományos autonómia
- új generációs tudományértékelési rendszer kialakítása
- új típusú ösztönzők létrehozása
- nemzetközi együttműködési hálózatok
- a közösségi tudomány támogatása
- oktatás és képzés

A nyílt tudomány elvei természetesen újabb vitáknak is teret nyitottak: milyen hatással lesznek ezek a törekvések a kutatások színvonalára, mennyire alakul át gazdasági, üzleti tevékenységgé a kutatás, illetve mennyire képes előítéletmentes maradni, áthidalva társadalmi és politikai ellentéteket? És ha mindez nem lett volna elég, megérkeztek a területre a nagy nyelvi modellek is.

2. A NAGY NYELVI MODELLEK HATÁSA A TUDOMÁNYRA

A ChatGPT és a hozzá hasonló nagy nyelvi modellek (Large Language Model – LLM) térnyerése a kutatók számára is eszközök széles tárházát hozta el: kéziratok szerkesztésére, programkódok megírására és ellenőrzésére, vagy a kutatási ötletek rendszerezésére már ma is elterjedten használják. [2] Találunk már például LLM által írt szakmai-tudományos anyagokra is, melyek esetén felmerül a kérdés: a későbbi felhasználás során hivatkozhatunk-e a mesterséges intelligenciára, mint szerzőre? Nem született még egységes fellépés az ellen sem, hogy a tudományos kéziratok megírása során tiltsák az ilyen eszközök használatát. Mindamellett az LLM alapú eszközök használata számos megbízhatósági kérdést is felvet, a tendenciózus tévedések és a szakmaiatlanság kiküszöbölése pedig egyrészt az emberi felügyelet szükségességét támasztja alá, másrészt pedig a tudományos társadalom eddiginél aktívabb bevonódását teszi szükségessé a tudományos munkák bírálata során. [3]

Az előzőekben bemutatott aggodalmak mérséklésére számos javaslat született, többek között az LLM eszközök becsületes és átlátható használata, illetve az így előállított tartalmak észlelése és megjelölése kapcsán. Ugyanakkor a nyelvi modellek kifinomultabbá válásával az egyszerű detekciós eszközök megbízhatósága csökkenni fog, így a legnagyobb hangsúly a kutatók etikai döntésein lesz.

Ahogy a bevezetőben ismertettük, a nyílt tudomány szellemiségét több pillér támasztja alá. Az átláthatóság elve a kutatási folyamatok és eredmények láthatóságát, hozzáférhetőségét és közérthetőségét jelenti. A hozzáférhetőség kiterjed az adatokra, az eszközökre, a szoftverekre, a dokumentációkra és a publikációkra, melyeknek korlátozás nélkül bárki számá-

ra elérhetőnek kell lenni. A befogadó tudomány elve az egyes szakterületek közötti együttműködést, illetve a laikusok bevonását sürgeti. Végül, a reprodukálhatóság garantálja azt, hogy az egyes kutatások eredményei validálhatóak és ellenőrizhetőek legyenek mások számára is.

A nyílt tudományhoz kapcsolódó elvek közös eleme, hogy gyorsítani kívánják a tudományos eredmények hasznosítását. És míg e tekintetben a technológia nem képes teljeskörűen megoldást nyújtani, elvitathatatlan, hogy a tudományos munka egyes szakaszait (kutatási ötlet megfogalmazása, adatgyűjtés, adatelemzés, disszeminációs tevékenység) képes optimalizálni. Vajon igaz-e akkor is, ha szűkebb fókusszal tesszük fel a kérdést, és arra keresünk választ: a nyelvi modellek terjedése inkább előnyökkel vagy inkább hátrányokkal jár majd a nyílt tudomány szempontjából?

3. PRO VAGY KONTRA?

A kutatók produktivitásának javításával a nagy nyelvi modellek ténylegesen gyorsíthatják az eredmények hasznosulását. Az LLM-ek jól használhatók például a szakirodalom feldolgozására, a kutatás témájában korábban született eredmények értelmezésére, illetve a kéziratok szerkesztésére is. Emellett az LLM-ek jelentős potenciált hordoznak magukban abból a szempontból is, hogy megkönnyítsék a tudományhoz való hozzáférést például laikusok, oktatók, hallgatók, vagy más területen dolgozó, mély ismeretekkel nem rendelkező kutatók számára. Mivel a felhasználók egyszerű, szakmai zsargont mellőző módon tehetnek fel kérdéseket tetszőleges tudományos témák kapcsán, és az LLM-ek által adott válaszok is könnyen befogadhatóak, az eddigieknél lényegesen szélesebb kör vonható be a tudományos diskurzusba. További előny lehet, hogy megfelelő ellenőrzés mellett az LLM-ek kiküszöbölhetik a mind az emberekben, mind pedig a hagyományos keresőmotorokban meglévő részrehajlást. Az emberek hajlamosak az ismert kutatók és a velük együttműködő szakemberek munkáit nagyobbra értékelni, a média kattintásvadász módon választja ki témáit, míg a keresőmotorok – általában tudománymetrikai értékelésekre alapozva – sokszor előbbre rangsorolják a keresett kifejezésekkel való pontos egyezésnél a korábbi megtekintések számát. [4]

Természetesen mint mindennek, a nyelvi modellek használatának is megvan az árnyoldala; különösen igaz ez a nyílt tudomány elveinek tekintetében. Az ismert LLM-ek jelenlegi formájukban nem átlátható működésűek („black box-ok”), így nem alkalmasak más kutatási eredmények reprodukálására. Az általuk generált tartalom elvért tartalmaz megfelelő pontosságú forrásmegjelölést, emiatt pedig sérül az átláthatóság elve. Utóbbi rendszerszintű kérdéseket is felvet, hiszen napjainkban a kutatói sikeresség legfontosabb fokmérőinek egyike az idézettség. Amennyiben a kutató ilyen formájú elismerést nem kap, az visszatárhathatja őt eredményeinek nyílt formában való közzétételétől. Távollabról tekintve pedig kutatóként fel kell tennünk azt a kérdést is, hogy mennyire tekintjük hiteles forrásnak a nyelvi modelleket? Jelenleg a ChatGPT által adott válaszok nincsenek tényekkel alátámasztva, megnehezítve ezáltal a tárgyi tévedések felismerését, ami elengedhetetlen lenne, különösen az adott szakterületen (még) kevesebb tapasztalattal rendelkező kutatók számára.

4. MIT HOZHAT A JÖVŐ?

A nagy nyelvi modellek, az erre épülő platformok, mint a ChatGPT, villámgyorsan váltak a mindennapi technológiai eszköztár részévé; használatukat és az ezzel óhatatlanul is együtt járó visszaéléseket nem tudjuk már megakadályozni. Ahhoz, hogy az ilyen eszközök használata kapcsán felmerülő etikai aggályokat tisztázzuk, a kutatói közösségnek közösen kell megalkotni a szabályrendszert; erre már most is vannak törekvések.

A nyílt tudomány szellemisége még nem terjedt el teljeskörűen, az viszont egyértelműen látszik, hogy az új technológiák térhódítása gyorsabb. Ez az ellentmondás szükségszerűen oda vezet, hogy törekedni kell arra, hogy a tudományetikai elveket figyelembe vevő LLM-eket készítsünk. Egy lehetséges megoldás lenne például a tudományos bírálaton (peer-review-n) átesett forrásokra korlátozni az LLM-ek tanító adathalmazát, azonban ennek is megvannak a maga nehézségei. Egyrészt a hagyományos publikációs modellek tekinthetők még uralkodónak, a legjelentősebb folyóiratok tartalma továbbra sem ingyenesen elérhető a széles közönség számára. Másrészt a közzététel előtti (pre-print) kéziratokat tartalmazó adatbázisokban sem lehet kizárólagosan megbízni, hiszen az ide felkerülő tartalmak nem ellenőrzöttek, sőt, akár szándékoltan megtévesztőek is lehetnek.

Megoldandó feladat a megfelelő forrásmegjelölés kérdése is, ez ugyanakkor összefügg egy másik, legalább ekkora kihívással is, nevezetesen, hogy a tudományos eredményesség, a kutatói életpálya hatása mérhető-e pusztán tudománymetriai mutatókkal. Amíg az egyes tudományos fokozatok odaítélése, a kutatási pályázatok elbírálása, az életpályán történő előmenetel nagyban függ egyes „minimalkövetelmények” teljesítésétől, aligha várható el egy kutatótól, hogy saját szellemi termékét bármilyen kompenzáció nélkül hozzáférhetővé tegye.

Összességében elmondható, hogy a nagy nyelvi modellek, és a rájuk épülő eszközök, mint a ChatGPT, hatalmas potenciállal bírnak, létfontosságú, hogy használatuk során a tudományetikai szempontok mindvégig érvényesüljenek – ebben pedig a legnagyobb szerepe a tudományos közösségnek van.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **NKFIH:** Állásfoglalás a nyílt tudományról, 2021. október, <https://nkfi.gov.hu/nyilt-tudomany>
- [2] **H. Thorp:** *ChatGPT is fun, but not an author*, *Science*, 379, 6630, 2023
- [3] **C. Stokel-Walker, R. Van Norder:** *What ChatGPT and generative AI mean for science*, *Nature*, 614, 2023
- [4] **J. West, C. Bergstrom:** *Misinformation in and about science*, *PNAS* 118, e1912444117, 2021



Dr. Hartmann Bálint

tudományos főmunkatárs
ELKH Energiatudományi Kutatóközpont
MEE-tag
hartmann.balint@ek-cer.hu



Dr. Vokony István

egyetemi docens
BME Villamos Energetika Tanszék
MEE-tag
vokony.istvan@vik.bme.hu

Günter Dalma, Barancsuk Lilla,
Oláhné Dr. Groma Veronika, Sinkovics Bálint

Az égboltkamerák szerepe a fotovillamos termelés rövidtávú előrejelzésében

Az időjárásfüggő villamosenergia-termelés elmúlt évtizedben végbemenő dinamikus hazai térnyerésének hatására felértékelődik a különböző előrejelző algoritmusok használata a napi üzemtervezés, erőmű menetrendezés során. A termelést dominánsan meghatározó ultrarövid távú napsugárzás-előrejelzés kritikus fontosságú a napenergián alapuló rendszerek hálózati integrációjában, azonban a gyors és szabálytalan felhőmozgás nehezíti a pontos előrejelzést. Ebben a cikkben egy olyan mesterséges intelligencia alapú rendszert mutatunk be, amely égboltkamera-felvételek és időjárási adatok összehangolt elemzésével készít sugárzásbecslést. Ismertetjük az Energiatudományi Kutatóközpontban fejlesztett rendszer felépítését, adatfeldolgozási lépéseit, valamint az előrejelzés további széles körű lehetőségeit.

In the past decade the vast proliferation of weather-dependent power generation has led to the increased need to use different forecasting algorithms in daily operation planning. The aim of this paper is to present a model to estimate global solar radiation, the environmental parameter that primarily determines photovoltaic power generation. The algorithm utilizes both sky images and environmental parameters to train a neural network and generate an estimation of solar radiation. We describe the system developed by the Center for Energy Research, the steps involved in processing the data, and the possibilities of forecasting.

1. BEVEZETÉS

Összhangban a hazai és nemzetközi energetikát érintő decarbonizációs célokkal a hazai fotovillamos beépített termelői kapacitások nagysága napjainkra elérte a 4500 MWp értéket. A napelemes penetráció növekedésének hálózati hatásai mind rendszerszinten (pl.: stabilitás, rendszerterhelés), mind lokálisan (pl.: feszültségviszonyok, teljesítményáramlás) megfigyelhetők. [1] szerzői saját fejlesztésű modelljük segítségével rámutattak a középtávon jelentkező, gyors felhőátvonulással járó elosztóhálózati feszültségingadozások nem elhanyagolható hatására. Mindemellett a hazai villamosenergia-rendszerben várható olyan földrajzilag koncentrált nagy teljesítményű termelőegységek (30-50 MWp) megjelenése, melyek termelésének gyors változása rendszerstabilitási kéréseket is felvet. Mindezek mellett az éghajlatváltozással együtt a hirtelen kialakuló zivatarok, nem várt légköri folyamatok száma folyamatosan növekszik.

Mindezen folyamatok mélyebb hálózati hatásainak megértése érdekében a fotovillamos termelés üzemtervezést, menetrendezést segítő másnapi előrejelzésén túl felértékelődik

az ultrarövidtávú (néhány órás időhorizontú) termelésbecslés jelentősége. Az elméleti hatásvizsgálatokon túlmenően az intraday menetrend módosítás vagy a koncentrált termelők okozta váratlan termelés kiesések alapot jelenthetnek a gyakorlati implementációra.

Jelen cikk célja bemutatni egy olyan rövidtávú termelésbecslő eljárást, amely neurális hálózatok felhasználásával égboltkamera képek alapján képes a termelést dominánsan meghatározó globálsugárzás értékét megbecsülni.

2. ELŐREJELZÉSI MEGOLDÁSOK

A fotovillamos termelést alapvetően meghatározza a globálsugárzás, ezen paraméter ultrarövid távú előrejelzésének készítésekor a felhőzet hatásának becslése a legfőbb nehézség. A becslés megvalósításához ezért elengedhetetlen az időjárási paraméterek gyakori mérése, a felhőzet nyomon követése és jól kalibrált modellek építése, amik szorosan követik a légkör állapotának alakulását. Az iparban és a tudományos szakirodalomban az alábbi megközelítésekkel találkozunk:

- Az égboltkamera felvételeinek elemzése hagyományos képfeldolgozási és mozgáskövetési módszerekkel, ami lokalizált előrejelzést tesz lehetővé.
- A műholdképek feldolgozása hasonló eljárásokkal. Ez a módszer kiterjedt földrajzi területek sugárzását képes megjósolni.
- Meteorológiai modellek és sugárzási adatbázisok összekapcsolása és statisztikai elemzése.
- Mesterséges intelligencia alapú módszerek, elsősorban mesterséges neurális hálók alkalmazása bármely fenti adatforrásra.

Kereskedelmi forgalomban is elérhetők már olyan összetett, felhőkamerából, időjárás-állomásból, és egyéb szenzorokból álló rendszerek a hozzájuk tartozó, becslést végző beépített szoftverrel, amelyek képesek a mérési pont közvetlen környezetében előre jelezni a sugárzást (ilyen például a Reuniwatt felhőkamerás rendszere [2]). Több vállalat kínál nagy felbontású sugárzás-előrejelzés szolgáltatást, aminek alapja műholdrendszerek képeinek feldolgozása (ezek közé tartoznak a Solcast, illetve a Solargis ultrarövidtávú előrejelzései [3,4]). Ezek a megoldások nagy földrajzi területet lefedő előrejelzést tesznek lehetővé, és több különböző időtávra kínálnak becslést, így elérhető napi, órás és egyperces felbontás is.

A fenti megközelítések közül a kereskedelmi forgalomban kapható rendszerek még elsősorban a hagyományos módszerekre alapulnak: mindhárom említett vállalat klasszikus képfeldolgozási eljárásokkal elemzi a felvételeket, esetenként pontosítva a becslést további időjárási statisztikákkal.

Azonban a tudományos szakirodalomban egyre népszerűbbek a gépi tanulási modellek [5], amely annak köszönhető, hogy az adatalapú technológiák hatékonyan kezelik a nagy mennyiségű adatot, amelyet szenzorokból, kamerákból és historikus időjárás adatbázisokból lehet előállítani. Ugyanakkor az átfogó fizikai modellek hiánya miatt a felhőmozgások és sugárzásváltozás közötti kapcsolat nehezen formalizálható, és az adatforrások integrációja is korlátozott.

2.1. Mesterséges neurális hálók a sugárzásbecslésben

A sugárzásbecslés egyre népszerűbb módja a mesterséges neurális hálók alkalmazása. A hálók legnagyobb előnye, hogy többféle adattípus összekapcsolt feldolgozását teszik lehetővé, kihasználva az adatok időbeliségét is. A feladatra változatos hálóarchitektúrák használhatók, amelyek közül a leggyakrabban használtak az alábbiak [5,6]:

- Teljesen Összekapcsolt Neurális Hálózatok (Fully Connected Neural Network, FCNN): Széles körben használt, közismert megoldás numerikus adatok (pl. időjárási paraméterek) elemzéséhez.
- Konvolúciós Neurális Hálózatok (CNN-ek): A CNN-ek az égboltkamera- vagy műholdképek lokális jellemzői alapján következtetnek napsugárzásra.
- Long Short-term Memory (LSTM) Hálózatok: Az LSTM hálózatok a felhőmozgás rövid és hosszú távú időbeli összefüggéseinek mintázatait tárják fel az előrejelzéshez.

A felsorolt architektúrákat széles körben alkalmazzák a tudományos szakirodalomban, azonban az ún. Transformer Hálózatok különösen ígéretesnek tűnnek az adatfeldolgozás terén [7]. Az újszerű eljárás képes az egymástól távol eső adatelemek és különböző típusú bemenetek (szenzor idősorok, képek, időbélyegek) közötti logikai kapcsolatokat megragadni.

A Transformer architektúrát eredetileg természetes nyelvfeldolgozási feladatokra tervezték [8], de később sikeresen alkalmazták számítógépes látási feladatokban is, például a képosztályozás és objektumdetektálás területén. Ennek köszönhetően az architektúra olyan komplex összefüggéseket ismer fel, amelyek meghatározzák a sugárzás alakulását, például a földfelszíni szélereősség és a felhőmozgások kapcsolatát, vagy a felhők és a nap egymáshoz képesti helyzetéből adódó felhők felszínéről történő reflexiókat.

Az Energiatudományi Kutatóközpont (EK) Környezetfizikai Laboratóriumában kidolgoztunk egy, a globálisugárzás becslésére alkalmas modellt. A modell egy égboltkamera perces felbontású égboltképeit egy Transformer architektúra, míg az időjárás-állomás adatait egy teljesen összekapcsolt hálózat segítségével dolgozza fel. Az összes rendelkezésre álló adat felhasználásával, a végső globálisugárzás becslést a két modell kimenetének összekapcsolása adja. A további fejezetekben részletezzük a rendszer felépítését és működését.

3. AZ ENERGIATUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT FELHŐKAMERA RENDSZERE

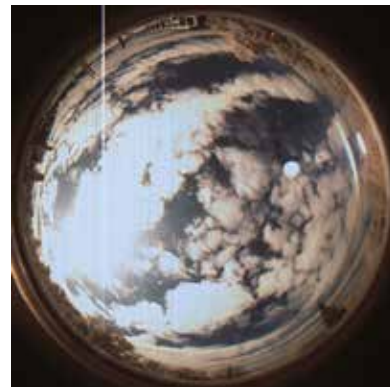


1. ábra Starlight Xpress Oculus típusú égboltkamera az EK telephelyén. Háttérben a napelempark

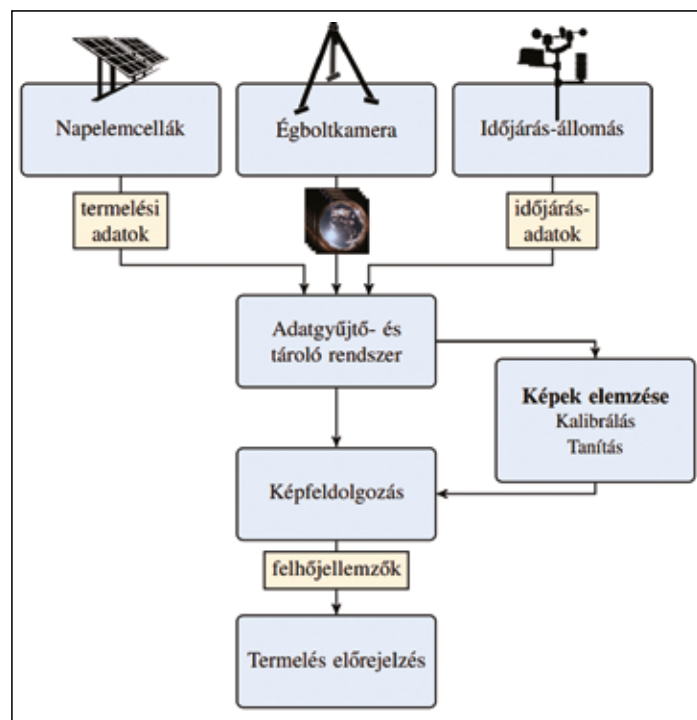
3.1. MÉRŐÁLLOMÁS

Az EK telephelyének 29-es épületén került telepítésre a napelemből és időjárás-monitoring rendszerből álló mérőállomás (1. ábra). A monitoring rendszer része egy Starlight Xpress Oculus típusú égboltkamera, amely nagy felbontású, 180°-os látószögű színes képek készítésére alkalmas. A kamera vezérléséhez elkészült egy saját fejlesztésű szoftver, ami illeszkedik az adatfeldolgozás egyedi igényeihez, a fényképezés gyakorisága és exponálási ideje tetszőlegesen beállítható. A saját fejlesztésű szoftver jelenleg percnként automatikusan felvételt készít, a felhőkamera képe a 2. ábrán látható.

A kapcsolódó időjárás monitoring rendszer számos adatot mér, melyek kiegészítik a felhőkamera által készített képeket, és további információkkal pontosítják a becslést. A rendszer percnként rögzíti a levegő hőmérsékletét, a szélesebséget, a légköri nyomást, a levegő páratartalmát, valamint a napelemek termelését közvetlenül meghatározó globálisugárzás értékét. A képekből első-sorban a napelemek feletti égbolt felhőborítottságának mértékére következtethetünk, illetve a látott kép a felhők kinézetét, különböző felhőtípusok elkülönítettségét teszi lehetővé. A mért adatokból további következtetéseket tudunk levonni a felhőmozgásokra, a felhőzet fejlődésére, időjárási körülményekre vonatkozóan. A képeket és adatokat egy közös adatfeldolgozó rendszer segítségével dolgozzuk fel. A rendszer felépítése a 3. ábrán látható.



2. ábra Felhőkamerakép. A nagy látószögű kamera a teljes égboltról készít felvételt

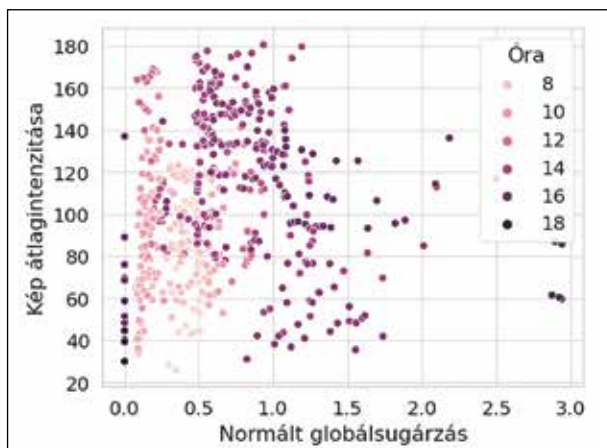


3. ábra Az EK időjárás monitoring rendszere és az adatfeldolgozás folyamata

3.2. Az adatok előfeldolgozása

Az adatok előfeldolgozása során megvizsgáltuk az adott időpontban mért, normált globálisugárzás és az égboltkamera által készített kép átlagos színintenzitásának kapcsolatát, ami elsősorban a felhőzottség mértékével függ össze. A normált globálisugárzás a mért sugárzásérték és adott időpontban a tiszta (felhőtlen) égbolthoz tartozó sugárzásérték arányát jelenti, a felhőzet sugárzasmódosító képességéről hordoz információt.

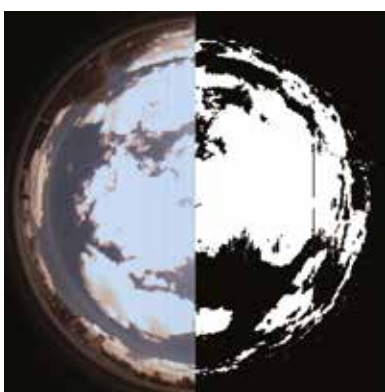
A 4. ábrán az égboltképek átlagintenzitását a normált globálisugárzás függvényében, a kép készítési időpontjának figyelembevételével ábrázoltuk. Az ábráról leolvasható, hogy a képpontok átlagintenzitása (azaz a kép „világossága”)



4. ábra A normált globálsugárzás és a kép átlagintenzitásának kapcsolata, figyelembe véve a felvétel időpontját

kevésbé függ össze a globális sugárzással, mint a kép készítésének időpontja, ami nagymértékben befolyásolja ezt a paramétert. Az x tengelyen megjelennek olyan pontok is, ahol a sugárzásérték meghaladja az adott időponthoz tartozó tiszta égbolti sugárzást. Ez a jelenség elsősorban a délutáni órákra jellemző, oka a felhőzet fényvisszaverő képessége. Így megállapítható, hogy a felhőzött terület aránya nem ad kellő információt a globálsugárzásra vonatkozóan. Az adatok pontosabb értelmezéséhez további paraméterek bevonása, komplex megközelítés szükséges.

A komplex megközelítés szükségességét támasztja alá az is, hogy a kutatás elején általunk alkalmazott hagyományos, szegmentálás alapú képfeldolgozási algoritmusok nem mutattak megfelelő pontosságot a sugárzás becslésére. Ezen algoritmusok a képpontok színe alapján különítik el a felhőket az égbolttól, a felhőzöttség mértékéből pedig a sugárzásra következtetünk. Az eredmények alapján azonban megállapítható, hogy a globálsugárzás és a felhőzöttség közötti kapcsolat nem egyértelmű, illetve, hogy ezek az algoritmusok bizonyos időjárási körülmények között igen pontatlan eredményeket adnak. Az 5. ábrán az egyik algoritmus eredménye látható. A felhős régiók elkülönülnek az égbolttól, azonban a felhőzött terület nagysága önmagában kevés a sugárzásbecsléshez.



5. ábra Példa hagyományos felhődetektáló algoritmusok eredményére

3.3. Mesterséges neurális háló alkalmazása

A hagyományos képfeldolgozási módszerek nem vezetnek pontos eredményre, ezért a becslés pontosságának javítására törekedtünk, amire mesterséges intelligencia alkalmazásával kerestünk megoldást. A neurális hálózat használatával nagy mennyiségű időjárási adatot dolgoztunk fel, amely lehetővé tette olyan mintázatok felismerését, amelyekre a hagyományos módszerek

alkalmazása nem volt hatékony, és amelyek emberi szemmel sem voltak észlelhetőek. Az így kapott adatok alapján a neurális hálózat képes volt hatékonyan megbecsülni a globálsugárzás értékét.

Az időjárási adatok és a felhőkameraképek feldolgozásához többmódusú neurális hálót alkalmaztunk: háló bemeneteként felhasználtuk a meteorológiai állomás adatait, a felhőkameraképeket, valamint a képek és mérési adatok rögzítésének dátumát és időpontját is.

A modell három hálózat összekapcsolásából áll. A képeket Vision Transformer (ViT) architektúrával dolgoztuk fel, mely egy képfeldolgozásra specializált transzformer háló. Ezzel párhuzamosan az időjárási adatokat és a rögzítés időpontját teljesen összekapcsolt háló architektúrával dolgoztuk fel. A két modell kimenetét egy második FCNN kapcsolja össze, amely a rendelkezésünkre álló adatokból becsli az aktuális globálsugárzás értékét. A háló kimenetét az időjárás-állomás által mért globálsugárzás értékkel csatoltuk vissza.

A modell alábbi hiperparamétereit Bayesi optimalizálással finomhangoltuk, hogy a lehető legjobb pontosságot érjük el.

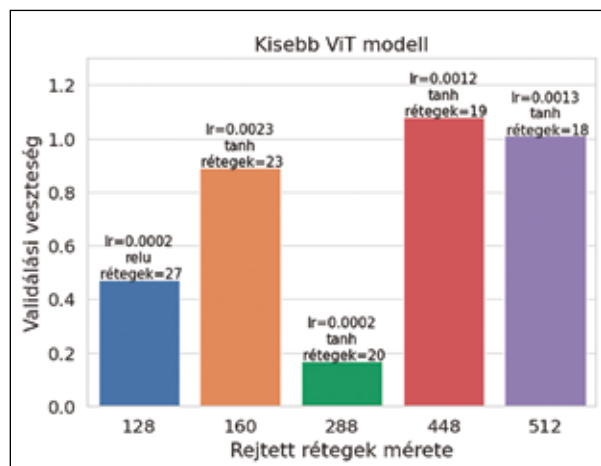
- A ViT modell mérete,
- az FCNN rétegeinek száma, mérete és aktivációs függvénye, valamint
- a teljes modell tanulási rátája.

A ViT modell méretét tekintve egy kisebb és egy nagyobb előtanított hálót alkalmaztunk, hogy megállapítsuk, mennyire befolyásolja a transzformer háló mérete a becslés pontosságát. Szükséges volt emellett megfelelően megválasztani a tanulási rátát (ami meghatározza, hogy milyen mértékben módosulnak a háló paraméterei a tanítás során), valamint az aktivációs függvényt (amely a háló nemlinearitását biztosítja). A *tanh* és a *relu* széles körben alkalmazott aktivációs függvényeket teszteltük.

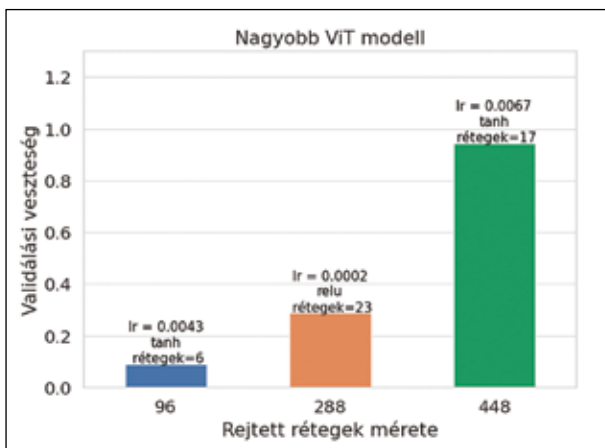
4. EREDMÉNYEK

Az optimalizálással különböző paraméterkombinációkat teszteltünk, melynek célja a validálás során kapott veszteségfüggvény minimalizálása volt. A veszteség a háló által becsült és a mért globálsugárzás különbségének átlagos négyzetes középértéke. A teszteléshez fél év adatait használtuk fel, az adatsor elsősorban nyári és őszi hónapokat tartalmazott.

A különböző hálókon végzett tesztek eredményei a 6. és 7. ábrákon láthatók, mely alapján megállapítható, hogy a legpontosabb egy nagyobb ViT modellt tartalmazó háló volt. A kisebb ViT modellt tartalmazó hálóhoz is sikerült olyan FCNN rétegszámot találni, mely hasonló pontosságot adott. Alkalmazhatóság szempontjából a kisebb háló korlátos erőforrású környezetben lehet hasznos.



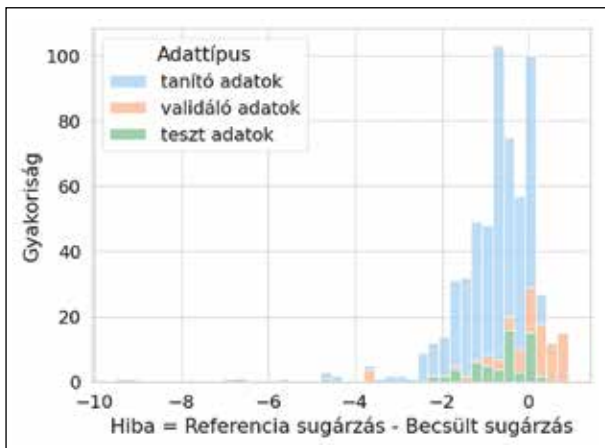
6. ábra A kisebb hálózat validálási vesztesége különböző hiperparaméter-kombinációk mellett



7. ábra A nagyobb hálózat validálási vesztesége különböző hiperparaméter-kombinációk mellett

Minél kisebb a rejtett rétegek száma és mérete, annál jobb pontosságot ér el a nagyobb ViT modell. Ennek oka, hogy az időjárásadatok komplexitása nem igényel nagy elemszámú teljesen összekapcsolt hálót, a komplex információk többségét a felhőkameraképek szolgáltatják. Egy nagy elemszámú teljesen összekapcsolt modell a túltanítást kockáztatná. A kisebb ViT modell pontosságát egy közepes rétegszámú, teljesen összekapcsolt háló támogatja legjobban, kompenzálva a ViT méretét.

A legjobb hálót ezután tovább tanítottuk, és az így optimalizált modellen vizsgáltuk a hibák eloszlását (8. ábra). A hiba mértéke a becslés és a mért normált globálsugárzás értékeinek különbsége. A hibaeloszlás nulla körül csoportosul, azonban nem szimmetrikus. A háló jellemzően felülbecsli a sugárzás mértékét. Az eloszlás nagyobb időtartamot magában foglaló, változatos időjárási körülményeket tartalmazó tanítóadatokkal tovább javítható.



8. ábra Hibaértékek eloszlása a háló tanítása, validálása és tesztelése során. A hiba a normált sugárzásértékek különbsége

5. KITEKINTÉS

A kutatás során célunk a fotovillamos rendszerek termelését közvetlenül meghatározó globálsugárzás becslésének megvalósítása volt időjárásadatok és égboltkamera-felvételek alapján. A munka során kidolgoztunk és teszteltünk egy neurális háló alapú modellt, amely lehetővé teszi a nagy mennyiségű időjárási adat hatékony feldolgozását, és olyan mintázatok felismerését, amelyekre a hagyományos módszerek kevésnek bizonyulnak. Hiperparaméter-optimalizálás után a modell által készített becslés nagy pontosságot ért el. Az

eredmények azt mutatják, hogy a felhőzet, illetve a meteorológiai paraméterek alakulása önmagukban nem informatív, ezek szinergikus összekapcsolása szükséges és előre-mutató.

Jövőbeli terveink közé tartozik a modellünk további finomhangolása, valamint az előrejelzés megvalósítása visszacsatolt háló segítségével. Az időjárásadatokat a képekhez hasonlóan transzformer hálóval kívánjuk feldolgozni, a további összefüggések feltárása érdekében, illetve tervezzük a becslés térbeli pontosságát számszerűsíteni, több kamerából álló, nagy kiterjedésű rendszer segítségével.

IRODALOMJEGYÉK

- [1] **Turóczy, B. Á., Hartmann, B., Kazsoki, A. S., Felhőátvonulások hatása az elosztóhálózat feszültségére.** ELEKTROTECHNIKA, Vol.114(03)0367-0708, Pp.14-16, 2021
- [2] **Solargis: Improving accuracy of solar power forecasts.** Available: <https://solargis.com/blog/best-practices/improving-accuracy-of-solar-power-forecasts>
- [3] **Solcast: How Solcast generates irradiance and weather data.** Available: <https://solcast.com/irradiance-data-methodology>
- [4] **Reuniwatt: 24/7 cloud observations with Sky InSight™ all-sky imager.** Available: <https://reuniwatt.com/en/24-7-all-sky-observation-sky-insight>
- [5] **Sawant, M., Shende, M. K., Feijóo-Lorenzo, A. E., Bokde, N. D.: The State-of-the-Art Progress in Cloud Detection, Identification, and Tracking Approaches: A Systematic Review.** Energies, Vol. 14(23):8119, 2021
- [6] **Martins, B. J., Cerentini, A., Mantelli, S. L., Chaves, T. Z. L., Branco, N. M., von Wangenheim, A., Rütger, R., Arrais, J. M.: Systematic review of nowcasting approaches for solar energy production based upon ground-based cloud imaging.** Solar Energy Advances, Vol. 2: 100019, 2022
- [7] **Liu, S., Zhang, J., Zhang, Z., Cao, X., Durrani: TransCloudSeg: ground-based cloud image segmentation with transformer.** IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 15, Pp.6121-6132., 2022
- [8] **Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., Polosukhin, I.: Attention is all you need.** Advances in neural information processing systems Pp.5998-6008, 2017



Günter Dalma

gyakornok
Energiatudományi Kutatóközpont,
Környezetfizikai Laboratórium
gunter.dalma@ek-cer.hu



Barancsik Lilla

PhD Hallgató
BME Villamos Energetika Tanszék
barancsik.lilla@vik.bme.hu



Oláhné Dr. Groma Veronika

tudományos munkatárs
Energiatudományi Kutatóközpont
olahne.groma.veronika@ek-cer.hu



Sinkovics Bálint

tudományos segédmunkatárs
Energiatudományi Kutatóközpont,
Környezetfizikai Laboratórium
MEE-tag
sinkovics.balint@ek-cer.hu

Pašić Lejla, Pašić Azra,
Pašić Alija, Vokony István, Bíró József

Mesterséges neurális hálózatok alapú kooperatív napenergia termelés-előrejelzés

Munkánkban bemutatjuk az úgynevezett kooperatív napenergia termelés-előrejelzés fogalmát és módszerét, ahol földrajzilag közeli adatforrások kerülnek felhasználásra a termelés-előrejelzési pontosságának javítása érdekében. Különböző nagyszabású, egyórás, mesterséges neurális hálózatokon alapuló napenergia termelés-előrejelzési forgatókönyvet dolgoztunk ki és vizsgáltunk meg az együttműködés előnyeinek bemutatására. A bevezetett kooperatív napenergia termelés-előrejelzési módszer jelentősen javítani tudta az előrejelzési pontosságot, különösen korábbi termelési adatokkal kombinálva.

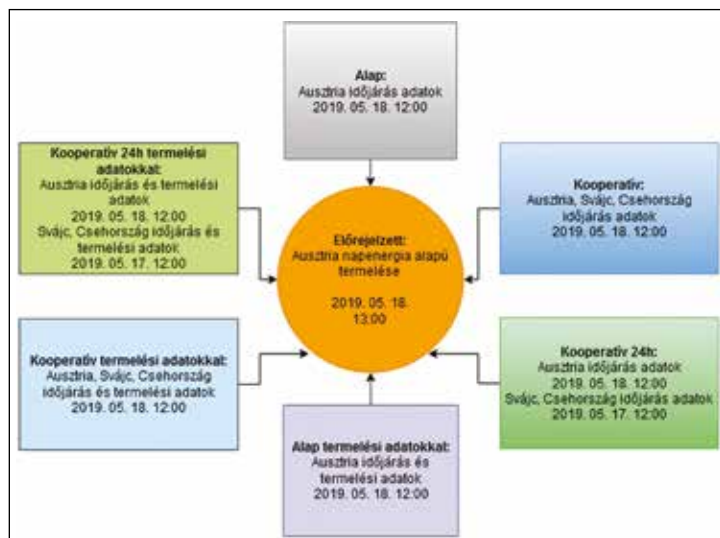
In our work we introduced the concept and method of so-called cooperative solar generation forecasting, where geographically close data sources are utilized in order to improve forecasting accuracy. We devised and examined various large-scale one-hour-ahead artificial neural networks based solar generation forecasting scenarios to prove the benefits of cooperation. The introduced cooperative solar generation forecasting method showed significant improvement in forecasting accuracy, especially when combined with previous generation data.

1. BEVEZETÉS

Manapság a napenergia vitathatatlanul a megújuló energiaforrások egyik legígéretesebb formájának számít [1]. A megújuló energiatermelés hullámzó, változékonny jellege jelentős működési kihívást jelent azonban az energiarendszerek számára, amelyek hagyományosan determinisztikus szabályok szerint működnek. A megbízható megújuló energiatermelés-előrejelzés nagymértékben könnyítheti a megújuló energia integrálását, hiszen segíthet az integrálási költségek csökkentésében, az átlagos éves működési költségek csökkentésében és a tartalék hiányok minimalizálásában [2]. Ebben a cikkben meg szeretnénk ragadni az alkalmat, hogy röviden ismertessük a Renewable Energy & Power Quality Journal folyóiratban a(z) „ANN-Based Large-Scale Cooperative Solar Generation Forecasting” címmel megjelent megújuló energia előrejelzéssel kapcsolatos munkánk főbb eredményeit [3].

2. KOOPERATÍV NAPENERGIA TERMELÉS-ELŐREJELZÉS

Munkánkban többféle – kevésbé kutatott – nagyszabású, egyórás, mesterséges neurális hálózatokon alapuló napenergia termelés-előrejelzési forgatókönyv lett kidolgozva és vizsgálva az együttműködés előnyeinek bemutatására. Ehhez egész országokat felölelő nagyszabású modellek lettek felhasználva. Az előrejelzésekhez Multilayer Perceptron Regressor mes-



1. ábra Szemléltető példa a különböző forgatókönyvfajtaokról

terséges neurális hálókat használtunk, a Python scikit-learn könyvtárból [4]. Az előrejelzések hibájának értékeléséhez az átlagos négyzetes hiba gyökének (root meansquareerror – RMSE) metrikáját használtuk [5]. A felhasznált adatok nyílt forrású adatbázisok az Open Power System Data platformról származnak [6].

A vizsgálatok során hat ország adatai két csoportba lettek osztva. A kooperációs forgatókönyvben az egyes országok saját termelésük előrejelzésére saját hőmérsékleti és sugárzási adataik mellett felhasználhatták az azonos csoportba tartozó partnereik hőmérsékleti és sugárzási adatait is. Az első csoportba osztrák, svájci és cseh adatok tartoztak, míg a második csoportban a spanyol, francia és olasz adathalmazok

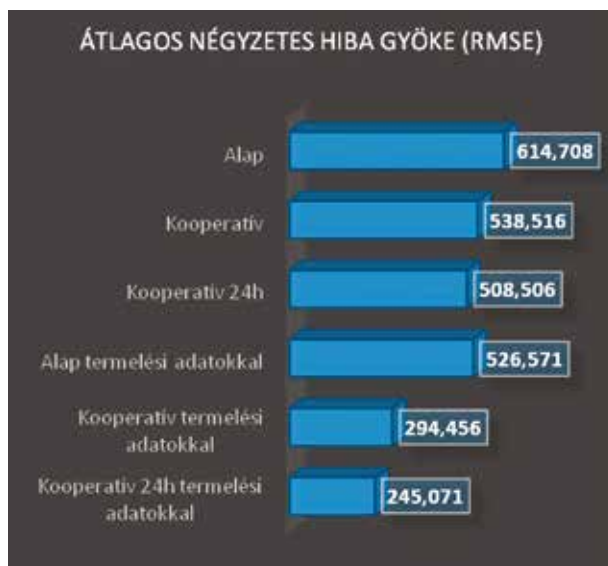
1. táblázat A különböző forgatókönyvekkel elért eredmények

	AT	CZ	CH
Alap			
RMSE	61.4708	140.8735	29.1212
Futásidő	2.7989	6.5168	5.7042
Kooperatív			
RMSE	53.8516	105.4581	22.0411
Futásidő	8.5347	12.3986	15.9387
Kooperatív 24h			
RMSE	50.8506	95.9488	21.1447
Futásidő	9.2895	13.4802	16.2596
Alap termelési adatokkal			
RMSE	52.6571	114.8401	22.2997
Futásidő	5.9555	5.8936	5.1496
Kooperatív termelési adatokkal			
RMSE	29.4456	55.1854	10.0242
Futásidő	9.9245	10.0438	11.3595
Kooperatív 24h termelési adatokkal			
RMSE	24.5071	48.4023	9.5708
Futásidő	6.6001	8.1927	9.2013

találhatóak. E rövid cikkben az első csoport eredményeit fogjuk részletesen bemutatni, a bővített verzióban megtalálható a második csoport eredményeinek részletes vizsgálata is.

Munkánk során a kooperatív forgatókönyvnek is négy különböző változatát vizsgáltuk. A két alap felállásban a vizsgált ország egyórás termelését jeleztük előre időjárási adatok (hőmérséklet és sugárzás) alapján, illetve hozzáadtuk a régi termelési adatokat is az „alap termelési adatokkal” elnevezésű esetben. A kooperatív forgatókönyvben az azonos csoportba tartozó országok időjárási adatait is felhasználhattuk. A következő esetben a kooperatív adatokat 24 órás eltolódással is vizsgáltuk, majd a kettő kooperatív forgatókönyvet a korábbi termelési adatok hozzáadásával is teszteltük. A vizsgált forgatókönyvfajták egy példája látható az 1. ábrán. A bemutatott példában az előrejelzendő érték az ausztriai napenergia termelés, a különböző forgatókönyvek pedig a négyzetekben olvashatók, más-más bemeneti adatokkal.

Az 1. táblázatban az összes vizsgált forgatókönyv eredményeit láthatjuk, az egy csoportba tartozó mindhárom adathalmazra. Az osztrák adathalmazon elért eredményeket grafikon formájában is bemutatjuk a 2. ábrán. Láthatjuk, hogy ebben a kiemelt esetben is (ezen az adathalmazon láthattuk a legkisebb kooperációval elért pontosságnövelést a kísérletek során), a kooperáció még mindig jelentős, 12%-os pontosságnövelést eredményezett. Külön érdekes, hogy a kooperáció nagyobb pontosságnövelést eredményezett a korábbi termelési adatok felhasználásához képest is. Ha pedig a kooperáció módszerét ötvözzük a korábbi termelési adatok felhasználásával is, akkor drasztikus hibacsökkenést tapasztalhatunk.



2. ábra Az ausztriai adathalmazon elért eredmények

3. ÖSSZEZÉS

E cikkben ismertettük az úgynevezett kooperatív napenergia termelés-előrejelzés fogalmát és módszerét, melynél földrajzilag közeli adatforrások kerülnek felhasználásra a termelés-előrejelzési pontosságának javítása érdekében. Különböző nagyszabású, egyórás, mesterséges neurális hálózatokon alapuló napenergia termelés-előrejelzési forgatókönyvet mutattunk be és elemeztünk az együttműködés előnyeinek bemutatására.

Az eredményekből láthattuk, hogy az összes vizsgált forgatókönyvben a kooperáció csökkenti az előrejelzések hibáját – 12%-tól akár 50%-ig –, ráadásul, ha emellett a korábbi termelési adatokat is felhasználjuk, a hiba még jelentősebb mér-

tékben csökkenthető. Érdekes megfigyelés volt, hogy nem éppen a legfrissebb adatok szolgáltatják a legpontosabb előrejelzéseket, hanem a 24 órával korábbi kooperatív adatok felhasználásával tovább javítható az előrejelzések pontossága, 29%-tól akár 69%-ig. Ezért a kooperatív módszer felhasználása mellett egyéni mintavétel-optimalizálással további lehetőségek nyílnak az előrejelzés pontosságának javítására.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Atika Qazi, Fayaz Hussain, Nasrudin ABD Rahim, Glenn Hardaker, Daniyal Alghazzawi, Khaled Shaban, and Khalid Haruna.** Towards sustainable energy: a systematic review of renewable energy sources, technologies, and public opinions. *IEEE Access*, 7:63837–63851, 2019.
- [2] **Notton, G., & Voyant, C.** (2018). Forecasting of intermittent solar energy resource. In *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* (77–114). Elsevier
- [3] **Pašić, L., Pašić, A., Pašić, A., & Vokony, I.** (2022). ANN-Based Large-Scale Cooperative Solar Generation Forecasting. *RENEWABLE ENERGY & POWER QUALITY JOURNAL*, 20, 559–563.
- [4] **F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, and E. Duchesnay.** Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12:2825–2830, 2011
- [5] **Sameer Al-Dahidi, Osama Ayadi, Mohammed Alrbai, and Jihad Adeen.** Ensemble approach of optimized artificial neural networks for solar photovoltaic power prediction. *IEEE Access*, 7: 81741–81758, 2019.
- [6] Open power system data. <https://open-power-system-data.org/>.



Pašić Lejla

okl. villamosmérnök
doktorandusz
BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
pasic.lejla@tmit.bme.hu



Pašić Azra

okl. egészségügyi mérnök
doktorandusz
BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
pasic.azra@tmit.bme.hu



Dr. Pašić Alija

okl. villamosmérnök
egyetemi adjunktus
BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
pasic@tmit.bme.hu



Dr. Vokony István

mérnök-közgazdász,
egyetemi docens,
BME Villamos Energetika Tanszék
MEE-tag
vokony.istvan@vik.bme.hu



Dr. Bíró József

okl. villamosmérnök
egyetemi tanár
BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
biro@tmit.bme.hu

Bessenyei Tamás, Fábíán Attila,
Markovics Dávid, Tomasics Sára

Rövidtávú kiegyenlítetlenség-becslés gépi tanuló eljárásokkal Ár-optimalizált mFRR aktiválás

A kiegyenlítő szabályozás során igénybe vett tartalékok mennyisége folyamatosan növekszik. Az elmúlt néhány hónapban rekordnagyságú kiegyenlítetlenség volt megfigyelhető, miközben az aFRR tartalékok mennyisége korlátos, így azok kimerülése akár néhány éven belül bekövetkezhet. A MAVIR ezért nagyobb arányban kíván mFRR tartalékot felhasználni, melyhez a kiegyenlítetlenség előrebecslése szükséges. Az ezen alapuló ún. proaktív eljárásrendet jelenleg még csak néhány rendszerirányító alkalmazza. A megvalósított mFRR tool alkalmazás gépi tanuló algoritmusok segítségével 1 órás előretékinéssel adja meg a kiegyenlítetlenség legvalószínűbb értékét. A determinisztikus becslés mellett valószínűségi előrejelzés is történik. Ezen eredményekre további tanácsadó jellegetű funkciók épülnek, melyek a rendszerirányító mérnökök munkáját segítik mFRR aktiválási javaslataikkal.

The amount of reserves used for balancing purpose are continuously increasing. During past months record-breaking imbalances were observed, however the available amount of aFRR reserves are limited and these may become exhausted in the coming few years. The Hungarian TSO (MAVIR) has decided to use a higher proportion of mFRR reserves which necessitates the ability to forecast the imbalances. Currently only a few TSOs use an imbalance forecast-based proactive mFRR activation process. The implemented mFRR tool provides the expected value of imbalance in hourly horizon, using a machine learning method. Based on the result the tool recommends security based and/or price-optimised mFRR activation for system operators.

1. BEVEZETÉS

A villamosenergia-rendszer kiegyenlítetlensége a rendszer fontos jellemzője a teljesítményegyensúly állapotára vonatkozóan. A kiegyenlítő szabályozás révén a rendszerirányító jellemzően reaktív eljárás keretében aktiválja a rendelkezésére álló forrásokat. A kiegyenlítetlenség rövidtávú becslése révén lehetőség nyílik a szabályozáshoz felhasznált különböző termékek ár-optimalizálására, és a tartalék hiányos időszakok előrejelzésére.

A bemutatásra kerülő gépi tanuláson alapuló becslési eljárás, és az erre épülő tanácsadó funkciók segítséget nyújtanak a rendszerirányítást végző mérnökök számára, hogy a rendelkezésre álló (és egyre szűkülő) szabályozási kapacitásokat optimálisan lehessen felhasználni.

2. EGYENSÚLY A VILLOMOSENERGIA-RENDSZERBEN

2.1. Kiegyenlítő szabályozás

A villamosenergia-rendszer teljesítményegyensúlyának fenntartása az ellátásbiztonság fontos kritériuma. Az egyensúly

biztosítását, mint legfontosabb feladatukat az átvitelirendszer-üzemeltetők (TSO-k) normál üzem során a kiegyenlítő szabályozási szolgáltatások igénybevételével végzik. A magyar villamosenergia-rendszerben (VER) a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (MAVIR) felelőssége ezen feladat elvégzése a legkisebb költségek elvét követve. A piaci szereplők, akik kiegyenlítő szabályozási tartalék szolgáltató egységgel vagy szabályozási központtal rendelkeznek és szolgáltatást tudnak felajánlani a TSO-nak, a kiegyenlítő szabályozási szolgáltatók (BSP-k) [1].

A kontinentális európai villamosenergia-rendszerben előírtaknak megfelelően alapvetően három kiegyenlítő szabályozási szolgáltatás terméket különböztetünk meg funkciójukat, műszaki paramétereiket illetően: frekvencia-tartási tartalék (frequency containment reserve, FCR), frekvencia-helyreállítási tartalék (frequency restoration reserve, FRR), ami az aktiválás módja szerint lehet automatikus (aFRR) és manuális (mFRR), valamint helyettesítő tartalék (replacement reserve, RR) [2].

- FCR: A névleges frekvenciától (50 Hz) eltérő üzemi frekvencián, a frekvencia-eltérés mértékétől és előjelétől irányban automatikusan, legfeljebb 30 másodperces válaszüddel aktiválásra kerül [3].
- FRR: hatásosteljesítmény-tartalék, célja a frekvencia-eltérés megszüntetése és a határkeresztező export-import teljesítmény, illetve villamos energia szaldó menetrendi értéktől való eltéréseinek minimalálása [4]. Az aktiválás módja alapján lehet:
 - aFRR, ami automatikusan a szabályozási jel kiadásától számított 15 perc alatt aktiválható
 - mFRR, az utasítás kiadásától számított 15 perc alatt aktiválható, legalább 10 MW/15 perc teljesítményváltotási képességgel (gradiens) rendelkező tartalék, illetve az mFRR 12,5 perces termék pedig olyan mFRR kiegyenlítő szabályozási kapacitás, ami távparancskiadásával, a kiadástól számított 12,5 perc alatt aktiválható, legalább 1 MW/perc gradienssel rendelkezik [3].
 - RR: „az a rendelkezésre álló hatásosteljesítmény-tartalék, amely helyreállítja vagy támogatja az FRR előírt szinten tartását, felkészülve ezáltal a rendszer további kiegyenlítetlenségére” [2].

A kiegyenlítő szabályozás részeként a MAVIR 2020. március 10-től vesz részt a valósidejű nettósításban az IGCC (International Grid Control Cooperation) keretében. A kooperáció célja, hogy az együttműködő TSO-k által alkotott régióon belül az egyes TSO-k által irányított szabályozási területek egyidejű, ellentétes irányú kiegyenlítetlenségei kerüljenek nettósításra. Ennek eredményeként az egy adott szabályozási területen belüli kiegyenlítő szabályozási energia aktiválást megelőzően a TSO-k által alkotott régióban az ellentétes irányú kiegyenlítetlenségek kioltásra kerülnek egymással (nettósítás) az előre megadott korlátok szerinti mértékig. Kizárólag ezt követően, a fennmaradó kiegyenlítetlenség mértékéig kerül kiegyenlítő szabályozási energia aktiválásra [5].

Európában jelenleg a teljesítmény-frekvencia szabályozási struktúrát tekintve ún. proaktív, illetve reaktív eljárásrend van alkalmazásban.

A proaktív eljárás keretében az egyes TSO-k előrejelzési, becslési mechanizmusokat dolgoznak ki és alkalmaznak, amelyek eredményeként a szabályozási területükre vonatkozó várható kiegyenlítetlenségre vesznek igénybe először lassabb aktiválási idejű (mFRR és RR) kiegyenlítő szabályozási energiát, majd az aFRR szabályozás időtávjában az igénybevételhez képest fennmaradó kiegyenlítetlenségre szabályoznak (pl.: belga rendszerirányító). Az ilyen rendszerekben az

mFRR és RR kiegyenlítő szabályozás mértéke jelentősebb az aFRR szabályozáshoz képest, továbbá előfordulhat, hogy a lassabb szabályozás keretében igénybe vett kiegyenlítő szabályozási energiával ellentétes irányban kell aFRR kiegyenlítő szabályozási energiát aktiválni [6] [7].

A MAVIR által is alkalmazott reaktív eljárás keretében az egyes TSO-k a szükséges kiegyenlítő szabályozási igénybevétel minimalizálása és a kialakuló területi szabályozási hiba szerinti okozathelyes aktiválás érdekében alapvetően aFRR aktiválást alkalmaznak, majd amennyiben annak tehermentesítésére van szükség, vagy időbeli korlát merül fel, akkor kerül mFRR-ből, vagy (ahol van) RR-ből származó kiegyenlítő szabályozási energia aktiválásra [6] [7]. A reaktív szabályozás fontos ismérve, hogy a rendszerben már fellépett szabályozási igényekre reagál.

2.2. Kiegyenlítetlenség alakulása

A villamosenergia-termelésre, -fogyasztásra, import-export kereskedésekre vonatkozó menetredek összesítése alapján tervezi a TSO a villamosenergia-rendszer üzemét. Mivel a menetredek, illetve a tényleges fogyasztások és termelések eredője általában eltérnek egymástól, a rendszerszinten úgynevezett kiegyenlítetlenség keletkezik (termeléstöbblet vagy hiány).

A kiegyenlítő szabályozás feladata, hogy a menetrend szerinti, tervezetten egyensúlyban lévő termelés és fogyasztás tényleges alakulása során az esetlegesen kialakuló kiegyenlítetlenséget a lehető legkisebb költségen szüntesse meg a rendelkezésre álló tartalékok igénybevételével. Mindezt valós időben a tartalékok merit order lista (ársorrend) szerint aktiválásával végzi.

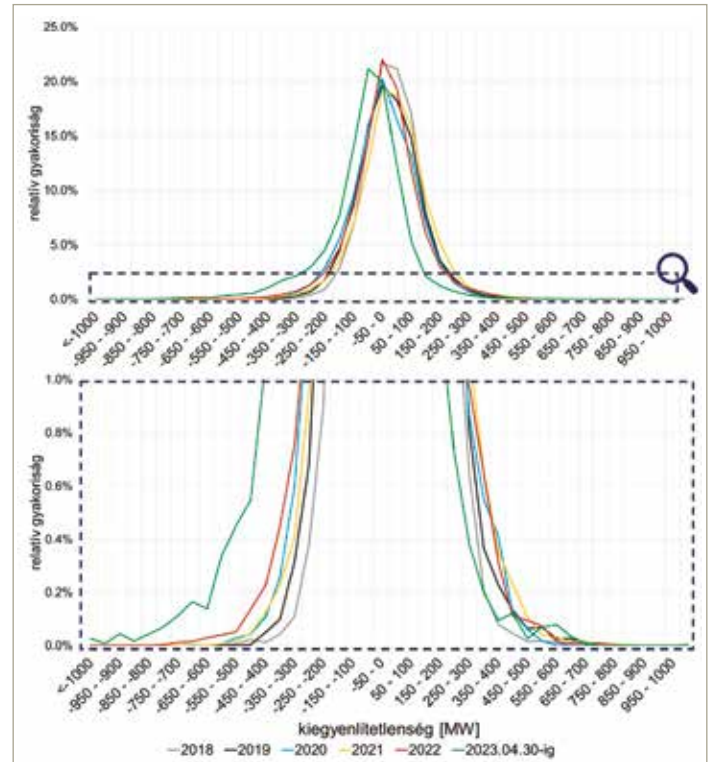
Rendszerszinten, az adott pillanatot jellemző kiegyenlítetlenség, az aktuálisan felmerülő teljes szabályozási igény, mely az aktivált szabályozási teljesítmények és szabályozás hibájának összegeként határozható meg.

A hazai villamosenergia-rendszer forrásszerkezetének átalakulásával, az időjárásfüggő PV termelés részarányának erőteljes növekedésével, a menetrendezési bizonytalanságok jelentősen megnövekedtek. Ezt jól mutatja, hogy az utóbbi években növekvő gyakorisággal jelennek meg akár 400 MW-ot is meghaladó, negyedórás átlag kiegyenlítetlenségek.



1. ábra Jelentős mértékű kiegyenlítetlenségek darabszáma

Általánosságban elmondható, hogy a kiegyenlítetlenség évről évre nagyobb gyakorisággal érint nagyobb teljesítménytartományokat, amely egy folyamatosan növekvő szabályozási igényt okoz. 2023 márciusában többször is rekord kiegyenlítetlenség volt megfigyelhető, melynek mértéke március 13-án negatív irányban 1089 MW volt.



2. ábra Kiegyenlítetlenségi tartományok eloszlása

A hazai kiegyenlítő szabályozási képességek limitáltak, így növekvő tartalékigények melletti rendelkezésre állásuk biztosítása egyre nagyobb kihívást és költséget jelent. Éppen ezért a szabályozási képességek hatékony kihasználása növekvő kényszerként lép fel a MAVIR szempontjából. Reaktív szabályozást alkalmazó TSO-ként, a jelenlegi szabályozási struktúra fenntartása mellett, az aFRR igények folyamatos növekedése végül a hazai képességek kimerülését hozhatják pár éven belül. A folyamat erősen függ a PV beépülések ütemének gyorsaságától.

A várható hiányok elkerülése érdekében a MAVIR a hazai képességek tekintetében a nagyobb arányban elérhető mFRR hatékonyabb felhasználását tűzte ki célul. Proaktív szabályozás alkalmazásához azonban a várható kiegyenlítetlenség pontos ismerete szükséges, ellenben a szabályozási energia igénybevétel mennyisége ily módon sem minimalizálható és akár ellentétes irányú igénybevételek is keletkezhetnek.

3. KIEGYENLÍTETLENSÉG ELŐREJELZÉS GÉPI TANULÁSSAL

Ahogy fent bemutatásra került, a villamosenergia-rendszer kiegyenlítetlensége a mérlegkörök menetrendezési hibáiból és a kereskedési tökéletlenségekből adódik. Mivel a menetredeket professzionális szakértők nagy odafigyeléssel készítik, ezek hibája általánosságban nehezen becsülhető előre, ugyanakkor adatalapú megközelítéssel lehetséges rövid és hosszú távú trendek megfigyelése a kiegyenlítetlenség alakulásában. A következőkben ennek módszerei és tapasztalatai olvashatók.

3.1. Kiegyenlítetlenség becslés szakirodalmi előfordulása

A megújulók terjedésével a különböző intermittens energiaforrások előrejelzésével foglalkozó cikkek száma drasztikusan megugrott, a rendszerintegrációt azonban hiába övezi nagy érdeklődés, az egyre növekvő szerephez jutó kiegyenlítetlenség előrejelzése csak elvétve jelenik meg

szakirodalomban. Garcia és Kirschen (2004) munkája [8] említhető meg elsőként, amelyben ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average) és ANN (Artificial Neural Network) modelleket hasonlítottak össze heti és havi előretartással. Magyarázó változóként fogyasztás előrejelzést, annak hibáját, kereskedési adatokat (határidős ügyletek, kapuzárási egyensúlyhiány volumeneit, ajánlati mennyiségeket stb.), kiegyenlítőenergia-árakat és a hét napjait vették figyelembe. Megfogalmazták, hogy a neurális hálók jobban teljesítenek, mint a lineáris modellek, azonban egyértelmű javaslatot nem tettek a neurális háló típusára.

Kratochvíl disszertációjában [9] a cseh villamosenergia-rendszerben a kiegyenlítőenergia-volumen mellett annak árát is vizsgálta, magyarázó változóként felhasználta a napon belüli (intraday) piaci árakat, fogyasztásbecsléseket, kiegyenlítőenergia-árakat, a német PV és szélenergia termelési adatokat, valamint a termelés és import-export menetrendeket. Rövid távú előrejelzéseikhez egyszerű lineáris modelleket használt, magát a kiegyenlítőenergia becslést pedig klasszifikációs problémaként értelmezte, ezért öt diszkrét kategóriába sorolt kimeneteket produkált, nem folytonosakat. Megállapította többek között, hogy a két óránál régebbi adatoknak már kevés magyarázóereje van.

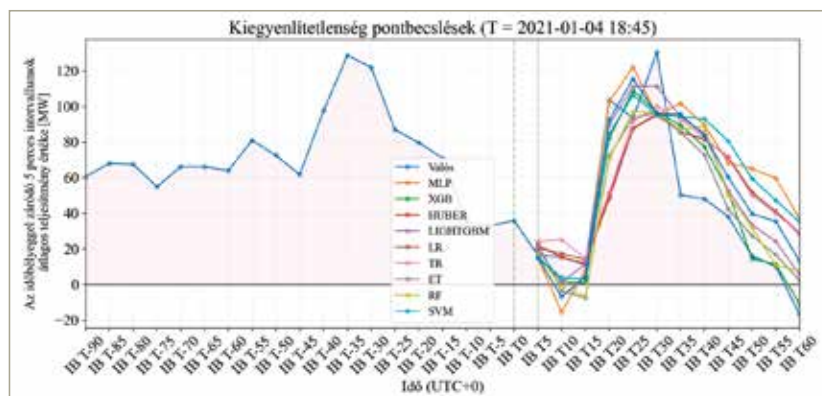
Contreas MSc (2016) [10] nem rendszerirányítás, hanem villamosenergia-kereskedési stratégia szempontjából közelítette meg a témát, időjárásfüggő megújulókat is menedzselő kereskedő cégek intraday kereskedésének optimalizálására. Genetikus algoritmussal optimalizált Random Forests (véletlen erdők) algoritmust alkalmazott órás felbontással. Magyarázó változói között szerepeltek többek között fogyasztás, hőmérséklet és szélenergia előrejelzések, kereskedelmi adatok. Ez esetben az is egyértelműen kiderült, hogy a közelmúlt kiegyenlítőenergia adatait nem vette figyelembe. Elemzésében a tesztidőszakban megtakarított kiegyenlítőenergia költségeket is kiszámolta.

Tárik S. és társai cikkükben (2019) [11] röviden bemutatták a témában elkezdett munkájukat. Ismereteink szerint elsőként ők publikáltak valószínűségi becslést a témában, amely során kétévnyi norvég adatsoron dolgoztak, öt és 120 perc közötti előretartással, ötperces granularitással. Magyarázó változóként használták a historikus kiegyenlítőenergia adatait, időbeli tulajdonságokat, energiapiaci árakat, HVDC áramlási, termelési és terv adatokat, környezeti jellemzőket (hőmérséklet, szél, valamint folyami áramlások). Erős és bizonyos mértékig előre látható mintákat tapasztaltak, a tisztán historikus kiegyenlítőenergia adatok alapján készített előrejelzéseik is jobbnak bizonyultak a TSO akkori módszereinél.

3.2. Kiegyenlítőenergia becslés módszertana a MAVIR-nál

A jelenleg alkalmazott módszertan előkészítő elemzése egy 2021-es TDK dolgozatban [12] bővebben is olvasható. A módszertan két fő részre bontható. Egyrészt egy determinisztikus becslésre, amely MLP (Multilayer Perceptron) neurális háló és XGBoost (Extreme Gradient Boosting) algoritmus kombinálásával áll elő, célja a kiegyenlítőenergia lehető legpontosabb előrejelzése. A másik terület a valószínűségi előrejelzés, amelyre a Scikit-learn GBR (Gradient Boosting Regression) algoritmusát alkalmazzuk. Utóbbi célja az egyórás $T_{+5} \rightarrow T_{+60}$ között minden ötpercre egy megadott valószínűségű intervallum becslése, amely felső és alsó határa között várható a kiegyenlítőenergia értéke.

A 12 db ötperces intervallumra külön kerülnek betanításra az algoritmusok, de ugyanazon adatokon. A magyarázó változók között szerepelnek a közelmúlt kiegyenlítőenergia értékei, időpont, rendszerterherelés, napenergia termelés, import-export menetrendek, valamint további képzett, főként gradiens jellegű változók, amelyek célja a menetrendváltások során kialakuló determinisztikus frekvencia hiba (DFD) jelzése. Az algoritmusok és a prediktorok kiválasztásában az említett elemzés volt mérvadó, amelyben a pontbecslések bevett mutatószámokkal, a kvantilis regresszió pedig az intervallumok szélessége és teszt pontossága, valamint egy erre kialakított tesztkörnyezetben elérhető mFRR aktiválások és az esetleges okozott keresztszabályozás alapján lettek értékelve.



3. ábra Különböző algoritmusok becslési eredménye

Jelenleg egyévnnyi tanító adatsorral dolgozunk rendszeres, valamint komoly változások esetén egyedi jellegű újratanítással. Fontos kiemelni, hogy gépi tanulás lévén a korábbiaktól drasztikusan eltérő események modellezésére kevésbé alkalmas a módszertan, így tehát a kiugró menetrendezési hibák felismerése sem elvárható.

4. A KIEGYENLÍTŐENERGIA BECSLÉS EREDMÉNYÉNEK FELHASZNÁLÁSA

Az előző fejezetben említett kiegyenlítőenergia becslés egy önálló, Python nyelven írt modulban lett megvalósítva. A bemenő adatai jellemzően 5 perces átlagok, és ennek megfelelően a kimenete is a becsült kiegyenlítőenergia 5 perces átlag értékei (1 órás előretartással). Amint említettük, nemcsak a kiegyenlítőenergia várható értékének, hanem a 80% és 90%-os alsó és felső konfidenciasávnak a becslése is megtörténik. Ez utóbbinak a 4.2. fejezetben bemutatott ár-optimalizált mFRR aktiválás során lesz majd szerepe.

A MAVIR-nál megvalósított **mFRR tool** alkalmazás a kiegyenlítőenergia becslés eredményeit felhasználva kétféle módon nyújt támogatást a rendszerirányító mérnökök számára a mindennapi munka során. Az egyik ilyen funkció, az *alacsony forgó tartalék figyelés*, a másik pedig az *ár-optimalizált mFRR aktiválás*. Mindkét funkciónak az a feladata, hogy a kiegyenlítőenergia várható alakulásának ismeretében „előre” mFRR aktiválást javasoljon. Az mFRR termék előzőekben ismertetett tulajdonságai miatt ugyanis legalább 35 percre előre ismerni kell a kiegyenlítőenergia várható értékét az mFRR mennyiség aktiválásához:

- az mFRR termék aktiválására vonatkozó utasítást legalább 15 perccel hamarabb kell kiadni, mint annak a negyedórának a kezdete, amire az utasítás vonatkozik
- és az mFRR termék aktiválása (vagyis az igényelt teljesítmény folyamatos tartása) minimum egy negyedórán keresztül tart.

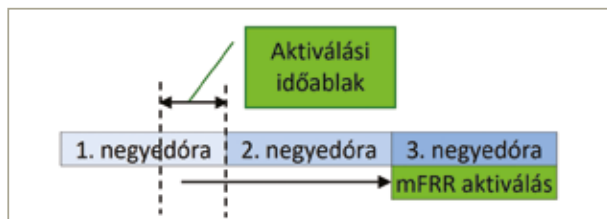
4.1. Alacsony forgó tartalék figyelés

A villamosenergia-rendszer biztonságos és megfelelő minőségű üzemeltetése szempontjából fontos, hogy mindig elegendő mennyiségű forgó tartalék (aFRR) álljon rendelkezésre. Az előírt tartalék mennyisége minden időszakban – szimmetrikusan – 90 MW. Amennyiben az aFRR mennyisége lecsökken, akkor megfelelő irányú mFRR aktiválással lehetséges a forgó tartalék szintjét az előírt értékre visszaállítani. A MAVIR belső szabályozása szerint el kell kerülni, hogy 3 egymást követő negyedórán is az előírt határérték alatt legyen az aFRR tartalék mennyisége.

Figyelembe véve az mFRR termék tulajdonságait, ahhoz, hogy a 3. negyedóra megfelelő mennyiségű mFRR-t lehessen aktiválni, az aktiválásról szóló döntést már az 1. negyedóra vége előtt meg kell hozni. (4. ábra)

Ez azt jelenti, hogy nincs idő „megvárni”, hogy egymás után két negyedórán is alacsony legyen az aFRR tartalék mennyisége, sőt, az ábra alapján már az első negyedóra 10. perce után meg kell hozni a döntést az esetleges mFRR aktiválásról.

Tekintettel arra, hogy az aFRR szolgáltatást nyújtó egységeknek ismert az aktuális munkapontja, és az üzemi alsó és felső határértéke, így kiszámítható, hogy adott időpontban mekkora az éppen rendelkezésre álló aFRR (mindkét irányban) mennyiség.



4. ábra mFRR aktiválási időablak alacsony forgó tartalék esetén

Ez alapján minden negyedóra 10. percében meghatározható, hogy az elmúlt 10 percben átlagosan mennyi volt az aFRR irányonként. Ha ez a mennyiség – már ekkor – az előírt határ alatt van, akkor jó eséllyel a negyedóra végén is ez lesz a helyzet, vagyis az 1. negyedóra már aFRR hiányos lesz. Ezt az eseményt trigger feltételnek tekintve, egymásba ágyazott IF... THEN szerkezetek segítségével eldönthető, hogy szükséges-e mFRR-t aktiválni a 3. negyedóra, és ha igen, akkor milyen mértékben. Ehhez a következtetés-lánchoz azt használjuk fel, hogy ha a kiegyenlítetlenség (abszolút értékben) növekvő tendenciájú, akkor várhatóan csökkenni fog az aFRR mennyisége, míg csökkenő kiegyenlítetlenség esetén a tartalék mennyisége növekszik. (Tapasztalat alapján ugyanis a forgó tartalékot nyújtó gépek menetrendjének – munkapontjának – változása sem mértékében, sem változékonyságában nem jelentős a kiegyenlítetlenség változásához képest.) Ezek alapján a következő két negyedóra az vizsgáljuk, hogy az 1. negyedórához képest:

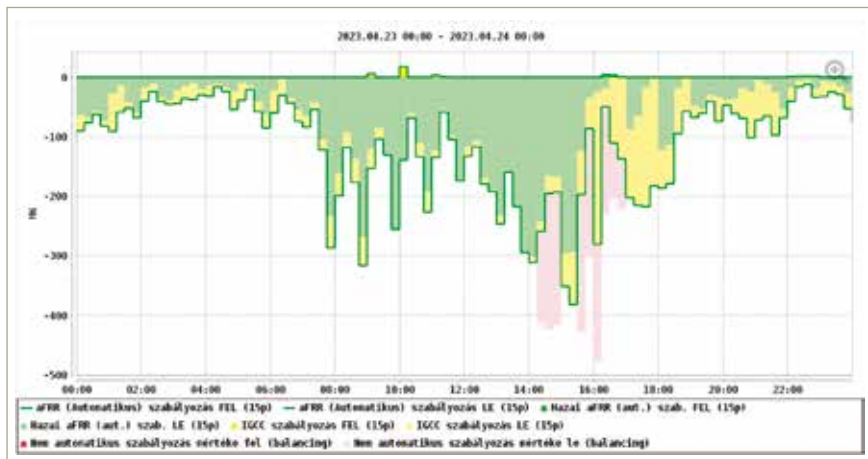
- a kiegyenlítetlenség várható értékének negyedórás átlaga hogyan alakul (növekszik/csökken/stagnál)
- továbbá ezt figyelembe véve hogyan változik az aFRR becsült mennyisége (növekszik/csökken/stagnál)

Ezen információk és az egyes negyedórák sorrendisége alapján meghatározható, hogy a 3. negyedóra vonatkozóan szükséges-e mFRR utasítás kiadása. Az aktiválandó mFRR mennyiségének meghatározásához a kiegyenlítetlenség vár-

ható értékén és az aFRR becsült értékén kívül az előírt határértéket és erre vonatkozó toleranciasávokat is alkalmazunk. A megvalósított mFRR aktiválási logika célja, hogy elkerülhető legyen a „felesleges” igénybevitel, de ugyanakkor elkerülhető legyen az is, hogy 3 egymást követő negyedórán is alacsony legyen a rendelkezésre álló forgó tartalék mennyisége.

4.2. Ár-optimalizált mFRR aktiválás

A rendszerirányító IGCC (sárga), aFRR (zöld), és mFRR (piros) termékeket vesz igénybe kiegyenlítő szabályozás céljából. (5. ábra)



5. ábra Aktiválás kiegyenlítő szabályozás céljából

Ezen termékek mind dinamikájukban, mind árazásukban eltérő tulajdonságúak. Ezek a jellemzők az 1. táblázatban láthatók.

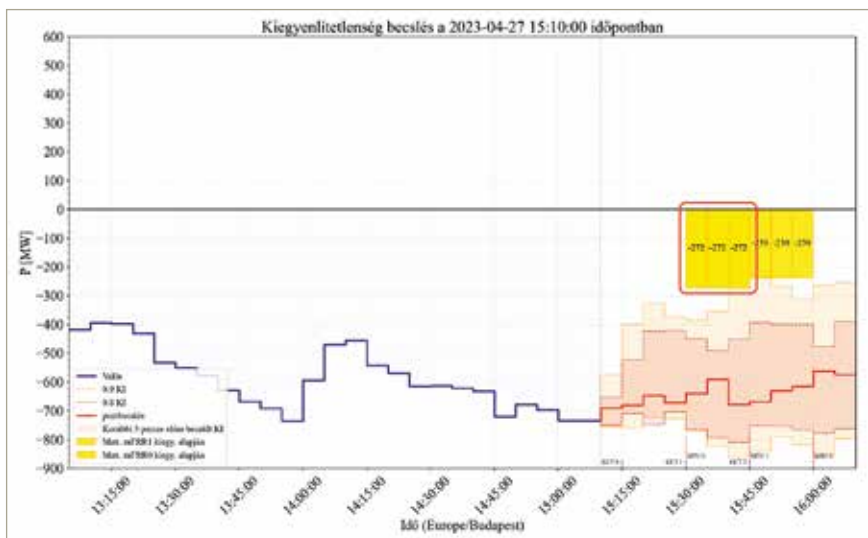
1. táblázat Kiegyenlítő szabályozáshoz használt termékek általános jellemzői

Termék	Dinamika	Jellemző ár	Rendelkezésre állás
IGCC	gyors	olcsó	sztochasztikus
aFRR	lassabb	legdrágább	folyamatos*
mFRR	leglassabb	drágább	folyamatos*

*lokálisan rendelkezésre áll a tartalékbeszerzés keretében meghatározott mértékig

A kiegyenlítő szabályozáshoz elsősorban IGCC-t és aFRR-t használ a rendszerirányító, és mFRR-t csak reaktív jelleggel, az aFRR pótlására aktivál. Az aFRR és mFRR termékek ár-sorrendje (merit order list – MOL) a jelenlegi beszerzési eljárások alapján legfeljebb óránként változhat (mennyiség és ár párosok), és a szállítási időszak előtt 1 órával történik a kapuzárás.

Amennyiben ismert a kiegyenlítetlenség várható alakulása és az aFRR és mFRR MOL listák is rendelkezésre állnak, akkor megvizsgálható, hogy adott (jövőbeli) negyedóra vonatkozóan az aFRR és mFRR termékek milyen arányú kombinációja jelent kisebb költséget. Ennek megfelelően, a megvalósított ár-optimalizált mFRR aktiválás folyamat lépései a következők: 1. A becsült kiegyenlítetlenség 90%-os konfidencia sávja alapján a következő (utáni) 2 negyedóra meghatározásra kerül az az mFRR mennyiség, melynek aktiválása 90%-os valószínűséggel nem okoz keresztszabályozást. (Ezáltal elegendő teret hagyunk az IGCC számára is.) A 6. ábrán a kék vonal jelenti a tény kiegyenlítetlenséget, a piros vonal a becsült kiegyenlítetlenség legvalószínűbb értékét, a barnás terület pedig a 80%, illetve 90%-os konfidencia

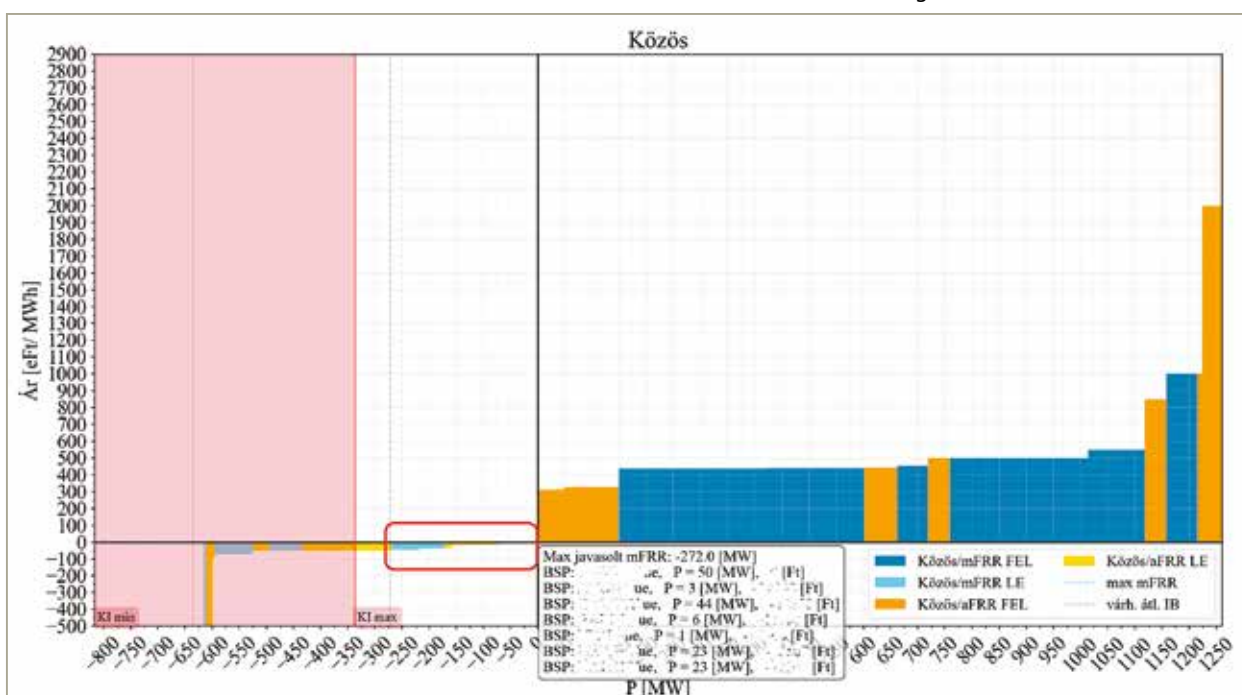


6. ábra Elvi maximális mFRR mennyiség meghatározása (kereszt szabályozás nélkül)

sávokat. Sárga oszlopok jelölik a kereszt szabályozás nélkül aktiválható, elvi maximális mFRR-t.

2. Az ezen időszakra érvényes aFRR és mFRR MOL-ok alapján kiszámításra kerül, hogy ezen mFRR mennyiségnek mekkora része az, amelynek aktiválási költsége olcsóbb lenne, mintha ugyanezt a mennyiséget aFRR-ből kellene aktiválni. A 7. ábrán narancssárga jelöli az aFRR és kék az mFRR ajánlatokat a közös (sorba rendezett) MOL-ban.

3. Az így meghatározott ár-optimalizált mFRR mennyiség az mFRR MOL lista alapján szétosztásra kerül az egyes utasított egységek között. (Az utasított egységek neve üzleti okokból törölve.)



7. ábra Aktiválendő mFRR meghatározása a közös aFRR-mFRR MOL alapján

Aktiválendő mFRR szétosztás:

15:30-15:45		15:45-16:00	
UE	MW	UE	MW
[UE]	-50	[UE]	-50
[UE]	-3	[UE]	-3
[UE]	-44	[UE]	-44
[UE]	-6	[UE]	-6
[UE]	-1	[UE]	-1
[UE]	-23	[UE]	-16
[UE]	-23		

8. ábra Aktiválendő mFRR szétosztása az utasított egységek között

A megvalósított funkció 2 egymást követő negyedóra ad ár-optimalizált mFRR javaslatot. A kiegyenlítetlenség becslés bizonytalanságát figyelembe véve a távolabbi negyedóra adott javaslat inkább csak tájékoztató jellegű. Ez pl. akkor nyújt segítséget, ha arról kell dönteni, hogy érdemes-e egy álló gépet elindítani. Ilyen esetben már látható, hogy várhatóan nem csak 1, hanem legalább 2 negyedóra lesz igénybe véve a gépegység.

4. EREDMÉNYEK

A megvalósított **mFRR tool** alkalmazás riportálási funkcióval is rendelkezik, hogy nyomon követhető legyen mind a kiegyenlítetlenség becslés, mind pedig az erre épülő funkciók működése, pontossága.

4.1. Kiegyenlítetlenség becslés eredmények

A kiegyenlítetlenség becslés pontosságát („jóságát”) több mutatóval is jellemezhetjük, mint pl.: konfidenciasáv átlagos

zélessége, valós konfidenciaszint, négyzetes hiba (RMSE), átlagos abszolút hiba (MAE) stb.

A pontosság mutatók hónapról hónapra változnak attól függően, hogy hogyan alakult a kiegyenlítetlenség, mennyire (és milyen gyakran) voltak szélsőséges értékek. A 2023. április hónapra vonatkozó néhány mutatót a következő táblázat tartalmazza:

2. táblázat Néhány becslés pontosság mutató – 2023. április

Mutató	T5	T10	T15	T20	T25	T30
RMSE	30	41	50	58	67	73
MAE	20	29	35	41	47	51

Mutató	T35	T40	T45	T50	T55	T60
RMSE	80	85	90	93	97	101
MAE	55	59	62	65	68	70

A T5, T10, ... T60 oszlopok jelentése: T+5, T+10, ... T+60 percre előre becsült adatokra vonatkozó RMSE és MAE értékek (MW mértékegységben). A kapott eredményeket a többi mutatóval együtt a kiegyenlítetlenség becslés hangolása során használjuk fel.

4.2. Alacsony forgó tartalék eredmények

A következő táblázat 2023 egyes hónapjaira mutatja, hogy LE (negatív) és FEL (pozitív) irányban hány esetben volt olyan negyedóra, amikor a forgó tartalék szintje alacsony volt. A további oszlopok azt mutatják, hogy hány esetben javasolt a megvalósított funkció mFRR aktiválást, illetve ez összesen hány MWh mFRR-t jelentett.

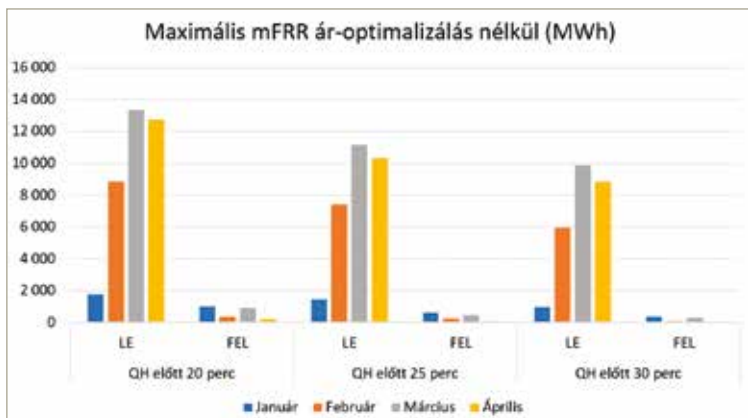
3. táblázat Alacsony forgó tartalék miatt javasolt mFRR aktiválások

Hónap	Összes futásidő (nap)*	Alacsony forgó tart. negyedórák		Aktiválási javaslatok száma		Aktiválásra javasolt mennyiség	
		LE	FEL	LE	FEL	LE	FEL
Január	10,0	3	7	0	2	0	20
Február	18,8	38	9	8	1	181	32
Március	20,6	70	8	19	3	507	61
Április	23,2	60	1	15	0	371	0

* Az adott hónapban ennyi ideig futott az mFRR tool a teszt rendszeren.

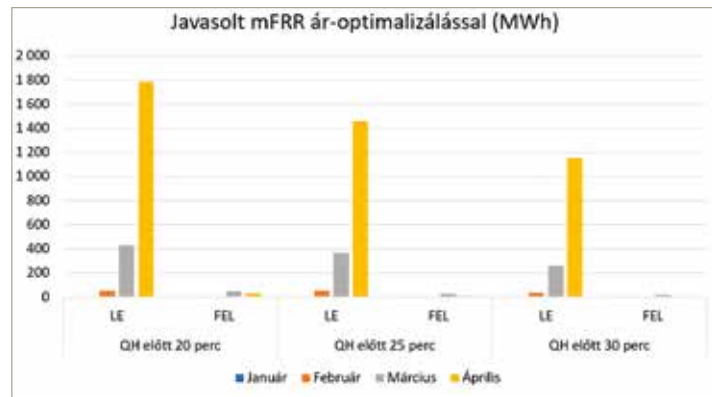
4.3. Ár-optimalizált mFRR aktiválás eredmények

A következő ábrák 2023 egyes hónapjaira mutatják, hogy LE és FEL irányban (az adott negyedóra „QH” előtt 20, 25, illet-



10. ábra Maximálisan aktiválható mFRR ár-optimalizálás nélkül

ve 30 perccel) hogyan alakult az mFRR aktiválási javaslat. A 9. ábra azt mutatja, hogy az aFRR és mFRR MOL listák figyelembevétele nélkül – csupán a kiegyenlítetlenség becslés eredményeként – maximálisan mennyi mFRR-t lehetett volna aktiválni keresztszabályozás nélkül. A 11. ábra az aktuálisan érvényes aFRR és mFRR MOL listák figyelembevételével mutatja a javasolt mFRR mennyiségeket.



10. ábra Ár-optimalizált mFRR aktiválási javaslat

- Az ábrák alapján jól látható, hogy:
- mindhárom hónapban jellemzően LE irányú szabályozási igénybevétel történt
 - az aktuális negyedóra előtt 20 perccel nagyobb a javasolt mFRR mennyiség, mint 25, illetve 30 perccel
 - az árak figyelembevétele jelentősen csökkenti az aktiválásra javasolt mFRR mennyiséget
 - az egyes hónapok ár-optimalizált mFRR javaslatai között jelentős eltérés adódhat az árázás miatt: pl. márciusban és áprilisban az ár-optimalizálás nélküli maximális mFRR mennyiség LE irányban közel azonos volt (13 GWh körüli), azonban az árak figyelembevételével javasolt mennyiség márciusban (kb. 400 MWh) kevesebb, mint a negyede volt az áprilisi (1800 MWh) mennyiségnek.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott mFRR tool alkalmazás révén megvalósult az aFRR és mFRR piacok közötti költség-optimalizáció, és a forgó tartalék üzembiztonsági szint alá csökkenésének automatikus figyelése. A rendszerirányító mérnökök számára további segítséget nyújt az aktiválandó mFRR mennyiség automatikus szétosztása az utasított egységek között.

Az alkalmazott algoritmusok elfogadható pontosságúak és további fejlesztésük folyamatosan zajlik.

A közeljövőben további változások várhatók a kiegyenlítő szabályozási energia piacon: az ajánlatbeadási lead-time-ok 1 órától 20 percre csökkennek, az ajánlatok termékidőszaka 1 órától 15 percre csökken, továbbá a sávós árázás lehetősége is bevezetésre kerül. Ezek a változások az alkalmazás továbbfejlesztését igénylik, melynek része az mFRR aktiválási utasítások gép-gép kapcsolaton keresztül automatikus kiküldése.

Távolabbra tekintve, a PICASSO és MARI platformokhoz történő csatlakozás lesz a következő mérföldkő, amely az alkalmazás újabb továbbfejlesztését fogja igényelni.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **A Bizottság (EU) 2017/2195 rendelete**: (2017. november 23.) a villamos energia kiegyenlítő szabályozására vonatkozó iránymutatás létrehozásáról (EGT-vonatkozású szöveg). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A32017R2195>

- [2] **A Bizottság (EU) 2017/1485 rendelete:** (2017. augusztus 2.) a villamos-energia-átviteli hálózat üzemeltetésére vonatkozó iránymutatás megalkotásáról (EGT-vonatkozású szöveg) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1485>
- [3] **MAVIR: Nemzetközi Üzemi és Kereskedelmi Szabályzat. Kiegyenlítő szabályozási szolgáltatókra, valamint a mérlegkörfelölőkre vonatkozó feltételek. 15. sz. módosítás** https://www.mavir.hu/documents/10258/245453120/N%C3%9CKSZ_3.1.22_t%C3%A1rol%C3%B3_p%C3%A1ly%C3%A1z_at_fogymenetrendez%C3%A9s_egy%C3%A9b.pdf/0e67a94b-f76c-c6b0-c1a0-cd6cbed2b902?t=1669221307982
- [4] **MAVIR Üzemi Szabályzat. M32.kiadás** https://www.mavir.hu/documents/10258/246000866/%C3%9CSZ_M32_T%C3%B6rzs%C3%B6veg_20230406_clean.pdf/d36e642f-bef1-5e6d-7c1c-11238f24f358?t=1681289151413
- [5] **ENTSO-E: Imbalance netting** https://www.entsoe.eu/network_codes/eb/imbalance-netting/
- [6] **Haberg M., Doorman,G:** *Classification of balancing markets based on different activation philosophies: Proactive and reactive designs*, 13th International Conference on the European Energy Market (EEM) Jun. 2016, doi: 10.1109/eem.2016.7521272.
- [7] **Haberg M., Doorman,G:** *Proactive planning and activation of manual reserves in sequentially cleared balancing markets*, Oct. 2017, 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC). doi: 10.1109/epec.2017.8286186
- [8] **M. P. Garcia and D. S. Kirschen,** *Forecasting system imbalance volumes in competitive electricity markets*, 2004 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, vol. 3, pp. 1805–1812, 2004, doi: 10.1109/PSC.2004.1397617.
- [9] **Š. Kratochvíl,** *System Imbalance Forecast*, Prague, 2016. Accessed: Oct. 15, 2021 https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/67662/Disertace_%C5%A0t%C4%9Bp%C3%A1n_Kratochv%C3%ADL_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [10] **C. Contreras,** *System imbalance forecasting and short-term bidding strategy to minimize imbalance costs of transacting in the spanish electricity market*, Madrid, 2016., <http://hdl.handle.net/11531/16621>
- [11] **T. S. Salem, K. Kathuria, H. Ramampiaro, and H. Langseth,** *Forecasting Intra-Hour Imbalances in Electric Power Systems*, 2019, www.aaai.org
- [12] **Markovics Dávid,** Rövidtávú kiegyenlítetlenség előrejelzés gépi tanulással proaktív mFRR szabályozás céljából, BME-TDK 2021 Energetikai modellezés szekció, 2021



Bessenyei Tamás

okl. villamosmérnök, üzletfejlesztő,
Szabályozási szolgáltatás fejlesztési osztály,
MAVIR Zrt.

bessenyeit@mavir.hu



Fábrián Attila

okleveles villamosmérnök,
elemző
MAVIR Zrt.

fabianattila@mavir.hu



Markovics Dávid

energetikai mérnök
üzletfejlesztő
Szabályozási szolgáltatás fejlesztési osztály,
MAVIR Zrt.

markovicsd@mavir.hu



Tomasics Sára

okleveles energetikai mérnök-közgazdász,
elemző
MAVIR Zrt.

tomaticss@mavir.hu

HÍREK

A WAGO sikeresen zárta a 2022-es évet

Visszatérően a Holiday Inn Budapest–Budaörs volt a helyszíne 2023. május 2-án a WAGO Hungaria Kft. szokásos évindító sajtótájékoztatójának. Egy friss eseménnyel indult a sajtótájékoztató, mivel 2023. április 6-án jött létre egy úttörő akvizíció a WAGO cégcsoport történetében és a magyar WattsON Energy energiamenedzsment szoftverfejlesztő cég között, ami mérföldkő a cég életében. Jóllehet már három éve a WAGO cég fogyasztásmérő készülékei ezt a programot használják nem kevés sikerrel, ezért a WAGO cég németországi központja is az akvizíció mellett döntött. A teljes modularitás, pénzügyi modul, valamint havi/éves energiafelhasználás monitorizás tartozik ebbe.

Ugyanakkor egy másik együttműködési megállapodás is létrejött a cégcsoport életében, mégpedig a Bosch Rewroth és a WAGO egyesíti az erősségeit mint rendszer- és technológiai partnerek az automatizálás területén. A Bosch Rewroth nyílt ctrlXOS operációs rendszere a WAGO automatizálási portfóliójának részévé válik.

Hamarosan az e-shop is új feladatokkal bővül. A WAGO webshop nem a végfelhasználóknak szól, de az állandó visszatérő érdeklődés kapcsán az új „Hol vegyem meg?” funkció majd elirányítja az érdeklődőket a kereskedőpartnerek webshopjaiba, ahol meg tudják vásárolni a kívánt termékeket.

Fodor Róbert, a Wago Hungaria ügyvezetője beszámolt arról is, hogy a cég igen sikeres évet zárt. Nemzetközi szinten 2022-



A WAGO Hungaria Kft. és a WattsON Energy ügyvezetője



Fodor Róbert ügyvezető a WAGO-partnerekkel

ben és itthon is, több mint 22%-os árbevétel-növekedést ért el a 2021. évhez képest. Ezt követően a termékújonságok áttekintésére is sor került. A Sajtótájékoztató záró programja, amikor a kereskedőpartnereknek Fodor Róbert megköszöni az évről évre a kiemelkedő támogató eredményeket.

Tóth Éva

A hosszú távú terhelésprognózis aktuális kérdései

A hosszú távú terhelésprognózis jelenlegi európai és MAVIR-os gyakorlata egy hibrid top-down megoldásnak számít: i) historikus terhelés adatok gépi tanuló algoritmusokkal történő elemzése alapján ii) az előrejelzés szcenárióelemzés segítségével készül a klímaévek koncepcióját is felhasználva. Ez a módszer alkalmas óras felbontású, országos szintű terhelésprognózis létrehozására, ami összeurópai piacszimulációs modellek, forrásmegfelelési vizsgálatok és egyéb, elsősorban hosszú távú tervezési feladatok közvetlen bemeneteként használható. Az alkalmazott megoldás sok szempontból megfelel azoknak a követelményeknek, amik egy modern, adatokra építő, valószínűségi alapú előrejelzési módszertannal szemben támaszthatók. Számos olyan terület van azonban, amin érdemes lenne fejleszteni annak érdekében, hogy a legfontosabb stakeholderek igényeinek is megfelelő, illetve a jelentős változások előtt álló villamosenergia-rendszerben is érvényes prognózisokat alkothassunk. Bizonyos értelemben paradigmaváltásra is szükség van, mert a jelenleg alkalmazott módszertan, illetve a mainstream, gépi tanuláson alapuló off-the-shelf módszerek nem kínálnak egyértelmű megoldást erre a konkrét problémára.

Long-term electricity load forecasting is based on a hybrid top-down approach both at ENTSO-E and MAVIR. As a first step we analyze the historical load time series with machine learning techniques. Then forecasting to future years with the concept of climate years is carried out. Finally a scenario-based post-processing step takes place to account for the assumed changes in the underlying system. The applied methodology results in a probabilistic data-driven prediction of the Hungarian load curve that fulfills the requirements of a modern forecasting solution. Nevertheless, there is room for improvement in order to meet the needs of the most important stakeholders and to keep up with the dramatically changing external environment. To some extent a paradigm shift is needed as the current methodology and the mainstream off-the-shelf machine learning algorithms themselves are not the optimal fit for the long-term forecasting problem at hand.

1. BEVEZETÉS

Az európai szinten, és azon belül hazánkban is folyamatban lévő, többek között az Európai Unió által is előremozdított energiaátmenet időszakában (közöbén), és különösen az időjárásfüggő termelők elterjedésével egyre inkább felértékelődik a villamosenergia-rendszer állapotára legnagyobb hatással lévő komponensek átfogó ismerete. Közismert, hogy a nagy komplexitás miatt a rendszer összefüggéseit egyszerűsítő modellek segítségével vagyunk képesek legalább közelítőleg leképezni és értelmezni. Szerencsére ezek a modellek az utóbbi időszakban az adatok, algoritmusok és

számítási kapacitások terén tapasztalt forradalmi fejlődésnek köszönhetően egyre szofisztikáltabbá váltak, és egyre több operatív, valamint tervezési funkció (összefüggések feltárása, becslések, előrejelzések készítése, stratégiaalkotás) ellátására alkalmasak.

A villamosenergia-rendszer főbb komponensei közül a fogyasztási oldal (terhelés) vizsgálata is nagy népszerűségnek örvend. Az utóbbi évtizedben a témakörben ezres nagyságrendben készültek tanulmányok a kis-, közép- és nagyfeszültségű hálózaton megjelenő aggregált terhelésre ugyanúgy, mint alacsonyabb szintű, akár egyedi mérési pontok terhelésére vonatkozóan. Az iparági szereplők közül az engedélyesek is aktívak ezen a területen: például az európai rendszerirányítók jelentős része és az őket összefogó ENTSO-E is aktívan fejleszti terhelésprognózisának módszertanát az iparágon belül elismert akadémiai és piaci partnerek bevonásával. A rengeteg tanulmányon és gyakorlati alkalmazáson túl már a szakterület kihívásairól is készült összefoglaló cikk. A szakirodalmi áttekintést követően [1] megfogalmazza a legfontosabb módszertani és publikációs elvárásokat, amik a magas minőségű kutatási gyakorlathoz elengedhetetlenek (pl. reprodukálhatóság, nyílt adatbázisok, az eredmények megfelelő értékelése, a felmerülő problémákra megfelelő megoldást kínáló módszertani fejlesztések).

A szakirodalmat böngészve az látszik, hogy a *hosszú távú terhelésprognózis* témakörében már jóval kisebb a merítés. Ezzel együtt van példa hosszú távú előrejelző modellekre is: egy aktuális tanulmány [2] az ukrán óras felbontású villamosenergia-fogyasztást modellezi, és többek között 2 évre előretekintő prognózist is megfelelő pontossággal képes készíteni. Egy szintén friss tanulmány [3] szintetikus terhelési görbéket állít elő historikus adatokra neurális háló alapú modell segítségével. Szimulációs és ún. generatív modellek is léteznek, amik a statisztikai modellezés hagyományos gyakorlatától eltérően a mögöttes rendszer struktúrájára és összefüggéseire építve vizsgálják a rendszer egyes elemeit, és képesek szintetikus megfigyelések (előrejelzések) generálására. Végül széles körben elterjedtek azok az eszközök, amik elsősorban szcenárióelemzésre alkalmasak, és egy komplett gazdaság energiaigényét, illetve magát az energiaszektort is részletesen képesek modellezni (például különböző nemzetközi ESM modellek [4-6], vagy a REKK HU-TIMES modellje [7]).

Hosszú távra is érvényes, kellően komplex és megfelelően strukturált modellek nem véletlenül születtek sokkal kisebb számban, ugyanis a hosszú távra történő előretekintéssel azon túl is vannak problémák, hogy a bizonytalanság összehasonlíthatatlanul nagyobb, mint rövid távon. Már mérsékelt komplex modellekben is olyan nagy a paraméterek száma, ami az értelmezhetőséget és így a hosszú távra vonatkozó feltevések transzparens beépítését is rendkívül megnehezíti. Ezen kívül a hosszú távon érvényes modellekben (főleg egy alapjaiban megváltozó mögöttes rendszer esetén) nehéz megteremteni a kapcsolatot a múltbeli adatokkal, ami nehezíti megfelelő mérőszámok megalkotását, és ezen keresztül a feltevések és előrejelzések validációját.

Ez alapján releváns (és kevésbé kutatott) kérdésnek tűnik, hogy a big data és a modern – mesterséges intelligenciaként címkézett – algoritmusok korszakában, egy rendkívül nagy átalakulás előtt álló iparágban: i) mit gondolunk az egyre bővülő adathalmazok hosszú távú prognózisok terén való alkalmazhatóságáról, illetve ii) az adatok kérdését hogyan egészíti ki az alkalmazandó modellekről való gondolkodásunk, és iii) ezen a területen miként lehet kiaknázni a korábban említett forradalmi technológiai fejlődés eredményeit. Rátérve a konkrét problémára: a villamosenergia-rendszert irányító

és annak alakulására érdemi hatást gyakorló szereplőként a MAVIR-nak érdemes azon gondolkodnia, hogy mihez kezdene megfelelően nagy felbontású, elég sok szempontból reprezentatív, mérésből származó terhelési adatokkal¹: i) a közép- és hosszú távú prognóziskészítésben hogyan lehetne ezeket a legjobban hasznosítani; ii) milyen módszertani megoldás, modellkeret, illetve szemlélet az, ami a belső és külső stakeholder igényeknek egyaránt megfelel, illetve egyéb – a hosszú távú terhelésgnózzissal szemben támasztott – elvárásokat is képes teljesíteni.

2. LEGFONTOSABB IPARÁGI TRENDK

Közismert, hogy a megújuló energiaforrások elterjedése és az ennek következtében decentralizált energiatermelés alapjaiban formálja át a villamosenergia-rendszereket. Fontos változás továbbá az is, hogy az elektrifikáció gyorsulása mellett az energiahatékonysági törekvések is hangsúlyos szerepet kapnak már rövid távon. Ezekkel párhuzamosan egyre jelentősebb szerep jut az ún. prosumereknek (olyan fogyasztók, akik a fogyasztás mellett villamos energia előállítására is képesek), az energiaközösségeknek, valamint a fogyasztói rugalmasságnak is, elsősorban a tárolási lehetőségek fejlődésének, illetve célzott piacfejlesztéseknek köszönhetően. Jelen cikk témáját tekintve az sem egy elhanyagolható fejlemény, hogy a mérés tekintetében is jelentős infrastrukturális (szoftver, hardver) fejlesztések várhatók („okosmérés”). A változások következtében a villamosenergia-rendszer általános fejlesztésén és a kapacitások bővítésén túl a rugalmasság is felértékelődik a rendszer szereplői körében. A hosszabb távú tervezés szempontjából ez úgy jelenik meg, hogy az alapjaiban megváltozó struktúra miatt a scenáriók legfontosabb alkotóelemei is változnak, illetve kiegészülnek új elemekkel.

Kimondottan a terhelésgnózzisra fókuszálva ez azt jelenti, hogy a scenáriókban az alábbi faktorok kapcsán világos feltevésekkel kell tudni élni:

i) a villamosenergia-hálózatot *ténylegesen* igénybe vevő fogyasztási kapacitás mértéke a prosumerek, a tárolási lehetőségek és a szigetüzemű energiaellátás elterjedése következtében,

ii) a terhelés rugalmasságának mértéke és jellege (explicit és implicit DSR, érzékeny fogyasztás) illetve

iii) esetleg a szabályozási energia- és kapacitás-piacon megjelenő terhelés mértéke és jellege. A fentiek következtében a terhelésgnózzis lényegét tekintve is átalakulhat: a terhelés rugalmatlan, egyfajta „must-run” jellegű része mellett az azon felüli, rugalmas részek becslésére is szükség lesz, amiket elsősorban a piac szerkezete, a piaci ösztönzők és a rövid távú piaci folyamatok fognak meghatározni. Az alapjaiban megváltozó külső környezet a prognózzisokra általában is nyomást helyez (extrapolálni mindig nehezebb), ez a terhelésgnózzis esetén sincs másképp. Ilyenkor előtérbe kerül az a kérdés, hogy hogyan lehet ezt modellezési oldalon lekövetni, illetve hogy milyen mértékben lehet ezt megfigyelt adatokra építve megtenni. Általában segít, ha lehetséges a korábbiaknál erőteljesebb feltevésekkel élni a vizsgált rendszer kapcsán. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy szükségszerűen háttérbe szorulnak

¹ Azon túl, hogy rövid távú, operatív rendszer- és piacműködtetési céllal igyekszik minél inkább kiaknázni az adatokban rejlő információkat.

a pusztán adat alapú megközelítések. A hosszú távú kitekintéseknek mindez egy természetes ismérve, de a mögöttes rendszer drasztikus átalakulása miatt a hosszú távú terhelésgnózzis kapcsán ezt mégis érdemes külön hangsúlyozni.

3. AKTUÁLIS MÓDSZERTAN

A prognózzis jelenleg elsősorban a hosszú távú piacszimulációs vizsgálatok bemeneti adatát képezi, ami aztán hálózatmodellekhez szolgáltató munkapontokat az aktuálisan vizsgálandó időszakokban. Ez a funkciója a terhelésgnózzisnak determinálja néhány alapvető jellemzőjét. A piacszimulációs és hálózatmodellekben a villamosenergia-piac fogyasztási oldalát a piaci folyamatoktól függetlenül, exogén alrendszerként vesszük figyelembe. Továbbá, mivel a forrásoldalon minden termelői kapacitást igyekszünk megjeleníteni, a fogyasztói oldalon is megpróbáljuk elkerülni, illetve korrigálni az esetleges nettósításokat. (Például a HMKE termelést is a forrásoldalon képezzük le, így ha korrigálni szeretnénk ezek nettósító hatását, akkor a becsült termelésüket hozzá kell adni a mért, ún. látszólagos fogyasztáshoz.) A fogyasztói rugalmasság (DSR/DSM) is a forrásoldalon jelenik meg a piacszimulációs modellekben, tehát végeredményben az „autonóm”, rövid távú piaci folyamatoktól független fogyasztói igényre kell tudnunk becslést adni.

Ennek megfelelően a MAVIR-ban alkalmazott hosszú távú, top-down terhelésgnózzis:

i) a bruttó hitelesített rendszerterhelés idősoros modellezésén alapszik, és

ii) a valós, bruttó terhelésre készít előretékinítő becslést (erőművi önfogyasztás nélkül, de a hálózati veszteségeket beleértve). A modellezési eszköztárat tekintve jelenleg két,

1. táblázat A TRAPUNTA módszerrel vázlatos bemutatása [10]

#1	#2	#3
Statisztikai modell: a historikus terhelési időszak kétlépcsős modellezése	Előrejelzés	Előrejelzések scenárióalapú korrekciója
<p>1.1) Napi terhelési görbe dekompozíció: átlagos terhelés + bázisfüggvényekre bontás (SVD, singular value decomposition) segítségével</p> <p>1.2) Lineáris regressziók: mind a napi átlagos terhelésre, mind a bázisfüggvények napi súlyaira</p> <p>Magyarázó változók: 1) időjárású idősorok napi átlagai, 2) időjárású idősorok (SVD, singular value decomposition) bázisfüggvényeinek napi súlyai, 3) naptípusok, 4) a fenti változók interakciói és különböző hatványai</p>	<p>Az illesztett modell és a használt magyarázó változók előrejelzései alapján</p> <p>Az időjárású idősorokra előrejelzést a klímaévek koncepciójával adunk (az ENTSO-E PECD órák felbontású adatbázisából) (1981–2019 klímaévek)</p>	<p>Szektorális növekedési ütemek hőmérsékletfüggő és hőmérséklet-független kategóriákra (GWh)</p> <p>Elektromos gépjárművek prognózzisa (főbb típusonkénti darabszám és töltési profil)</p> <p>Hőszivattyúk és klímák prognózzisa becsült fűtési és hűtési hőigények alapján</p> <p>Nagyfogyasztói igények prognózzisa</p>

2. táblázat A DFT módszertan vázlatos bemutatása

#1	#2	#3
Modellezés gépi tanuló algoritmusokkal: a historikus terhelési idősor modellezése	Előrejelzés:	Utófeldolgozás: előrejelzések scenárióalapú korrekciója
<p>Lehetőség van egy idősoros órás modellt illeszteni a teljes időszakra vagy 24 db idősoros napi felbontású modellt illeszteni a nap minden órájára</p> <p>Opcionálisan választható algoritmusok: 1) GAM, 2) Random Forest, 3) lineáris regresszió, 4) regularizált (Lasso) lineáris regresszió</p> <p>A modellezést támogató magyarázó változók (feature): 1) időjárás idősorok 2) dátum és naptípusok kategorikus változói</p>	<p>Az illesztett modellt és a használt magyarázó változók előrejelzései alapján</p> <p>Az időjárás idősorokra előrejelzést a klímaévek koncepciójával adunk (az ENTSO-E PECD órás felbontású adatbázisából) (1981–2019 klímaévek)</p>	<p>Szektorális növekedési ütemek hőmérsékletfüggő és hőmérséklet-független kategóriákra (GWh)</p> <p>Elektromos gépjárművek prognózisa (főbb típusonkénti darabszám és töltési profil)</p> <p>Hőszivattyúk és klímák prognózisa (főbb típusonkénti darabszám és hűtési-fűtési profil)</p> <p>Nagyfogyasztói igények prognózisa</p>

egyaránt az ENTSO-E számára fejlesztett megoldás áll rendelkezésünkre:

- TRAPUNTA: Temperature regression and load projection with uncertainty analysis [10]
- DFT: Demand Forecasting Tool [nem publikált].

Ahogy az 1. és 2. táblázatból kiderül, mindkét eszköz első lépésben statisztikai, illetve gépi tanuló algoritmusok segítségével modellezi a historikus, órás felbontású terhelés idősort. Ezután az ún. klímaévek koncepcióját felhasználva a várható jövőbeli időjárás viszonyokra előrejelzést készít a modelltől azt feltételezve, hogy a modellezett folyamat mögött meghúzódó dinamikus rendszer nagy vonalakban változatlan marad hosszú távon is. Az előrejelzést végül utólagos feldolgozással (post-processing) korrigálja scenárióalapon megadott faktorkkal (pl. elektromobilitás addicionális hatása).

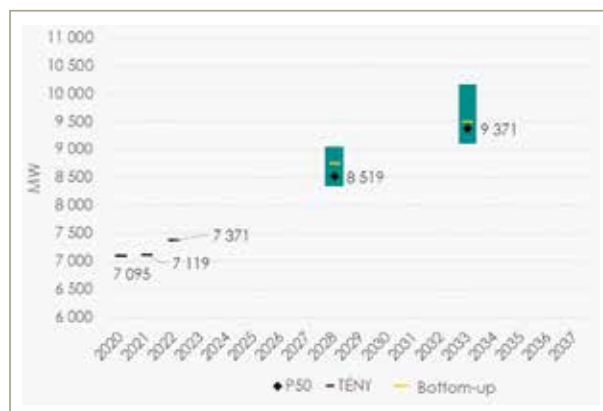
Érdemes külön kitérni a scenárióalkotás témakörére, ami fontos eleme az előrejelzési módszertannak (1. és 2. táblázat), mivel a harmadik, utófeldolgozási lépést nagyban meghatározza és ellátja inputokkal. Az ENTSO-E ezen a téren elsősorban az Európai Unió célkitűzéseinek megfelelő forgatókönyveket készít az Európai Bizottság iránymutatásával, amiket aztán a tagállami stakeholdereket célozva (kormányzati szervek, szabályozó hatóságok, rendszerirányítók) nyilvános konzultációra bocsát. A magyar hosszú távú scenárióalkotás szintén iparági együttműködés eredményeként, ún. iparági konzultáció (illetékes kormányzati szervek, a szabályozó hatóság, számos egyéb szereplő bevonása), illetve MEKH-TSO-DSO munkabizottsági egyeztetések alapján kerül véglegesítésre.

Ez a fajta hosszú távú terhelésgnózis mind európai viszonylatban, mind Magyarországon a hosszú távú elemzés és tervezés folyamatának szerves részét képezi. Az ENTSO-E irányításával készül az érintett tanulmányok közül az ERAA, a TYNDP és a Seasonal Outlook [11] a legismertebb. A MAVIR-ban ezek a prognózisok elsődlegesen az éven-

te készülő Hálózatfejlesztési Tervben (HFT) [12], a MEKH felé minden évben kétszer benyújtandó, a VER állapotjelentéséről szóló dokumentációban (téli és nyári felkészülés), illetve belső felhasználású fogyasztáselemzésekben kapnak szerepet. Az 1. ábra példaként bemutatja a 2023-as HFT egyik természetviselkedéséhez tartozó, sarokévenkénti top-down előrejelzéseket (a prognózisok mediánját és tartományát).

Az alkalmazott módszertanok számos szabályozói, szakmai és módszertani követelménynek megfelelnek: segítségükkel valószínűségi alapú, a klímaévek koncepciójával összhangban lévő, modern gépi tanuló algoritmusokkal támogatott, órás felbontású terhelési görbéket lehet előállítani. A legfontosabb iparági trendek is beépítésre kerülnek elsősorban az előrejelzések utólagos korrekciója révén. Az aktuális hazai implementáció biztosítja azt is, hogy – a piacszimulációs modell logikájához illeszkedve – nettósítás nélküli, ún. rendszerterhelés-beclést kapjunk, valamint az iparágban széles körben használt energiaintenzitási összefüggés is szerepet kapjon a prognózisban.

Az eddigiekben bemutatuk a prognózis módszertanának fontosabb elemeit és erősségeit. Van azonban olyan jellemzők is, amik nem, vagy csak részben teljesülnek. A teljesség igénye nélkül ilyen hiányosságnak számít az, hogy 1) módszertanilag nem biztosított az összhang a bottom-up és top-down megközelítések között, 2) nem lehetséges alacsonyabb (pl. állomási vagy iparági) szint-



1. ábra A 2023-as HFT#1-es természetviselkedéséhez tartozó top-down terhelésgnózisok mediánja és tartománya a 2028-as és 2033-as sarokévre, összehasonlítva a bottom-up DSO-prognózisokkal [12]

re lebontani az országos prognózist, 3) nehéz transzparens módon beépíteni a mögöttes rendszerrel kapcsolatos feltevéseket (pl. különböző fogyasztói profilok), 4) az esetleges strukturális változások kezelése kizárólag az utófeldolgozási lépésen keresztül lehetséges, 5) néhány alapvető összefüggés túlzottan leegyszerűsítve jelenik meg a modellekben (pl. hőmérsékletfüggés), végül pedig 6) a becslés bizonytalansága is történhetne eltérően, hogy ne csak az időjárás változékonyságából eredő bizonytalanság (klímaévek) jelenjen meg az eredményekben.

4. FEJLESZTÉSI IRÁNYOK

A villamosenergia-rendszer jelentős átalakulás előtt áll. Ez kihatással van arra is, hogy hogyan kell leképezni például

a piaci folyamatokat egy piacszimulációs modellben. Végső soron a bemeneti adatok és paraméterek szerkezete is szükségyszerűen változik – ilyen bemenet maga a terhelésprognózis, illetve például a fogyasztói rugalmasság. Ahhoz, hogy a prognózis *érvényes* maradjon a jövőben várható folyamatok tekintetében is, alkalmazni kell a megfelelő strukturális változtatásokat az előrejelző modellben is. Ezek a változtatások jellemzően növelik egy modell komplexitását, cserébe *adaptív* és a várakozásokkal *konzisztens* modell jöhet létre. Fontos cél továbbá a modell *koherenciájának* megtartása, ami alatt azt értjük, hogy i) meg kell teremteni az összhangot a bottom-up és top-down megközelítések között és ii) lehetőség szerint törekedni kell a prognózis alacsonyabb szintekre történő lebontására is (pl. iparági vagy állomási bontás).

A komplexitás problémáját szerencsére enyhítheti néhány jellemző. Egyrészt hosszú távon inkább a scenárióalapú megközelítés érvényesül, így – megfelelő modellkonfigurációt választva – a feltevések integrálása egyszerűsödhet. Ennek kapcsán az *átláthatóság* és *értelmezhetőség* kérdése a kulcs, mivel a gyakorlatban sokszor nehéz átlátni egy bonyolult modell paramétereinek interakcióit, így a modell „felparaméterezése” is egy kihívást jelentő elemzői feladat.

Másrészt a változás előtt álló mögöttes rendszer és az erre reagáló piacszimulációs leképezés miatt a terhelésprognózis is átalakulhat: érdemes lehet szétválasztani i) a piaci folyamatokból adódó (rugalmas) és ii) az inkább fizikai összefüggések által meghatározott (rugalmatlan) komponenseket. Ez azt jelenti, hogy külön-külön a modellezett jelenség egyszerűsödhet, mivel kevesebb lehetséges befolyásoló faktort kell figyelembe venni. Ebből a szempontból kritikus egy jól megtervezett, és a vizsgálni kívánt összefüggésekre „érzékeny” kísérleti terv és adatgyűjtési folyamat létrehozása a modellezés kiinduló lépéseként (experimental design vagy study design).

Ezekhez kapcsolódik, hogy a hosszú távú, scenárióalapú prognózisok esetén nem feltétlenül szükséges a modellkonfigurációt a tényadatokon validálnunk, hiszen például tisztán szimulációs modellek esetén az adatok és modellek nem is kapcsolódnak össze közvetlenül. A statisztikai modellek jóságát hagyományosan értékelő eljárások relevanciája is kisebb ezen az időtávon.

Végül az okosmérők várható elterjedése az adatokhoz való hozzáférés terén is hozhat pozitív irányú változást. Ha növekszik a megfigyelések száma, akkor egyre komplexebb modelleket alkalmazhatunk. Az adatok szempontjából valószínűsíthető, hogy már most is jelentős méretű adatállományok vannak felhasználatlanul az iparág különböző szereplőinél. Érdemes lenne összegyűjteni és használni őket a hosszú távú prognózisok készítésénél is. Ez azzal együtt is így van, hogy hosszú távra előretételek, és különösen egy alapjaiban megváltozó rendszer esetén a megalapozott feltevések kerülnek előtérbe, és a (tisztán) adatvezérelt megoldások szerepe relatíve leértékelődik.

Véleményem szerint a legfontosabb feladat éppen ezért az lenne, hogy megtaláljuk azt a modellezési paradigmát, ami a jelenlegi adatokkal is összhangban van, ezzel párhuzamosan pedig konfigurálható a jövőben várható összefüggések, scenáriók alapján.

A terhelésprognózis szakirodalma és a gépi alapú, illetve statisztikai modelleken alapuló szakirodalom a módszertani megoldások széles skáláját alkalmazza az éppen aktuális kutatási kérdéshez igazítva. Vannak megoldások, amik inkább rövid távon használhatók, ilyenek a teljesség igénye nélkül a hagyományos idősoros modellek, a dinamikus faktormodellek, generatív mesterségesintelligencia-modellek (pl. generative adversarial networks). Érdekes irány a top-down

és bottom-up előrejelzések koherenciájának megteremtését célzó ún. forecast reconciliation módszer [8]. A hosszabb távon (is) alkalmazható modellek közül említést érdemelnek a komplett energiarendszereket modellezni hivatott ESM-típusú modellek, az ún. grey-box modellek, a szimulációs, generatív modellek, a szintetikus terhelési profilt becsülő eljárások, illetve az ágensalapú dinamikus modellek. Itt érdemes megemlíteni egy nagy publicitást kapott, 2023 elején közzétett tanulmányt [3], ami az 1. és 2. táblázatban bemutatott módszerekhez nagyon hasonló többlépcsős megoldással jut el ún. szintetikus terhelési görbékhez, amiket hosszú távú előrejelzéshez is fel lehet használni. Annak ellenére, hogy az implementáció mutat némi eltérést a MAVIR-ban használt módszerekhez képest², nincs érdemi különbség a megközelítésekben azon szempontok szerint, amiket a DFT és TRAPUNTA modellek hiányosságaként említettünk a fejezet első részében.

Kicsit más osztályozást alkalmazva, a gépi tanuló algoritmusok között megtalálhatók a klasszikus statisztikai (ún. frekventista) elemzési keretrendszer és az ettől eltérő paradigmájú bayes-i megközelítés legfontosabb módszerei egyaránt. Utóbbi paradigma számos fent említett elvárást képes teljesíteni egyrészt a paraméterekben rejlő bizonytalanság közvetlen beépítésével, másrészt az ún. prior modell alkalmazásával. Ezáltal – a megfigyelt adatokon alapuló likelihood modellet kiegészítve – a modellezett rendszerrel kapcsolatos feltevéseket (várakozásokat) lehet a modellbe építeni. A komplexitás mértékének növelését talán nehezebb elérni a bayes-i paradigmán belül, mivel maguk a modellek a sok ismeretlen miatt hagyományos társaiknál hamarabb válhatnak kezelhetetlen méretűvé. Ebben a tekintetben is megoldást jelenthet a hosszú távú prognózisok esetén irányadó scenárióalapú megközelítés, ami bizonyos paraméterek esetén megengedné azok rögzítését vagy bayes-i modell lévén a kapcsolódó prior eloszlások szélsőségesen informatív meghatározását.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A hosszú távú prognózisok saját logikájukból fakadóan is inkább támogatják azt a megközelítést, hogy ha lehet, azt vizsgáljuk meg, hogy vajon milyen struktúra következményeként állt elő a megfigyelt adathalmaz. Ez némileg szemben áll azzal a felfogással, ami többek között a gépi tanulás területén is inkább elterjedtnek számít: használjuk a különböző algoritmusokat arra, hogy feltárjuk a megfigyelt adatokban rejlő struktúrát [9]. Előbbi megközelítés nagyobb szerepet kaphatna a jelentős változások előtt álló villamosenergia-rendszer hosszú távú prognózisaiiban is, mivel a *várható struktúrára* helyezi a hangsúlyt. Ahogy a fentiekben kifejtettük, a terhelésprognózist az átalakulás különösen érinti, és az előrejelzési gyakorlatnak éppen ezen a területen kellene leginkább előrelépni.

A felvázolt kihívásokra gyors és könnyű megoldás nem látszik, és elképzelhető, hogy az összes korábban említett hiányosságot nem is lehet egy integrált megoldással („one size fits all” szemléletben) kezelni. Érdemes lehet azonban a hosszú távú terhelésprognózis területén aktív iparági szereplőknek a felvázolt szempontokat szem előtt tartva gondolkodni a témáról, és azokat a prognóziskészítés teljes folyamatában (tervezés/study design, adatgyűjtés és -feldolgozás, scenárió- és modellalkotás) érvényesíteni.

² A leginkább szembevetendő eltérés, hogy [3] utólagos variancia-korrekciót alkalmaz azzal a céllal, hogy a múltbeli adatok és az előrejelzések közötti összhang megvalósuljon.

Összefoglalva azt gondolom, hogy a jelenleg alkalmazott top-down megközelítést érdemes kiegészíteni, és idővel akár felváltani egy hierarchikus struktúrát leképező, alulról építkező szemlélettel. Ehhez egyrészt megfelelő adatokra, modellkeretre és jól megfogalmazott feltevésekre egyaránt szükség van. Másrészt, ezek segítségével: i) a fizikai folyamatokra és ii) az inputokban, feltevésekben, ismeretlenekben rejlő bizonytalanságra is építve,

iii) az egyes fogyasztói csoportok viselkedésében megjelenő heterogenitást figyelembe véve, iv) a historikus adatokból kiindulva, de v) a várakozásokat és feltevéseket előtérbe helyezve lehetővé válik a villamosenergia-terhelést hosszú távra, a jelenleginél érvényesebb és koherensebb módon előrejelezni.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **T. Hong, P. Pinson, Y. Wang, R. Weron, D. Yang and H. Zareipour:** „Energy Forecasting: A Review and Outlook”. *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, vol. 7, pp. 376-388, 2020, doi:10.1109/OAJPE.2020.3029979
- [2] **T. G. Grandon, J. Schwenzer, T. Steens, J. Breuing:** Electricity Demand Forecasting with Hybrid Statistical and Machine Learning Algorithms: Case Study of Ukraine. Working Paper, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.05174>
- [3] **M. J. Mayer, B. Biró, B. Szücs, A. Aszódi:** Probabilistic modeling of future electricity systems with high renewable energy penetration using machine learning. *Applied Energy*, Volume 336, 2023, 120801, ISSN 0306-2619, doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120801

- [4] LUT-ESTM https://www.greens-efa.eu/files/assets/docs/09_annex_-_accelerating_the_european_renewable_energy_transition_-_2022.pdf
- [5] EnergyPLAN (<https://www.energyplan.eu/>)
- [6] ETM (<https://energytransitionmodel.com/>)
- [7] HU-TIMES modell <https://rekk.hu/modellezes/times-modellezes>
- [8] **A. Panagiotelis, P. Gamakumara, G. Athanasopoulos and RJ Hyndman** (2023): “Probabilistic forecast reconciliation: properties, evaluation and score optimisation”. *European J Operational Research*, 306(2), 693-706.
- [9] <https://khakieconomics.github.io/2017/01/01/Building-useful-models-for-industry.html> Letöltés ideje: 2023-05-18
- [10] <https://www.milanomultiphysics.it/projects/trapunta/>
- [11] <https://www.entsoe.eu/outlooks/>
- [12] MAVIR: A magyar VER természetviselkedései 2023. <https://mavir.hu/web/mavir/halozatfejlesztési-tervek-2021-tol>
URL: https://www.mavir.hu/documents/10258/239341965/HFT2023_A+magyar+VER+term%C3%A9szetviselked%C3%A9sei_v3.pdf/30bfd34e-da65-b8aa-7c7b-24ae0b4f56dd?t=1684843078678 Letöltés ideje: 2023-05-23



Kádár András

Forrás- és fogyasztáselemzési főmunkatárs
MAVIR Rendszerszintű Tervezési Osztály
kadara@mavir.hu

HÍREK

Új épületenergetikai tanúsítvány

Részletesebb felújítási javaslatokat tartalmaznak a jövőben az épületek energetikai tanúsítványai. A novembertől élestedő szabályozás enyhíti az építkezéssel szemben támasztott bonyolult és elavult követelményeket.

Az egyszerűbb, rugalmasabb feltételek akár olcsóbbá is tehetik az energiafogyasztás csökkentését eredményező fejlesztéseket. A világosabb követelményekkel ösztönzött beruházások tartósan mérséklék a háztartások rezsikiadásait, miközben előmozdítják az energiafüggetlenségi célok elérését is. Hangsúlyozták, a 2009-ben bevezetett energetikai tanúsítvány az épület energetikai jellemzőiről tájékoztat, javaslatot tesz az energiahatékonyságot növelő felújításokra. Újonnan épülő vagy értékesítésre, tartós bérbeadásra szánt épületekre kell elkészíttetni. E kötelezettség a többi között az 50 négyzetméternél kisebb hasznos alapterületű ingatlanokra, vagy bizonyos feltételek fennállása esetén például nyaralókra, műhelyekre nem vonatkozik. A tanúsítvány energetikai minőségük szerint sorolja be az épületeket a háztartási nagygépekéhez hasonló, tizenkét fokozatú skálán.

A másfél évtizede megalkotott módszertan nem vehette figyelembe az időközben elterjedt, korszerű épülettechnikai rendszereket, alternatív megoldásokat (például napelemek, LED-fényforrások). Az év végén hatályba lépő módosítás a szabályozás elavult vagy túl bonyolult részeit naprakész, felhasználóbarát újdonságokkal váltja fel. Az átlátható tanúsítvány minta besorolásokkal, grafikus mutatóval meg a teljes épület (vagy önálló épületrész), és az egyes gépészeti rendszerek energiafelhasználását. Részletes felújítási és korszerűsítési javaslatokat rögzít szakaszolva, ütemezéssel, költségtervvel. Az ajánlások megtérülő módon segíthetik kedvezőbb energiafelhasználáshoz a családokat. Kibővülnek az új épületekkel szemben elvárt közel nulla energiaszintnek való

technológiai megfelelés lehetőségei. Megszűnik a kötelező megújuló részarány előírása, az összesített energetikai jellemző megtartása mellett a rendelkezések a teljes életcikluson alapuló fajlagos szén-dioxid-kibocsátás felső határát állapítják meg. Nagyobb mozgásteret teremt az építkezők számára, hogy így például a hulladékhőből vagy kapcsolt energiából származó távhő és távhűtés is egyenértékűvé válik a megújuló energiával – részletezték a közleményben.

A minisztérium szerint ösztönző hatása lehet a jelentős felújításokra vonatkozó követelmények enyhítésének. A lakóépületek bővítése esetén rugalmasabb szabályok csinálhatnak kedvet az épületgépészeti rendszerek korszerűsítéséhez. Az új szabályokat az eddiektől eltérően majd nemcsak a használatbavétel idején, hanem az építési engedélyezési vagy egyszerű bejelentési eljárásban is figyelembe kell venni. A számításokat is tartalmazó műszaki leírást vagy építészeti-műszaki dokumentációt a kivitelezés előtt, a tervezési időszakban kell elkészíteni, ami jelentősen megkönnyíti az építkezők helyzetét. Az új számítási módszer lehetővé teszi új technológiai rendszerek alkalmazását az épülő vagy felújítandó házak, lakások épülettechnikai rendszereinek megtervezésénél.

Az energetikai tanúsítványt az eladónak vagy a bérbeadónak a továbbiakban az adásvételi vagy bérleti szerződés megkötésének napjáig be kell mutatnia, és legkésőbb a birtokbavétel napjáig át kell adnia a vevőnek vagy bérlőnek.

A rugalmasabb felújítási és építési követelmények ösztönzik a magyar háztartások hatékonyabb energiafelhasználását, a mérséklődő fogyasztás erősítheti Magyarország energiafüggetlenségét.

Forrás: Energiaügyi Minisztérium (EM)

Fotók: E.ON



Beregzászi Miklós, Fábíán Attila, Tomasics Sára

Tartalékigény-meghatározás tanuló algoritmus segítségével

Az időjárásfüggő termelés részarányának emelkedésével a forrásoldali bizonytalanságok erőteljes növekedése figyelhető meg. A hazai villamosenergia-rendszer rugalmassági képességei limitáltak és egyre nagyobb kihívást jelent a tartalékok biztosítása. A hazai villamosenergia-rendszer teljesítmény-egyensúlyának fenntartásáért felelős MAVIR tartalékméretezési folyamatának feladata, hogy a kiegyenlítő szabályozás számára minden időszakra elégséges mennyiségű és megfelelő minőségi összetételű tartalékigényt határozzon meg, mellyel a kiegyenlítő szabályozás ellátható. A közelmúltban végrehajtott módszertanfejlesztés a nemzetközi előírások és legjobb gyakorlatok figyelembevételével történt.

The increasing share of weather-dependent renewable energy production in the energy mix causes major uncertainties on the electrical grid. These circumstances make the job of balancing (with the limited capabilities of the Hungarian power system) even more challenging. The main goal of the reserve sizing methodology of MAVIR is to provide a sufficient mixture of balancing reserves for every hour of the day. The recent methodology development has been carried out considering international standards and best practices.

1. BEVEZETÉS

A forrásoldalon növekszik a menetrendtervezés bizonytalansága, az időjárásfüggő megújulók, elsősorban az üzleti és a HMKE (háztartási méretű kiserőmű) PV-k (fotovoltaikus termelők) jelentős elterjedésének köszönhetően. A fogyasztás-termelés egyensúlyát rendszerszintű kiegyenlítő szabályozással az átviteli-rendszer-üzemeltetőnek (TSO) minden pillanatban biztosítani kell. A magyar villamosenergia-rendszerben ez a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (MAVIR) feladata a kiegyenlítő szabályozás folyamatán keresztül.

A szabályozási igények növekedésével egyre nagyobb kihívást jelent a hazai villamosenergia-rendszer teljesítmény-egyensúlyának biztosítása. A kiegyenlítő szabályozási feladat ellátásához megfelelő tartalékmennyiség rendelkezésre állása szükséges, hogy a felmerülő szabályozási igények az elvárt hibahatáron belül kiszabályozhatóak legyenek.

A tartalékméretezés során kerül meghatározásra, hogy az adott időszakban mekkora mennyiségű és minőségi összetételű tartalék szükséges. A korábbi, múltban alkalmazott módszertan a várható rendszerterhelés függvényében, a fogyasztás várható ingadozását vette alapul. Az alkalmazott összefüggés önmagában már nem volt képes az időjárásfüggő megújuló termelés rendszer-kiegyenlítetlenségre gyakorolt hatását leképezni. A növekvő bizonytalanságok figyelembevétele elkerülhetetlenné vált, a módszertan átdolgozása lett szükséges. Jelen cikkben a tartalékméretezési alapelvek és a MAVIR által használt algoritmus kerül röviden bemutatásra.

2. TARTALÉKMÉRETEZÉS ÉS KIEGYENLÍTŐ SZABÁLYOZÁS

2.1. Alapelvek

A villamosenergia-rendszer teljesítményegyensúlyának fenntartása az ellátásbiztonság fontos kritériuma. A kiegyenlítő szabályozáshoz szükséges előírt tartalék kapacitást a MAVIR különböző időtávra és termékekre kiírt szabályozási-kapacitás beszerzési eljárások során (tender) vásárolja meg [1]. A beszerzendő mennyiségek minimális mértékének meghatározása műszakilag indokolt tartalékigények alapján történik. A tartalékméretezési eljárás eredményének figyelembevételével a beszerzési folyamatnak kell garantálnia, hogy a szerződött tartalékok lekötése mellett a műszaki igényként megfogalmazott tartalékigénynek megfelelő kiegyenlítő szabályozási kapacitás az üzleti napon rendelkezésre álljon. (Vagyis nem kell minden igényt lekötéssel biztosítani, ha az egyéb piaci körülmények lekötés nélkül is biztosítják azt a rendszerben.) Ugyanakkor a beszerzési folyamatoknak biztosítani kell a BSP-k (szabályozási szolgáltatók, Balancing Service Provider) közötti verseny kialakulását és a kiegyenlítő szabályozási kapacitások legkisebb költség elve alapján történő beszerzését.

A villamosenergia-átviteli hálózat üzemeltetésére vonatkozó iránymutatás megalkotásáról szóló 2017. augusztus 2-i 2017/1485 Bizottság (EU) rendelet (a továbbiakban: SO GL) 119. cikk (1) bekezdése alapján [2], a MAVIR kidolgozta az LFC blokkra vonatkozó üzemviteli módszertannal kapcsolatos javaslatát, figyelembe véve az SO GL 119. cikk (1) bekezdés a)–r) pontjaiban foglaltakat, melynek részét képezik a tartalékméretezés szabályai [3].

2.2. Tartalékméretezés alapkövetelményei

Az SO GL 157. cikk (2) bekezdése szerint a tartalékok minimális mennyiségére vonatkozó egyik alapkövetelmény, hogy mennyisége, legalább az elmúlt egy évet felölölő historikus, mért szabályozási igényeket (kiegyenlítetlenséget) az esetek 99%-ában lefedje. A kiegyenlítetlenség az aktivált szabályozási teljesítmények és a szabályozás hibájának (FRCE – frequency restoration control error) összegeként határozható meg. A MAVIR a tartalékméretezés során a méretezés időpontjában elérhető, az elmúlt 2 év tárgyhónapig terjedő időszakának negyedórás kiegyenlítetlenségi adatait használja fel. Ezen adatokból a kiegyenlítetlenség előjele alapján (ún. szabályozási irányonként) elkülönítve sűrűségfüggvényeket képez, melyek 99. percentilis értéke adja a méretezés ezen ágának eredményét.

A tartalékok minimális szintjére vonatkozó másik alapkövetelmény, hogy a méretezett villamosenergia-rendszer bármely egyszeresen bekövetkező, a teljesítményegyensúlyt nagymértékben befolyásoló esemény kezelésére felkészülten tudjon reagálni. Ezen előre jól definiálható referencia események a fogyasztói vagy termelői oldali változásokhoz, hálózati üzemzavari eseményekhez köthetőek. A hazai módszertan pozitív irányú referencia eseménye a legnagyobb, adott időszakban üzemelő erőművi egység kiesése során fellépő teljesítőképesség-csökkenés. Azonosításra került továbbá az időjárásfüggő termelés változékonyságának mindenkori kezelhetősége érdekében az elmúlt két éves időszakban megfigyelt, legnagyobb termelésváltozásokat jellemző referencia esemény. Pontos értéke az időjárásfüggő termelés egymást követő negyedórás átlagtermelési értékeinek negatív előjelű változásait tartalmazó adathalmaz 99. percentilis értéke. Az időjárásfüggő termelés esetében a fotovoltaikus termelés hatása csak a napszak egy jól meghatározható időszakában releváns. Vizsgálataink alapján a nap horizont

feletti, legalább 5 fokos tartózkodásával érintett órák minden évszakban jól leírják ezt a releváns időszakot. A legnagyobb, hirtelen bekövetkező negatív irányú szabályozási teljesítményváltozás szintén az időjárásfüggő termelés változékonyságához köthető. Az egymást követő negyedórás napos vagy szeles termelés értékeinek pozitív előjelű változásaiból képzett adathalmaz 99. percentilis értéke adja meg a negatív irányú referencia eseményt, melyet szintén csak a nap horizont feletti, legalább 5 fokos tartózkodásával érintett órákban tekintünk relevánsnak a napos termelés kapcsán.

A historikus megfigyelésekből és referencia eseményekből származtatható értékek minden egyes időszakra összehasonlításra kerülnek, és a legnagyobb közülük megadja azt az igényt, mely az alapkövetelmények betartásához legalább szükséges.



1. ábra Alapkövetelmények

3. DINAMIKUS MODELLEZÉS

3.1. Előzmények

A bemutatott alapkövetelmények párhuzamos vizsgálata mentén minden időszakra megállapítható egy olyan (statikus) tartalék (FRR, frekvencia-helyreállítási tartalék) szint, mely az alapkövetelményeket kielégíti.

A módszertan korábbi, 2018-ban kidolgozott változata bár teljesítette a nemzetközi előírásokban szereplő alapkövetelményeket, ugyanakkor csak statikus eredményeket adott. Havi rendszerességű igénymeghatározás mellett a historikus kétéves ablak gördülő vizsgálatával havonta változó értékek adódtak ugyan, de a módszer az alábbi szempontokat nem volt képes hatékonyan kezelni:

- Az eredményként adódó mennyiségek nem követték az évszakok, napszakok, naptípusok vagy eltérő időjárási körülmények jellemzőit.
- Az erőművi kiesések figyelembevételére csak a kiegyenlítetlenségi adatsoron keresztül történt. Így például egy téli extrém hideg időjárás hatására bekövetkezett halmozott erőművi kiesés a rá következő két év tartalékigényét nem csak a releváns, téli időszakban befolyásolta.
- Nem volt képes az igények részletes felbontású óras / negyedórás meghatározására.
- Nem volt alkalmas eltérő paraméterekkel rendelkező (szabványos és egyedi) kiegyenlítő szabályozási kapacitás termékek kezelésére.

2021-től megkezdődött a módszertan átdolgozása az európai legjobb gyakorlatok figyelembevételével, beépítésével, annak érdekében, hogy a méretezési időszakban várható szabályozási igényekre vonatkozó kockázatokat pontosabban, a korábbiakhoz képest részletesebb felbontásban lehessen előre jelezni. Elsősorban gépi tanuló algoritmusok alkalmazásának megjelenése jelenti a korábbi, statikus méretezési gyakorlathoz képesti legjelentősebb változást. 2023.04.01-jétől egy olyan eljárás és eszköz került alkalmazásra a napi tartalékbeszerzést megelőző igénymeghatározás során, mely képes a megelőző napi időjárási és rendszerterhelés előrejelzési adatokon alapuló igénymeghatározásra [3].

A gépi tanuló algoritmusok alkalmazása mellett az új módszertanban az erőművi kiesések modellezése is megva-

lósul, várhatóan ez év során. Az erőművi kiesések hatására a kiegyenlítetlenség időszakosan jelentős mértékben megnövekedhet, ennek kezelésére valószínűségi modell kialakítása vált szükségessé.

3.2. Gépi tanuló algoritmusok alkalmazása

Az európai TSO-k tartalékméretezési módszertanait vizsgálva megállapítható, hogy a területen élen járó TSO-k az elmúlt években gépi tanuló algoritmusok használatát kezdték meg [4]. A gépi tanulás a mesterséges intelligencia egy olyan részterülete, amely algoritmusokkal azonosít mintákat, összefüggéseket az adatokban, majd ezek segítségével (matematikai) adatmodellt készít és előrejelzéseket végez. A gépi tanulás eredményei az adatok és a tapasztalat mennyiségének növekedésével egyre pontosabbak – ahogyan az emberek is egyre ügyesebbé válnak a gyakorlás által.

Az eljárás célja tehát, hogy a kiegyenlítetlenséget leginkább befolyásoló (magyarozó) változók historikus adatainak felhasználásával azonosítsa azokat az időszakokat, melyekben várhatóan nagyobb szabályozási igény jelentkezhet. Az eljárás eredményességét erősen befolyásolja a magyarzó változók jövőre vonatkozó (becsült) értékeinek pontossága, hatékony rövid távú modell így csak 0–48 órás előretekintéssel használható.

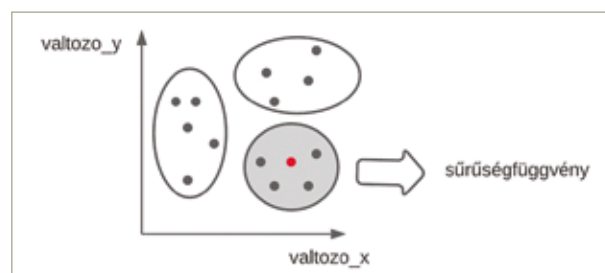
A MAVIR által fejlesztett gépi tanuló algoritmusokat használó eszköz ezáltal a napi tartalékbeszerzés folyamatait tudja támogatni. Az algoritmusok betanítása historikus adatokon történik, a tanulási folyamatot követően a másnapi becsült magyarzó változók segítségével minden negyedóra meghatározható az adott időszakhoz leginkább hasonló korábbi negyedórák halmaza. Ezen időszakok kiegyenlítetlenségi adataiból előáll a kiegyenlítetlenség sűrűségfüggvénye, majd ennek és az erőművi kiesések sűrűségfüggvényének konvolúciója adja meg az eredményfüggvényeket.

A fejlesztés során több algoritmus került megvizsgálásra.

– **KMEANS:** A módszertan lényege, hogy a korábban ismerttetett tulajdonságok alapján, előre definiált mennyiségű (pl. 15) klaszterbe osztja a korábbi évek adatait, majd a másnapi előrejelzések beérkezésével megállapítja, hogy a várható rendszerállapotok szerint a következő nap egy adott negyedórája melyik klaszterhez áll a legközelebb. Ha ez megvan, akkor az adott klaszterbe tartozó negyedórák kiegyenlítetlenségi adataiból már el lehet készíteni a szükséges sűrűségfüggvényeket, amelyek segítségével megkaphatjuk a kívánt kimeneti értéket mindkét irányba.

A 2. ábrán látható, hogy az új (pirossal jelölt) adatpontot egy előre definiált klaszterhez rendeli hozzá az algoritmus.

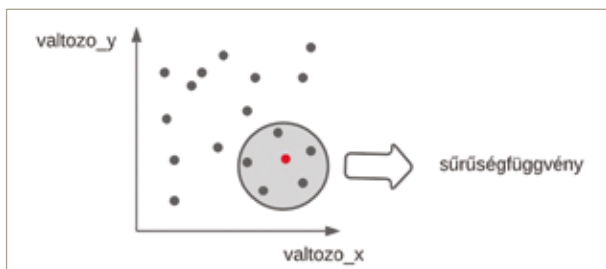
– **KNN:** Az alapötlet a KMEANS-hez igencsak hasonló. Különbség azonban, hogy míg az előzőekben azt kellett előre megadni, hogy a korábbi évek adataiból mennyi klaszter szeretnénk készíteni, itt azt a mennyiséget szükséges meghatározni, hogy a kérdéses negyedórához hány darab, leginkább hasonló időszak kiegyenlítetlenséget akarjuk figye-



2. ábra Megvalósítás KMEANS segítségével

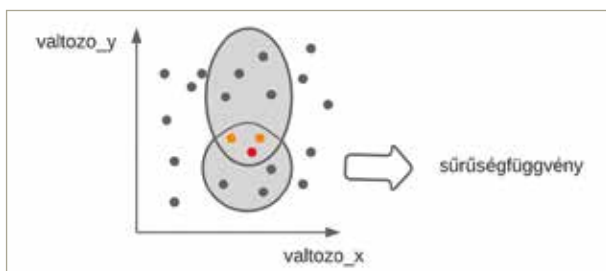
lembe venni. Ez praktikus azt jelenti, hogy egy új adatpont (egy másnapi negyedóra) beérkezésével az algoritmus megvizsgálja, hogy melyek azok az időszakok (pl. 3500 darab), amelyek a korábban definiált tulajdonságok szerint a kérdéses negyedórához leginkább hasonlítanak, majd ezen pontok kiegyenlítettenségi adatainak felhasználásával el lehet készíteni a szükséges sűrűségfüggvényeket, amelyek segítségével megkaphatjuk a kívánt kimeneti értéket mindkét irányba.

A 3. ábrán látható, hogy az új (pirossal jelölt) adatponthoz a hozzá legközelebb eső pontokat rendeli az algoritmus.



3. ábra Megvalósítás KNN segítségével

– **Hibrid módszer:** a hibrid módszer ötvenévi a KMEANS és a KNN segítségével működő számításokat. Lényege, hogy a mindkét algoritmus által kiválasztott időszakok kiegyenlítettenségi adatait duplán számítja, azon elgondolás alapján, hogy ezek jóval értékesebbek a másnapi értékek előrejelzésének szempontjából. Az így kialakult adathalmazból készülnek el az adott negyedórához rendelt sűrűségfüggvények, amelyek segítségével már meghatározható a kívánt kimeneti érték mindkét irányba.



4. ábra Megvalósítás hibrid módszer segítségével

A 4. ábrán látható, hogy az új (piros) adatpont a KMEANS és a KNN által létrehozott klaszterekhez is hozzá lett rendelve. A sűrűségfüggvények létrehozásakor mindkét algoritmus által kiválasztott (sárga) adatpontok dupla súllyal számítanak.

A fentebb részletezett módszertanok kiértékelése egy nagyjából féléves próbafuttatás alapján történt meg. Az algoritmusok tanuló adathalmaza minden előre jelzett időszak hónapját megelőző két éves összefüggő időszak historikus adataiból állt elő. A kiértékelés az átlagolás előtti, negyedórás felbontású értékek segítségével történt.

Az algoritmusok által előre jelzett FRR igények a rendszer mért, adott időszakot jellemző kiegyenlítettenségi értékével kerültek összevetésre. Az adott algoritmus megbízhatóságát az határozza meg, hogy az időszak hány százalékában jelzett előre a valós kiegyenlítettenségtől nem kisebb FRR igényt. További szempontot jelentett a legmegfelelőbb algoritmus kiválasztásánál, hogy a korábbi módszertan alkalmazásához képest összességében kisebb kapacitásmennyiség mellett legalább ugyanazt a megbízhatóságot eredményezze.

A kiértékelés eredményei alapján a KNN algoritmus bizonyult a leghatékonyabbnak, így a végleges folyamat ezen

módszertan alkalmazásával készült el. Az algoritmus a vizsgált időszakban 99,88% megbízhatóság mellett 6,1%-ot meghaladó kapacitásmennyiség-csökkenést ért el.

3.3. Bemeneti adatok

A gépi tanuló algoritmusok a kiegyenlítettenségi, illetve a magyarázó változók 2 év hosszúságú, 15 perces felbontású idősorát használják fel. Az erőművi kiesések korábbiakban említett független modellezése miatt kiszűrésre kerül az idősorból minden olyan időszak, mely 50 MW vagy annál nagyobb beépített teljesítőképességű erőművi kieséssel érintett, azzal a feltételezéssel élve, hogy egy ilyen üzemzavari esemény 1 órán keresztül gyakorol hatást a kiegyenlítő szabályozásra.

Egy iteratív kiértékelési folyamaton keresztül került kiválasztásra az 1. táblázatban felsorolt leghatékonyabb összetételűnek bizonyult változók halmaza.

1. táblázat A gépi tanuló algoritmus által használt magyarázó változók

Adat megnevezése	Leírás, mértékegység
PV (fotovoltaikus) termelés-előrejelzés	Másnapi termelés-előrejelzés (MW)
Rendszerterhelés (bruttó) előrejelzés	Másnapi rendszerterhelés-előrejelzés (MW)
PV (fotovoltaikus) termelés-előrejelzés gradiens	Előző nap ugyanazon negyedórájához képesti PV termelés-előrejelzés-változás (MW)
Rendszerterhelés-előrejelzés gradiens	A rendszerterhelés-előrejelzés negyedórás változása (MW)
Hőmérséklet-előrejelzés	Másnapi hőmérséklet-előrejelzés (°C)
Besugárzás	Rövidhullámú sugárzás intenzitása a felszínen (W/m ²)
óra ^{cos}	Napon belüli óra, koszinusz függvénnyel megadva
óra ^{sin}	Napon belüli óra, szinusz függvénnyel megadva

Az 1. táblázatban szereplő utolsó két változó az időpontot jelölő órák periodikus függvényekre történő átalakítását jelenti. A szakirodalomban [5] ajánlott transzformáció segítségével az adott nap 23. és a következő nap 1. órája közötti óraszámban jelentkező nagy különbség (ami a valóságban csupán 2 óra) eltűnik, ez pedig jelentősen javítja az algoritmus működését.

3.4. Végeredmények meghatározása

A kapott sűrűségfüggvények és a kiesések konvolúciójából adódik a végeredmények meghatározásához szükséges sűrűségfüggvény. A folyamat kimenete az ezen függvényterületen értelmezett 0,99-es valószínűséghez tartozó érték kiszámításából adódik. A pozitív és negatív irányú FRR órás felbontású igényeket az adott órához tartozó negyedórás értékek átlagolásával kapjuk meg.

Az FRR mennyiségi követelményeinek meghatározása a korábbi fejezetekben részletezett vizsgálati ágak párhuzamos kiértékelése mentén zajlik.

Az FRR mennyiségre vonatkozó alapkövetelmények mindenkor teljesítése és a valószínűségi modellezés által meghatározott FRR igény közül minden időszakban a



5. ábra Minimálisan szükséges FRR mennyiség meghatározása segítségével

legnagyobb érték adja meg az adott időszakban szükséges minimális FRR mennyiséget.

4. AZ aFRR ÉS mFRR ARÁNYÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Az SO GL 157. cikk (2) bekezdése az FRCE célparaméterek teljesítésén keresztül a szabályozás minőségére vonatkozóan ír elő követelményeket. A célparamétereknek történő megfelelés csak utólag lehetséges. A tartalékméretezési módszertan kialakításakor gondoskodni kell arról, hogy annak alkalmazása során megfelelő arány-

ban történjen a különböző minőségű tartalékok (aFRR, automatikus frekvencia-helyreállítási tartalék / mFRR, manuális frekvencia-helyreállítási tartalék) igény meghatározása. Ehhez figyelembe kell venni a MAVIR számára elérhető szabályozási tartalékok minőségi jellemzőit, mint az egyes kiegyenlítőszabályozási-kapacitás termékek aktiválási módját, aktiválási és deaktiválási idejét, valamint a minimális és maximális igénybevételi időtartamokat.

A kiegyenlítő szabályozási energia piac egységes európai termékeinek kialakítására vonatkozó jogszabályi kötelezettség, valamint a kiegyenlítő szabályozási energia cseréjére kialakításra kerülő platformokhoz való csatlakozás kötelezettsége hazai szinten is jelentős változásokat hoz. A kiegyenlítő szabályozási termékek változása hatást gyakorol a kiegyenlítő szabályozási kapacitás piac termékeire egyaránt, ennek köszönhetően a tartalékméretezés folyamatában is fel kell készülni ezen változások kezelésére.

A hazai kiegyenlítő szabályozási termékstruktúrában várhatóan a platformokhoz történő csatlakozással megjelenő új szabványos aFRR és mFRR termékek mellett átmenetileg számítani kell egyedi hazai termékbevezetésnek lehetőségére is, így párhuzamosan eltérő aktiválási paraméterekkel rendelkező tartaléktípusokat kell tudni figyelembe venni.

A korábbi fejezetekben ismertetett módon meghatározott teljes FRR igény, aFRR és mFRR mennyiségi arányainak meghatározása során az első lépés, hogy a kiegyenlítetlenség historikus adataiból leválasztásra kerül az IGCC (kiegyenlítetlenség-nettósítás, International Grid Control Cooperation) együttműködés keretében igénybe vett szabályozási teljesítmény. Az IGCC kooperáció célja, hogy az együttműködő TSO-k által irányított szabályozási területek egyidejű, ellentétes irányú kiegyenlítetlenségeit nettósítja, hazai szabályozási energia igénybevétele nélkül. Az IGCC rendelkezésre állásának magas megbízhatósága miatt az aFRR méretezésnél statisztikailag figyelembe vehető. Az így kapott maradék időszoron egy mFRR aktiválás szimuláció futtatása történik meg. A szimuláció MAVIR által aktuálisan használt mFRR termékek paramétereit (az aktiválási módját és idejét) veszi figyelembe. Az eredményként kapott további maradék kiegyenlítetlenség az aFRR szabályozásra hárul, mint kiegyenlítési feladat. Az aFRR igény nap-szakhoz és éven belüli időszakokhoz köthetően változó képet mutat. Ezen változások jellemzően ugyanazokkal a magyarázó változókkal leírhatók, melyek a teljes FRR igényt is befolyásolják. Így az adott időszakot jellemző aFRR igény pontos felméréséhez ismételt klaszterező eljárást tudunk alkalmazni. A KNN algoritmus segítségével az aFRR igény meghatározás elvégezhető. Az mFRR igény pontos értéke pedig az adott időszakra már definiált FRR igény aFRR mennyiséggel csökkentett értékből kerül származtatásra.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai villamosenergia-rendszerben a MAVIR egyik legfontosabb feladata a teljesítményegyensúly-biztosítás, melyet a kiegyenlítő szabályozás során végez. A PV termelés részarányának további növekedése miatt a forrásoldali bizonytalanságok is növekednek. A kiegyenlítő szabályozási feladat ellátásához egyre több tartalékmennyiség rendelkezésre állását szükséges biztosítani, hogy a felmerülő szabályozási igények az elvárt hibahatáron belül kielégíthetőek legyenek.

A tartalékméretezés folyamatában a közelmúltban végrehajtott módszertanfejlesztés az európai legjobb gyakorlatok figyelembevételével történt. Az igények meghatározása rövid távon gépi tanuló algoritmus segítségével, időjárás-előjelzési adatok felhasználásával valósul meg. A fejlesztés eredményeként a következő napot jellemző kiegyenlítési kockázat nagy pontossággal felmérhető, így minden időszakra csak a ténylegesen szükséges tartalék kerül előírásra. A korábbi eljárásokhoz képest összességében várhatóan jelentős tartalékigény-megtakarítás lesz elérhető, mindemellett a kockázatvállalás mértéke is csökken a kiegyenlítő szabályozásban.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **MAVIR:** Versenytárgyalási Dokumentáció, https://mavir.hu/documents/10258/20730633/VD_20221216_clean.pdf/ca6da35e-1362-3abe-1ca3-e4a63f87f1ca?t=1671180523328
- [2] **A Bizottság (EU) 2017/1485 rendelete:** (2017. augusztus 2.) a villamosenergia-átviteli hálózat üzemeltetésére vonatkozó iránymutatás megalkotásáról (EGT-vonatkozású szöveg) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1485>
- [3] **MAVIR:** Nemzetközi Üzemi és Kereskedelmi Szabályzat, 4.11.4 A MAVIR Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság javaslata az LFC blokkra vonatkozó üzemviteli módszertanra a villamosenergia-átviteli hálózat üzemeltetésére vonatkozó iránymutatás megalkotásáról szóló 2017/1485 Bizottság (EU) rendelet 119. cikk (1) bekezdése szerint https://www.mavir.hu/documents/10258/245942619/4.11.4_LFC_Blokk_uzemviteli_modszeran_4_modositas_HUN.pdf/db4e68d9-362d-04e-66de-b23624fa4280?t=1679663210720
- [4] **ELIA:** Elia's LFC block operational agreement, 2022; https://www.elia.be/-/media/project/elia/elia-site/electricity-market-and-system/system-services/keeping-the-balance/20220715_lfcboa_v20220714_en_maindocument.pdf
- [5] **Mahajan, T., Singh, G., & Bruns, G.,** An experimental assessment of treatments for cyclical data [Conference session], 2021 Computer Science Conference for CSU Undergraduates, 2021, <https://scholarworks.calstate.edu/downloads/pv63g5147>



Beregszászi Miklós

elemző, MAVIR Zrt.
beregszaszim@mavir.hu



Fábian Attila

okleveles villamosmérnök
elemző
MAVIR Zrt.
fabianattila@mavir.hu



Tomasicss Sára

okleveles energetikai mérnök-közgazdász,
elemző
MAVIR Zrt.
tomasicss@mavir.hu

Balogh Dániel, Dr. Cselkó Richárd

Villamos berendezések élettartam-kiterjesztési lehetőségei

A villamosenergia-rendszer állandó és egyre nagyobb mértékű fejlődése következtében rendkívül fontos, hogy megfelelő döntéseket hozzunk az üzemben lévő berendezések további üzemeltetésének, vagy azok cseréjének kérdésében. A döntés ugyanis nagymértékben beleszól a 21. századi mérnöki értékekbe, mint a fenntarthatóság, a rendelkezésre állás, az optimális üzemelés és az ellátásbiztonság. Ezzel a kérdéskörrel részletesen foglalkozott a CIRED WG 2020-1 LIFETIME EXTENSION OPTIONS FOR ELECTRICAL EQUIPMENT munkacsoport. Jelen cikk a munkacsoport tevékenységét foglalja össze.

As the electricity system is constantly and increasingly expanding, it is crucial to make the right decisions about the continued operation or replacement of equipment in service. This decision has a major impact on the 21st century's engineering values such as sustainability, availability, optimal operation, and security of supply. This issue has been addressed in detail by the CIRED WG 2020-1 LIFETIME EXTENSION OPTIONS FOR ELECTRICAL EQUIPMENT. This article summarizes the activities of this working group.

1. BEVEZETÉS

A CIRED francia betűszó, magyar fordításban nemzetközi konferencia a villamosenergia-elosztás témakörében. Az elnevezéssel ellentétben, ami az első konferencia nevéből származik és 1971-re nyúlik vissza, mára egy belga székhelyű nemzetközi szervezetté nőtte ki magát, amely villamosenergia-szállítás és -elosztás témakörében fellépő mérnöki problémákkal foglalkozik, alapvetően az elosztóhálózatra koncentráva. Megmaradt a konferenciasorozat, amelyet kétfévente rendeznek kiegészítve műszaki kiállítással is. Ezen kívül kisebb rendezvényeket, workshopokat szerveznek gyakrabban. Hasonlóan egyéb szervezetekhez az irányított munkavégzés a tématerület szűkítésével és az erre specializálódott szakértők bevonásával munkacsoportokban történik. Jelen cikk a CIRED WG 2020-1 LIFETIME EXTENSION OPTIONS FOR ELECTRICAL EQUIPMENT elnevezésű munkacsoport tevékenységének bemutatása, amely 2022 decemberében fejeződött be. [1]

A munkacsoport kutatásának katalizátora nem is lehetne megfelelőbb, ugyanis az a villamosenergia-rendszer állandó és egyre nagyobb mértékű fejlődése, fizikai térnyerése. Ebben a kiélezett helyzetben különösen fontos, hogy megfelelő döntéseket hozzunk a berendezések további üzemeltetése, illetve azok cseréje kérdésében, hiszen nagymértékben ez közvetlenül beleszól az olyan alapvető 21. századi mérnöki értékekbe, mint a fenntarthatóság, a rendelkezésre állás, az optimális üzemelés és az ellátásbiztonság.

A rendszerbővítés nagy igénye miatt szükségessé válhat a meglévő hálózatelemek üzemben tartása, amíg újakat

telepítenek. Különösen az ilyen esetekben hangsúlyos az élettartam meghosszabbítása, hogy a berendezés még több évig megbízhatóan üzemelhesen. Az eszközök élettartamának optimális kihasználását célzó megközelítést több tényező alkotja, ami összetett képet eredményez kölcsönös függőségekkel és korlátokkal. A hálózatelemek életkora gyakran magas, bár állapotuk a terhelés vagy a környezeti hatások miatt jelentősen eltérhet. A villamosenergia-termelés és -felhasználás ugrásszerű változásai új üzemmódokat és követelményeket támasztanak a berendezésekkel szemben, különösen az elosztóhálózatokon – gondoljunk akár az elektromos járművek terjedésére, a jelenleg nagyon népszerű H tarifa miatti elektromos fűtési igény növekedésére, vagy a hálózati méretű kiserőművek számának növekedésére –, amelyet a technológiák fejlődése, valamint a jogi és szervezeti keretfeltételek változása tovább bonyolít.

2. AZ ESZKÖZGAZDÁLKODÁS

Az eszközgazdálkodás, angolul: asset management, egy rendkívül összetett fogalom, amely egyes esetekben már alapjaiban is különböző és kivétel nélkül mély ismereteket kívánó területek határán helyezkedik el. Területtől függetlenül az adott perspektívában lényeges, értéket hordozó tartalmakat nevezünk jószágnak, amely definícióra feltétlenül szükség van egy adott stratégia létrehozása során, hiszen a célfüggvény ezen dolgok állapotleírásának felhasználásával a ráfordítások optimalizálása. Jelen esetben az eszközgazdálkodás lényeges területe a mérnöki mellett, amellyel munkánk során konkrétan találkozunk, a pénzügyi. Ennek célja, hogy a jószágok állapotának javítása a pénzügyi költségfüggvény minimalizálása mellett történjen, tehát a portfólió növelése és a pénzügyi kockázat, azaz a ráfizetés lehetőségének csökkentése. [2]

Az eszközgazdálkodás mérnöki szemmel a meglévő eszközparkot illető javítási, csere döntések összefoglaló fogalmaként definiálható, amely figyelemmel kíséri állapotuk változását diagnosztika segítségével, és megpróbálja üzembiztonság szempontjából a lehető legjobb döntést meghozni egy adott eszközzel kapcsolatban, továbbá prioritizálja a beavatkozások időbeli sorrendjét. Ettől fogva a hálózatüzemeltetőnek több technikai és egyaránt menedzsmentorientált feladatot is el kell látnia, néhány példa ezekre: karbantartás (stratégia és tervezés), állapotfelmérés és kiértékelés, bővítés és megújítás (szintén stratégia és tervezés is), környezeti feltételeknek való megfelelés (például megfelelő erőműtípusok létesítése), új technológiák bevezetése, megbízhatóság és kockázat menedzselése, hatékonyság optimalizálása.

Ennek kapcsán említésre kell kerülnön az ISO 55000 szabvány, amely a fizikai eszközök optimális menedzselésével foglalkozik. 2014-ben jelent meg az eszközgazdálkodás területén alkalmazandó jó gyakorlatok iránti iparági igényeket kiszolgálva. Az ISO 55000 központi koncepciója egy irányítási rendszer alkalmazása a szervezet fizikai eszközeinek gondozására [3]. Irányelvek, gyakorlatok, folyamatok, üzleti szabályok, eljárások stb. gyűjteménye, amelyek irányítják az eszközgazdálkodási műveleteket.

2.1. Villamos berendezések élettartama

Az eszközgazdálkodás kapcsán felmerülő fontos fogalom a villamos berendezések élettartama. Legáltalánosabb megfogalmazásban azt az időtartamot értjük élettartam alatt, amíg az eszköz üzemben van. Az eszközök cseréjének folyamatát azonban nagyban befolyásolják az érintett felek érdekei [4], ezért az eszközök élettartamának több lehetséges megközelítése is van.

Az eszköz élettartama funkcionalitás szempontjából akkor ér véget, amikor az eszköz már nem képes tovább ellátni feladatát. Ez a megközelítés kizárólag technikai jellegű, ezért az eszközöket általában korábban lecserélik, hogy csökkentsék a kiesések számát és az üzemeltetési kockázatokat.

Megbízhatósági alapon a berendezés élettartama szorosan kapcsolódik maga a berendezés megbízhatóságához, meghatározása során figyelembe kell venni biztonsági és védelmi szempontokat, valamint a környezettel való kölcsönhatásokat is. Ez a funkcionális élettartamhoz képest korábban következik be, amint a kockázat elfogadhatatlanná válik.

A berendezés élettartama gazdasági szempontból akkor ér véget, amikor annak üzemeltetési, karbantartási, javítási vagy cseréjének költségei kiegyenlítik az eszköz által okozott kimaradások és az abból következő kiadásokat.

2.2. Javítás vagy csere indokai

Üzemben lévő eszközök cseréjére vagy javítására számos indok miatt szükség lehet. Egyrészt a berendezések normál üzemi körülmények mellett is folyamatosan degradálódnak, öregednek az őket érő külső és belső hatások következtében. Mivel a hőmérséklet elősegíti a legtöbb öregedési mechanizmust, és közvetlenül függ a terheléstől, így az üzemi körülmények jelentősen befolyásolják az elektromos berendezések állapotát. Az öregedést kiváltó okok sokszor összefüggnek, de visszavezethetők mechanikai erőhatásokra, villamos és kémiai folyamatokra.

A természetes öregedés mellett az eszközök hirtelen tönkremenetele is bekövetkezhet extrém terhelések következtében, legyen az villamos vagy mechanikai terhelés. Például a nagy áramú zárlatok esetén keletkező erőhatások belülről tehetik tönkre a berendezéseket, vagy súlyos mechanikai sérülés történhet például egy kábel elvágása vagy egy fa távvezetékre borulása esetén is.

A kritikus fontosságú berendezések esetén fontos szempont a csere- és pótalkatrészek elérhetősége. Az üzemeltetők számára így komoly problémát jelent, ha az adott termék gyártását megszüntetik, vagy a márka felvásárlását követően változtatnak a terméken. Még akkor is, ha a gyártói rendszeres karbantartás továbbra is támogatott. Az üzemeltetőknek így rendszeresen egyeztetnie kell a gyártókkal, hogy a berendezések élettartamával pontosan tudjon tervezni.

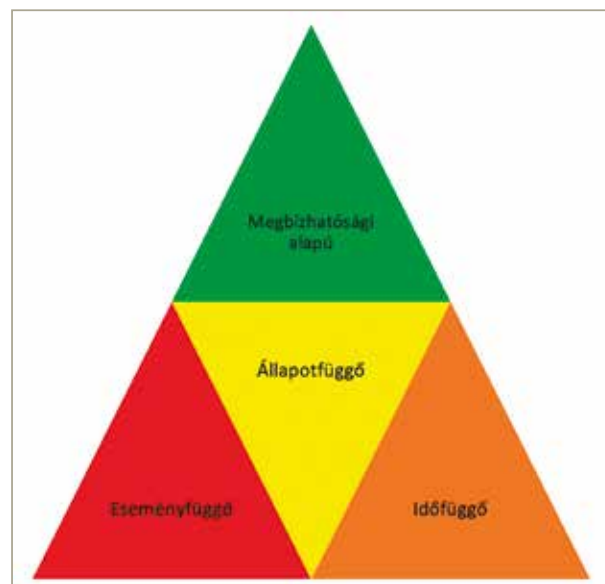
Szintén szükség lehet a még működő eszközök idő előtti cseréjére vagy modernizálására politikai döntések vagy előírások szigorításának következtében is. Közismert törekvés például az SF₆ gáz helyettesítése kapcsolóberendezésekben alternatív gázkeverékekkel. Az SF₆ gáz GWP- (Global Warming Potential) értéke ugyanis rendkívül nagy.

Végül pedig maga az energiarendszer folyamatos változása is indokolhatja még működő eszközök idő előtti cseréjét. Globális tendencia a villamos energia felhasználásának növekedése. Az IRENA (International Renewable Energy Agency) várakozása szerint 2050-re a villamos energia válik a fő energiahordozóvá, amely a teljes végső energiafelhasználás több mint 50%-át tenné ki [5]. Ez a mostani 21%-hoz képest rendkívül nagy növekedést jelent. Továbbá a hálózatnak a megbízhatóság megőrzése mellett alkalmazkodnia kell az időszakosan termelő energiaforrásokhoz is. Ahhoz, hogy a hálózat forgalmasabb csatlakozási pontjain ilyen körülmények között se alakuljanak ki túlterhelések, szükségessé válik a jelenleg alkalmazott eszközök cseréje.

3. KARBANTARTÁSI STRATÉGIÁK ÉLETTARTAM-NÖVELÉSRE

A karbantartási stratégia a karbantartási folyamatok irányítási módszere. A megfelelő stratégia megválasztása rendkívül fontos az üzemeltető számára, mivel nagymértékben befolyásolhatja az eszközök várható élettartamát. Az EN 13306 szabvány alapján a karbantartási stratégia kiválasztása során törekedni kell arra, hogy az eszközök optimális költségek mellett, minden előírást betartva biztonságosan és megfelelően működjenek, személyek vagy a környezet bármiféle veszélyeztetése nélkül [6]. Emellett a szabvány több módszert is megkülönböztet, azonban azt az üzemeltetőkre bízta, hogy ezek közül melyiket alkalmazzák.

A karbantartási stratégiák között megkülönböztetünk két nagyobb csoportot aszerint, hogy a stratégia eszköz- vagy rendszerorientált. Előbbi csoportba tartoznak az eseményfüggő, az állapotfüggő, valamint az időfüggő karbantartási stratégiák. Utóbbi csoportba pedig a megbízhatósági alapú és kockázatalapú stratégiákat soroljuk.



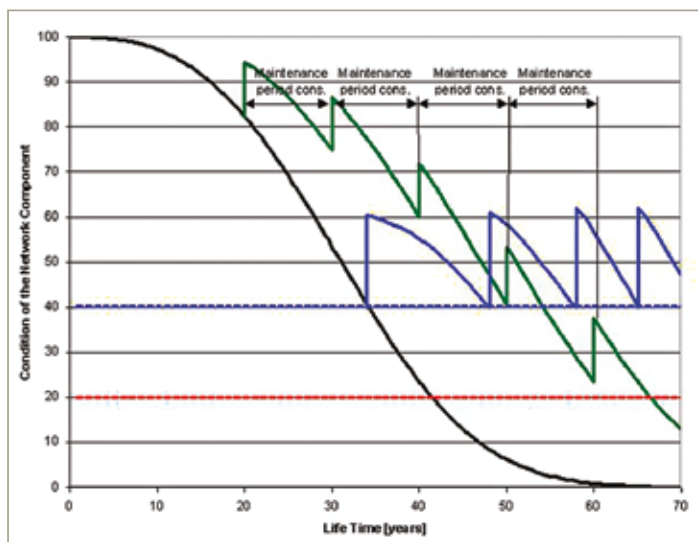
1. ábra Karbantartási stratégiák csoportjai

Az eseményfüggő karbantartási stratégia lényege, hogy egy eszköz cseréje vagy javítása kizárólag csak az eszköz meghibásodása után történik. A stratégiát általában akkor alkalmazzák, ha a meghibásodás következtében felmerülő költségek elhanyagolhatók.

Állapotfüggő stratégiáról beszélünk abban az esetben, ha az eszköz állapotát rendszeresen ellenőrzik diagnosztikai mérések útján. A mérési eredményeket az előre meghatározott diagnosztikai szinthez kell hasonlítani, és amennyiben nem felel meg a követelményeknek, akkor az eszközt javítani vagy cserélni kell.

Időfüggő stratégia esetén a karbantartás-munkákat periodikusan végzik, az eszközök állapotától függetlenül.

A 2. ábra fekete színnel jelöli egy berendezés állapotát élettartamának függvényében. A kék színű szaggatott vonal a diagnosztikai szintet jelöli, a szaggatott piros vonal pedig a kritikus állapotot. Minden karbantartási stratégia esetén az a cél, hogy a kritikus állapotot minél később érje el a berendezés. Az ábrán két stratégia hatása is látható a berendezés állapotára nézve. A kék folytonos vonal az állapotfüggő stratégiát szemlélteti. Látható, hogy beavatkozás történik, hogy az eszköz állapotát visszaállítsák, amint az a diagnosztikai



2. ábra Karbantartási stratégiák hatása a berendezés élettartamára [7]

sintre esik vissza. A zöld folytonos vonal az időfüggő stratégiát szemlélteti, ahol periodikusan történik az eszköz karbantartása.

A megbízhatósági alapú stratégia esetén az eszközök állapotát ellenőrzik, továbbá figyelembe veszik a berendezés szerepét is és kockázati értékelést végeznek, hogy megállapítsák a szükséges intézkedéseket.

Az üzemeltetőknek van egy további lehetősége is, amikor egyáltalán nem végeznek karbantartási munkálatokat, helyette a rendszert teljesen felújítják bizonyos időközönként.

4. ÁLLAPOTFELMÉRÉS

A hálózatüzemeltetők eszközgazdálkodási döntéshozói felelősek a rendszer magas szintű megbízhatóságának biztosításáért, valamint céljaik közé tartozik a berendezések élettartamának növelése és az adott pénzügyi keretnek való megfelelés is. A rövid és hosszú távú döntések meghozatalának azonban előfeltétele a teljes flotta és az egyes berendezések műszaki állapotának részletes ismerete. Ehhez szükséges az eszközök állapotfelmérése, aminek ki kell terjednie a pótalkatrészekre is. Különböző diagnosztikai lehetőségek és módszerek állnak rendelkezésre az egyes berendezések vagy egy egész flotta állapotának felmérésére. A lehetőségek között szerepelnek villamos, mechanikai, kémiai, illetve egyéb paraméterek vizsgálata is. Ezen paraméterek mérési eredményei alapján lehetséges a berendezéseket értékelni.

Vizsont egy több komponensből álló komplex rendszer, mint például egy olajjal töltött teljesítménytranszformátor vizsgálata, nem lehetséges egyetlen diagnosztikai módszerrel, helyette a berendezés különböző komponenseit különböző módszerekkel vizsgálják, és az eredményeket összesítik, hogy a berendezés állapotáról egyetlen érték formájában (gyakran „állapotindex” néven) adjanak tájékoztatást. Annak érdekében, hogy egy ilyen összetett diagnosztikai eljárás áttekinthető legyen, a különböző diagnosztikai és ellenőrzési módszereket célszerű a berendezés kisebb komponensei szerint kategorizálni. Továbbá, ha egy módszer nem mutat ki hibát, az nem garantálja, hogy valóban nincsen hiba. Előfordulhat, hogy a módszer egyszerűen nem képes észlelni azt. E bizonytalanság leküzdésére általában több módszert kombinálnak, hogy minősített eredményre jussanak.

5. ESETANULMÁNYOK

5.1. Kábelek eszközgazdálkodási stratégiája

A Vorarlberg netz az illwerke vkw AG leányvállalata, amely a villamosenergia- és földgázhálózat üzemeltetéséért felelős. [8] A Vorarlberg netz vagyongazdálkodási rendszere az ISO 55000 nemzetközi szabványban használt struktúrán és terminológián alapul. Rendszeresen különböző ellenőrzéseket és vizsgálatokat (szemrevételezés, villamos és kémiai/fizikai vizsgálatok) végeznek annak megállapítására, hogy a nagy- és középfeszültségű kábelek üzembiztonságos állapotban vannak-e.

Ezen eszközök élettartama (szerelvényekkel együtt) normál áramszolgáltatói terhelési körülmények között legalább 40 évnek feltételezhető, az állapot szűrőpróbaszerű értékelését először ezen időszak letelte után kell mindenképpen elvégezni. Középfeszültségű kábelek esetében elsősorban AC és DC feszültségpróbát alkalmaznak diagnosztikai célból, mivel a piacon elérhető egyéb módszerek néha téves diagnózishoz vezetnek. Nagyfeszültségű kábelek esetében a szigetelés aktuális állapotának felmérését külső szolgáltatóknak kell elvégezniük és a piacon elérhető diagnosztikai módszerekkel kell alkalmazniuk. Ha a kábelek minden előírásnak megfelelnek, akkor az ellenőrzést 10 év múlva kell megismételni. Amennyiben a vizsgálat során a kábelek jelentős mértékű öregedése állapítható meg, akkor a megnövekedett meghibásodási valószínűség alapján megállapítják a kábelek cseréjének prioritását. Kábel cseréjének prioritása alapján három kategóriát különítenek el.

A legnagyobb prioritású kábeleket azonnal ki kell cserélni. A második prioritási kategória esetén a kábeleket közép távon kell kicserélni és a kategórián belül a sorrend felállításánál figyelembe kell venni, hogy a kábelek mennyire helyezkednek el kritikus helyen. A legkisebb prioritású kábelek tovább üzemeltethetők ugyan, de a következő állapotfelmérést 10 év helyett 5 év múlva kell elvégezni.

5.2. Transzformátorok hibadiagnosztikája gépi tanulással

A teljesítménytranszformátor, mint az átviteli hálózatok legértékesebb berendezése, közvetlenül befolyásolja a villamosenergia-hálózatok megbízhatóságát. Egy Cigré-felmérés 1996 és 2010 között 21 országból 964 olyan súlyos meghibásodást gyűjtött össze [9], amelyek miatt a transzformátort hét napnál hosszabb ideig ki kellett vonni a forgalomból. Az efféle kiesések számát minél jobban csökkenteni kell, ezért rendszeres diagnosztikát végeznek az eszközökön, hogy egy esetleges hiba jelenlétét még annak kezdeti állapotában ki tudják javítani. A hagyományos karbantartás általában ütemezett ellenőrzéseken és fizikai vizsgálatokon alapul, mely magában foglalja az oldott gáz elemzését, a részleges kisülések detektálását, a nedvesség detektálását, a polimerizációs fok megállapítását, valamint a frekvenciaválasz és a mechanikai rezgések megfigyelését [10]. Az elmúlt években több kísérletet is tettek, hogy a gépi tanuláson alapuló algoritmusokat is integrálják a fenti vizsgálatokba.

Az esettanulmány egy gépi tanuláson alapuló adatvezérelt hibadiagnosztikát fejlesztett ki nagyfeszültségű berendezések állapotfigyeléséhez. Ez a megközelítés a karbantartás szükségességének előrejelzését teszi lehetővé és segítségével maga a hiba is megelőzhető, ha az eszközök karbantartása még a hibakialakulás előtt megtörténik. A diagnosztika eredménye a megbízhatósági alapú karbantartáshoz is felhasználható.

Normál működés modellezése végett a mély tanuló algoritmust felügyelet nélkül tanítják. A kulcsfontosságú jellemzők kinyerése autoencoder háló segítségével történik, a teljesítménytranszformátorok normál viselkedése esetén fennálló összefüggőségek modellezéséért pedig GRU- (Gated Recurrent Unit) egységek felelnek. Végül a módszer control chartok segítségével hoz létre riasztásokat, melyekkel jelzi a háttérben megbúvó rendellenességeket.

A módszer egy online adatkészlettel volt tesztelve, mely teljesítménytranszformátorok érzékelőhibáit tartalmazta. Az eredmények alapján a módszer képes beazonosítani a tényleges meghibásodást, mielőtt maga a hiba bekövetkezne. Bemeneti adatok hiányában azonban a szerzők nem tudtak több hasznos információt integrálni a módszer javításához és a módszer transzformátorhibákkal történő teszteléséhez. A módszer azonban jövőbeni munkák során tovább fejleszhető.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A villamosenergia-rendszer állandó és egyre nagyobb mértékű fejlődése következtében rendkívül fontos, hogy megfelelő döntéseket hozzunk az üzemben lévő berendezések további üzemeltetésének, vagy azok cseréjének kérdésében. A döntés meghozatala során azonban nemcsak a berendezések fizikai paramétereit kell figyelembe venni, hanem a lehetséges kockázatokat, a beavatkozás gazdasági vonzatait, valamint az ökológiai szempontokat is. Éppen ezért minden szolgáltatónak szükséges kialakítani saját karbantartási stratégiáját, melyhez az ISO 55000 szabvány csak az alapot biztosítja. A kialakítandó stratégiához hozzátartozik a piaci szereplők közötti kommunikáció is, hiszen biztosítani kell a cseréhez vagy javításhoz szükséges pótalkatrészek elérhetőségét is. Míg a szolgáltatók az eszközök hosszú élettartamához a megfelelő karbantartási stratégiával járulnak hozzá, addig a gyártók feladata, hogy az új tervezésű berendezések kis ráfordítással felújíthatók, javíthatók vagy korszerűsíthetők legyenek, és a felhasznált nyersanyagok újrahasznosíthatók legyenek.

Ezzel a témakörrel foglalkozott a CIRED WG 2020-1 LIFETIME EXTENSION OPTIONS FOR ELECTRICAL EQUIPMENT

munkacsoport, mely 2022 decemberében fejezte be működését. Jelen cikkünk célja pedig a munkacsoport munkájának rövid bemutatása volt.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] CIRED WG 2020-1 Lifetime extension options for electrical equipment, International Conference on Electricity Distribution, 2022, <http://www.cired.net/cired-working-groups/lifetime-extension-wg-2020-1> látogatás dátuma: 2023.05.11.
- [2] **M. S. Somia Alfatih, M. Salman Leong, L.M. Hee:** Definition of Engineering Asset Management: a Review, Trans Tech Publications Ltd., Applied Mechanics and Materials, DOI: AMM.773-774.794, ISSN: 1662-7482, Vols. 773-774, pp 794-798, 2014
- [3] ISO 55000, Vagyongazdálkodás. Áttekintés, alapelvek és terminológia, 2014
- [4] CIGRE Technical Brochure 877, „Life Extension of Oil Filled Transformers and Shunt Reactors,” CIGRE WG A2.55, Tech. Rep., 2022
- [5] IRENA report 2021, ISBN: 978-92-9260-334-2, IRENA World Energy Transitions outlook, 2021
- [6] EN 13306:2017, Maintenance. Maintenance terminology, ISBN: 978 0 580 90370 0, 2018
- [7] C. Sumereder, M. Muhr und B. Körbler, „Life Time Management of Power Transformer,” in CIRED 17th International Conference on Electricity Distribution, Barcelona, Spain, 2003
- [8] „vorarlberg netz,” [Online]. Available: <https://www.vorarlbergnetz.at/>. [From 29 11 2022].
- [9] CIGRE, „642 Transformer reliability survey,” CIGRE WG A2.37, 2015
- [10] **A. A. Siada,** Power Transformer Condition Monitoring and Diagnosis, The Institution of Engineering and Technology, 2018



Balogh Dániel

villamosmérnök MSc hallgató
BME Villamos Energetika Tanszék
balogh.daniel@edu.bme.hu



Cselkó Richárd

BME VET egyetemi adjunktus
A Nagyfeszültségű Laboratórium
helyettes vezetője
MEE-tag
cselko.richard@vik.bme.hu

HÍREK

Energiamenedzsment- megoldásokkal épül újjá a Notre-Dame

A legmodernebb energiamenedzsment-megoldások bevezetésére írt alá együttműködési megállapodást a párizsi Notre-Dame helyreállításáért felelős szervezet és a Schneider Electric. A vállalat a jelenleg legkorszerűbbnek számító energetikai berendezéseket teszi elérhetővé a székesegyház számára, így a helyszíni áramellátáshoz szükséges eszközökön túl az épületben olyan épületirányítási rendszert (BMS) is telepítenek, ami annak energiagazdálkodását és energiafogyasztását is optimalizálja. A Notre-Dame-ot várhatóan 2024-ben nyitják majd meg újra a látogatók előtt.

A székesegyházat 2019. április 15-én súlyosan megrongáló tűz rendkívüli szolidaritási hullámot indított el Franciaország-szerte, melyből a francia gyökerekkel bíró Schneider Electric is ki akarta venni a részét.



A különleges környezetben megvalósuló projekt több szempontból is egyedülálló. Az épület műemlék státuszából adódó előírások és elvárások, a székesegyház mérete, a logisztikai, térbeli és hozzáférési korlátok (lépcsőházak, pincék, boltzatok stb.), egyaránt kihívás elé állítják a Schneider Electric szakembereit. A helyszíni áramellátását biztosító munkálatok néhány hónapon belül kezdődnek. *Forrás: SE*

Rácz Levente, Balogh Dániel, Dr. Németh Bálint

Távvezetési sodronyok állapotfelügyelete mesterséges neurális hálózatokkal

A nagyfeszültségű hálózatokon egyre nagyobb kihívást jelent a fázisvezető sodronyok állapotfelügyelete és valós élettartamának feltárása. Az ACSR sodronyok esetében az egyik fő termikus degradációs folyamat a kilágyulás, mely a 100 °C körüli hőmérsékleti tartományban jelentkezik. Bár a sodronyok lokális hőmérséklete jól mérhető, az ehhez szükséges szenzorok jelentős költségekkel járnak. Jelen cikk célja, hogy bemutassa, miként válthatók ki a sodronyon végzett szenzoros mérések mesterséges intelligencia bevonásával. Az elvégzett szimulációk alapján elmondható, hogy közel egyévnnyi tanítóadat esetén a neurális hálóra épülő modell a korábbi számítási eljárásoknál pontosabb, a szenzorok mérési tartományába eső eredményt adott. Erre a modellre alapozva felépíthető egy olyan sodrony állapotfelügyeleti rendszer, amely alkalmas lehet a kilágyulás és a távvezetési jegesedés megelőzésére is.

In high-voltage networks, monitoring the condition of the phase conductors and estimating their real lifetime is increasingly challenging. In the case of ACSR conductors, one main thermal degradation process is annealing, which occurs in the temperature range of around 100°C. Although the local conductor temperature can be measured well, the sensors required for this involve significant costs. This paper aims to show how artificial intelligence can improve conductor temperature calculation. Based on the simulations performed, in the case of almost one year of training data, the model based on the neural network gave a more accurate result falling within the measurement range of the sensors. Based on this model, a conductor condition monitoring system can be built to prevent annealing and transmission line icing.

1. BEVEZETÉS

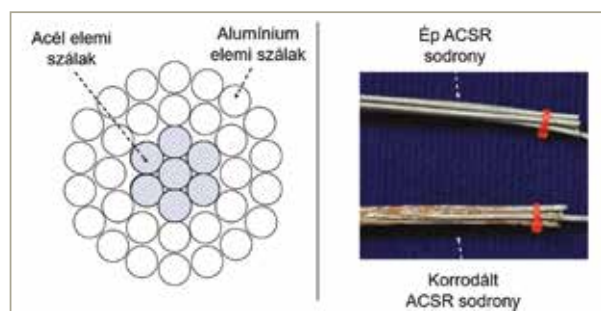
A nagyfeszültségű hálózat üzemeltetőinek egyik fő kihívása, hogy hogyan tudják egy dinamikusan változó termelési környezetben megbízhatóan és biztonságosan üzemeltetni a hálózati elemeket [1]. Ez a jelenség kihat a már meglévő, folyamatosan öregedő távvezetékek üzemeltetésére, és az azokhoz kapcsolódó eszközgazdálkodásra is [2]. Az eszközgazdálkodás során nem elég csak gazdasági szempontokat figyelembe venni, hanem több, alapjaiban különböző szakterület mély ismerete szükséges a döntések meghozatalához [3]. Az alálomási berendezések esetében könnyen és pontosan mérhető a termikus és a villamos paraméterek, így azok állapotbecslésére számos modell érhető el a hazai és nemzetközi szakirodalomban is [4][5]. Ezzel szemben a nagyfeszültségű távvezetékek valós idejű megfigyelése a nagy térbeli kiterjedésük miatt nemcsak körülményes, de jelentős

költségekkel is jár [6]. A BME Nagyfeszültségű Laboratóriumának kutatócsoportja jelenleg is egy komplex, távvezeték állapotfelügyeleti rendszer kidolgozásán dolgozik, mert a problémakör feloldására még nincsen széles körben elfogadott koncepció.

2. ACÉLALUMÍNIUM SODRONYOK DEGRADÁCIÓJA

2.1. Az acélalumínium sodronyok felépítése

A nagyfeszültségű távvezetékek fázisvezetőinek több mint 80%-át világszerte acélalumínium (aluminum-conductorsteel-reinforced – ACSR) sodronyok adják [1]. Az ACSR sodronyok felépítésüket tekintve spirálisan sodrott acélszálakból és az azok köré koncentrikusan elhelyezett, keményre húzott alumínium elemi szálakból állnak (1. ábra). Az alumíniumrészek vezetnek a fázisáramok közel 98%-át, míg az acélhuzalok a sodrony mechanikai szilárdságát növelik.



1. ábra ACSR sodronyok; a) az ACSR sodronyok keresztmetszetének képe; b) Ép ACSR sodrony és erősen korrodálódott fázisvezető [7]

2.2. Az acélalumínium sodronyok öregedése

Az acélalumínium sodronyok külső (környezeti) és belső (üzemeltetés során kialakuló) behatások miatt idővel öregednek, amely kihat a fizikai paramétereikre is (1. ábra) [8]. Az ilyen típusú sodronyok esetében az egyik fő termikus veszélyforrás a 93 °C–100 °C-os hőmérsékleti tartományban kezdődő kilágyulás, amely főként az alumíniumszálakat érinti [9][10]. A jelenség elsősorban a 80 °C-ra kiosztott, jelentősen kiterhelt, vagy a terhelhetőségi határ felett üzemeltetett távvezetékeket érinti. Ilyen körülmények egyre gyakrabban fordulnak elő a hazai és a környező országokban is a növekvő megújuló energiaforrás részarány és a határmetszéki villamosenergia-áramlások eredményeképpen. A kilágyulás nyomán a sodrony veszít a szakítószilárdságából és marad alakváltozást szenved, amely kedvezőtlen a belógás szempontjából. Az öregedés másik következménye, hogy a sodrony felületének megváltozik az abszorpció és emissziós tényezője, amely a termikus állapot és a terhelhetőség számításához szükséges hőegyenletekben okoz változást [11]. Mindkét folyamat szoros összefüggésben van a sodrony termikus viselkedésével, ezért a degradációs folyamatok feltárásakor célszerű a sodrony hőmérsékletét monitorozni.

2.3. Termikus paraméterek vizsgálata

Az acélalumínium sodronyok hőmérsékletének meghatározására több módszer is elérhető. A leginkább költséghatékony megoldás a sodronyok hőmérsékletének direktszámítása, amelyhez időjárási tényezőkre van szükség. Ha adottak a bemenetek, néhány lépéssel meghatározható az aktuális termikus állapota CIGRE, vagy az IEEE brosúrák hőegyenleteivel [11][12]. Ettől költségesebb megoldás a közvetlen hőmérsékletmérés, vagy a belógás mérése lézeres távolságmérővel

alapuló szenzorok segítségével (2. ábra). Mivel a belógás és a sodrony átlaghőmérséklete között egzakt kapcsolat van, a fázisvezető belógásából könnyen visszafejthető a termikus állapot is.

3. A SODRONYOK TERMIKUS VISELKEDÉSÉNEK DIAGNOSZTIKÁJA

3.1. A hőmérséklet-meghatározás sajátosságai

Ha a sodrony hőmérsékletét az időjárási tényezők vagy a belógás görbe alapján határozzuk meg, akkor az eredmény minden esetben egy, az egész oszlopközre jellemző átlagos érték lesz. A sodronyban ugyanakkor előfordulhat longitudinális hőmérsékleti eltérés (nem ugyanaz a hőmérséklet az oszlopköz közepén és a felfüggesztési pontok mellett), és a terhelés növelésével megjelenhet radiális hőmérsékleti eloszlás is (az alumínium elemi szálak hőmérséklete más a sodronyfelületen és az acélmaggal érintkező részeken). Ezek a jelenségek torzíthatják a fenti eredményeket [11].



2. ábra Távvezeték felügyeleti szenzorok; a) LiDAR elven működő belógásmérő szenzor; b) kontakt hőmérsékletmérő szenzor [13]

A kilágylás jellemzően lokális hőmérsékleti maximumoknál jelentkezik, emiatt célszerű legalább az egyik eloszlási tényezőt kiiktatni, és kontakt hőmérsékletméréssel több pontban meghatározni a sodrony felületi hőmérsékletét. Erre a célra leginkább a fázisvezető sodronyokra telepíthető kontakt szenzorokat szokás használni (2. ábra) [14].

3.2. A lokális hőmérséklet-meghatározás kihívásai

A kontakt szenzorok használatával kapcsolatban két fontos kihívás mutatkozik. Az egyik a szenzorok elhelyezésével, míg a másik azok működésével kapcsolatos. Tekintve, hogy előre nem ismert, hogy az oszlop- és a feszítőköz mely pontjain lesznek lokális hőmérsékleti maximumok, nagyszámú eszközzel van szükség, amely jelentős költségekkel jár. Másrészt ezek a szenzorok általában áramváltón keresztül tápláltak, így működésük egy meghatározott minimális áramterheléshez kötött [15]. Mindkét eset azt mutatja, hogy a mérések mellett szükség van a lokális sodronyhőmérséklet pontos számítására is.

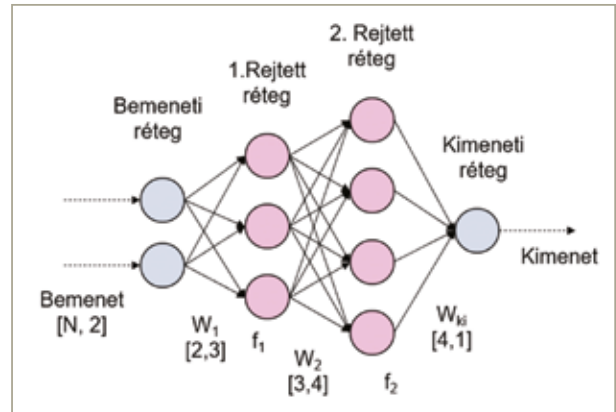
4. SODRONYHŐMÉRSÉKLET-SZÁMÍTÁS NEURÁLIS HÁLÓZATOKKAL

4.1. Mesterséges neurális hálózatok alkalmazása

A gyors és pontos lokális sodronyhőmérséklet számítására egy lehetséges stratégia a gépi tanuláson alapuló algoritmusok használata [16].

Ezen módszerek közé tartoznak a mesterséges neurális hálózatok (3. ábra), amelyek képesek mintázatokat, összefüggéseket feltárni és azokkal kapcsolatos problémákat megoldani nagyobb adathalmazokon.

A mesterséges neurális hálózatokban a processzáló elemeket neuronoknak nevezik, amelyek különböző rétegekbe ren-



3. ábra Egy általános neurális hálózat sematikus felépítése [16]

deződnék [17]. A neuronok olyan több-bemenetű eszközök, amelyek a kimenetet valamilyen nem lineáris leképezéssel (aktivációs függvény) határozzák meg. Az ilyen hálózatok a rendszerben lévő szabad súlyok és paraméterek beállításával taníthatók, melynek eredményeképpen tetszőleges bemenetre előállítható a kívánt kimenet.

4.2. Az elvégzett szimulációk

A sodronyok lokális hőmérséklet-számításához is alkalmazhatók neurális hálózatok. Ebben az esetben a bemeneti paramétereket a környezeti tényezők (külső hőmérséklet, szél, napsugárzás stb.) és terhelési adatok (SCADA rendszerből kinyert terhelés) adják. A rendszer kimenete minden esetben a sodrony lokális hőmérséklete, amelyet a tanító időszakban egy kontakt szenzor mérései biztosítanak [15][16].

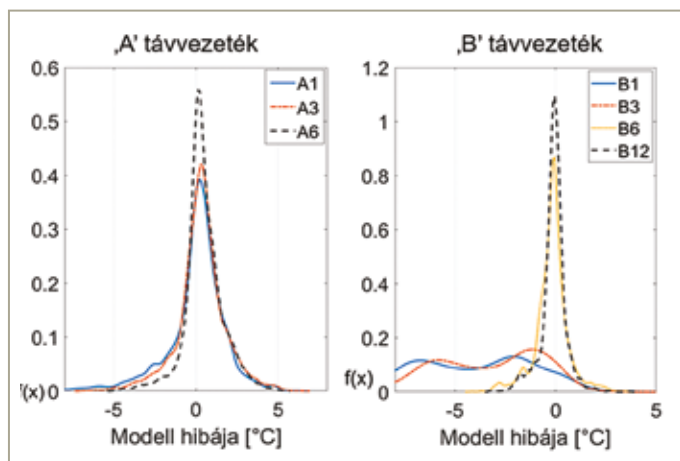
A szimulációk során az Európai Unió Horizont 2020 program által támogatott „Facilitating Regional CROSS-border Electricity Transmission through Innovation” (FARCROSS) projekt adatait használtuk fel. Ebben a projektben négy ország két-két belföldi és határkeresztesztő távvezetékeire telepített kontakt hőmérsékletmérő szenzorokat. Az alkalmazott szenzor gyártó által meghatározott technikai adatait az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A kontakt hőmérsékletmérő szenzor technikai specifikációja

A hőmérsékletmérés paraméterei	Gyártó által definiált érték
Mérési tartomány	-40 °C és +125 °C között
Mérési felbontás	0.5 °C
Mérési pontosság	±1 °C

Az elvégzett szimulációknak célja kettős volt. Egyrészt azt kellett megvizsgálni, hogy mekkora tanító adathalmazra van szükség ahhoz, hogy a neurális háló által számított sodronyhőmérséklet megközelítse a szenzor mérési pontosságát. Ehhez egy 220 kV ('A' jelű) és egy 400 kV ('B' jelű) feszültségszintű távvezetékre telepített szenzor adataival végeztünk szimulációkat, melyek eredményét a 4. ábra részletezi.

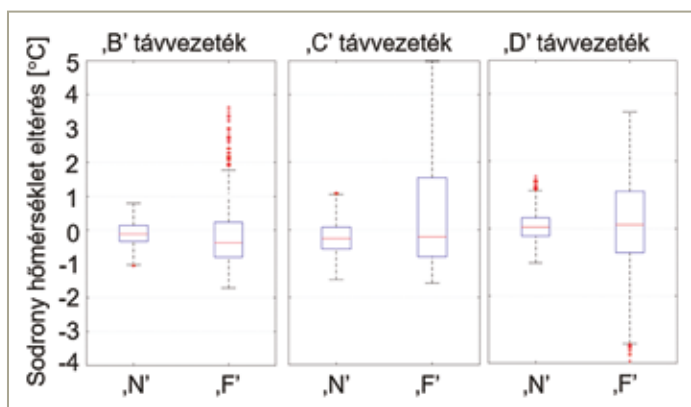
A szimulációk során azt vizsgáltuk, hogy milyen eredményt ad egy háromrétegű, előrecsatolt kaszkád neurális hálózat, ha egyhavi, háromhavi, félévnnyi és egyévnnyi, tanítóadattal tanítjuk be. A környezeti, terhelési és termikus adatok 10 perces időbeli felbontással álltak rendelkezésre a vizsgált időszak közel egésze alatt. A 4. ábrán az látható,



4. ábra A neurális háló alapú modell hibája különböző nagyságú tanító adatsorral; (Az 'A1' jelölés az 'A' távvezetéken 1 hónapnyi tanítóadattal szimulált esetet jelöli.)

hogy a tanító adatsor növelésével mind az 'A', mind a 'B' távvezetéken csökken a modell hibája. Az 'A' távvezetéken a legkisebb hibát a szaggatott vonallal jelölt 'A6' szimulációs eset szolgáltatta, amelynél félévnyi tanítóadat állt rendelkezésre. Ilyen mennyiségű adatpárral már megközelíthető a szenzor mérésének pontossági szintje, de az eredmény még kívül esik az elfogadható tartományon. Ezzel szemben a 'B' távvezetéken egyévnnyi tanítóadat ('B12' eset) segítségével elérhető a szenzor mérési pontosságával megegyező pontosság. Ez azt is jelenti, hogy egy egyéves tanítási időszakot követően a neurális hálóra épülő modell a szenzortól függetlenül is alkalmazható lokális sodronyhőmérséklet-mérésre.

Ezt követően arra a kérdésre kerestük a választ, hogy egy megfelelő mennyiségű és minőségű adatpárral betanított modell pontosabb hőmérséklet-számítást tesz-e lehetővé, mint a korábban használt számítási módszer. Az ehhez a szimulációhoz tartozó eredményeket az 5. ábra részletezi.



5. ábra A neurális háló alapú modell számítási pontossága a fizikai modellekhez képest

Az 5. ábrán jelölt 'B', 'C' és 'D' távvezetékek egyenként egy 400 kV, 220 kV és egy kétrendszerű 400 kV feszültségű távvezetékeket jelölnek. Az ábrán az 'N' eset a neurális háló alapú modell eredményeit, míg az 'F' eset a fizikai modellen alapuló, CIGRE szerinti számítást jelöli. A viszonyítási alap mindkét esetben a kontakt hőmérsékletmérő szenzor augusztus havi méréssorozata volt (amely nem szerepelt a neurális háló tanítási adathalmazában). Az eredmények eloszlását a 2. táblázat részletezi.

A 2. táblázat azt mutatja, hogy a neurális háló alapú modell nem csak gyorsabb, de pontosabb lokális hőmérsékleti számítást tesz lehetővé a korábbi számítási modelleknél. Fontos azonban megjegyezni, hogy nagy áramterhelések mellett az így kapott eredményt még a radiális hőmérséklet-eloszlással is korrigálni kell a nemzetközi modellek szerint [18]. Emellett arra is hangsúlyt kell fektetni, hogy milyen sorrendben kerülnek fel a szenzorok az egyes távvezeteki szakaszokra, és mely feszítőközök monitorozása elengedhetetlen a modell tanítása során [19][20]. A BME-NFL kutatócsoportja ezen a téren számottevő távvezeteki adatbázissal és ismerettel rendelkezik a nemzetközi DLR (dinamikus távvezeték terhelhetőség) projekteknek köszönhetően.

2. táblázat A hőmérséklet-számítás pontossága

Távvezeték	Használt modell	Alsó határ	Medián	Felső határ
'B'	'N'	-1.00 °C	-0.11 °C	0.79 °C
	'F'	-1.71 °C	-0.37 °C	1.76 °C
'C'	'N'	-1.48 °C*	-0.26 °C	0.97 °C
	'F'	-1.58 °C	-0.21 °C	4.97 °C
'D'	'N'	-0.99 °C	0.05 °C	0.98 °C
	'F'	-3.47 °C	0.11 °C	3.53 °C

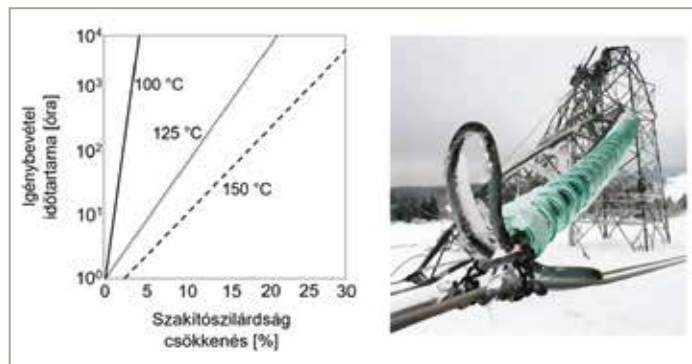
* Ez az eset kívül esik az 1 °C-os szenzor pontossági szinten, viszont a neurális hálós modell a biztonság felé téved.

4.3. Sodrony állapotfelügyeleti rendszer lehetőségei

A bemutatott eredmények alapján a neurális háló alapú sodronyhőmérséklet-számításnak több olyan kedvező tulajdonsága is van, amely lehetővé teszi egy termikus állapotfelügyeleti rendszer kialakítását. Ezen kedvező tulajdonságok az alábbiak:

- a tanításhoz elegendő közel egyévnnyi tanító adatsor;
- rövid számítási idő, a modell akár valós időben is futtatható;
- pontosabb lokális hőmérséklet-számítás.

A bemutatott eredmények alapján kiküszöbölhetővé válik a kontakt hőmérsékletmérő szenzorok két gyengesége is. A szenzorok költsége oly módon csökkenthető, hogy az egyéves tanítási periódust követően az eszközök áttelepíthetők a távvezeték más pontjaira. Ezzel lehetőség nyílik a korábbinál lényegesen több helyen is lokális hőmérsékletet mérni és



6. ábra A sodronyfelügyeleti rendszerben vizsgált folyamatok; a) a szakítószilárdság csökkenése a termikus igénybevétel függvényében [21]; b) jegesedés miatt leszakadt távvezeték Közép-Európában [22]

számítani. Ezt a megoldást elsőként a BME-NFL kutatócsoportja dolgozta ki és vezette be a nemzetközi gyakorlatba [15][16]. Amennyiben kellő pontban áll rendelkezésre valós idejű mérés vagy számítás, a rendszerirányítónak csak a lokális hőmérsékletet kell monitorozni, és rögzíteni a kilágyulási tartományba eső termikus periódus hosszát és amplitúdóját [21]. Ily módon egyértelműen számíthatóvá válik a sodrony szakítószilárdság-vesztése (6. ábra).

A modell ezen felül képes kiküszöbölni azokat a periódusokat is, amikor nincs elegendő fázisáram az eszköz működéséhez. Ez különösen kritikus lehet a téli időszakban, mikor valós veszélyt jelent a sodronyok jegesedése. A jégréteg kialakulásának elkerüléséhez a sodrony hőmérsékletét +2 °C felé kell emelni kontrollált áramterhelés-növekménnyel [23]. E folyamatmonitorozáshoz szintén jó támogatást nyújt a neurális hálón alapuló számítási mód.

Bár a modellnek számos kedvező tulajdonsága van, azt fontos kiemelni, hogy a tapasztalatok alapján távvezetési szenzorok nélkül sem megbízható állapotfelügyeleti, sem pedig teljes funkcionalitású DLR rendszer nem építhető ki.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A nagyfeszültségű távvezetékek sodronyainak állapotdiagnosztikája különösen fontos az öregedő hálózati részekben. A sodronyok degradációjának egyik fő kontrollálható eleme a túlterhelés következtében kialakuló kilágyulás, mely főleg lokális hőmérsékletcsúcsok közelében alakul ki. Bár ezek a nagy hőmérsékletű periódusok jól mérhetők kontakt szenzorokkal, az eszközök költsége nem teszi lehetővé, hogy minden kritikus pontot valós időben monitorozzunk. Jelen cikkben azt mutattuk be, hogy egy neurális háló alapú modellnek mekkora tanító adathalmazra van szüksége, és milyen pontosság érhető el az alkalmazásával. Az elvégzett szimulációk alapján közel egyéves tanító adatsorral a korábban alkalmazott fizikai modelleknél pontosabb, a szenzorok mérésével összemérhető lokális hőmérséklet-számításra nyílik lehetőség. Ezzel együtt kialakítható egy olyan sodrony állapotfelügyeleti rendszer is, amely egy neurális hálózaton keresztül a sodrony lokális hőmérsékletének monitorozására épül. Ezt a megoldást a BME-NFL kutatócsoportja dolgozta ki és alkalmazta először sikeresen a nemzetközi gyakorlatban. Az állapotfelügyeleti rendszer egyik fő előnye, hogy a tanítási időszakot követően a szenzor áttelepíthető más távvezetési részekre, így idővel folyamatosan bővíthető a megfigyelt távvezeték szakaszok hossza. A bemutatott megoldás megbízhatóbb termikus állapotfelmérést eredményez az egyszerűbb szenzoros megfigyeléstől, így jól használható a kevésbé kiterhelt távvezetékek jegesedésének elkerüléséhez is. A kedvező tapasztalatok mellett ugyanakkor fontos kiemelni, hogy mind egy teljes funkcionalitású DLR, mind pedig egy sodrony állapotfelügyeleti rendszer kiépítéséhez elengedhetetlen a távvezetési szenzorok használata.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Douglass, D. A.:** Transmission Lines: Designing for Open Access Transmission [In My View]. IEEE Power and Energy Magazine, 2020, 18(2), 91-96.
- [2] **Tsimberg, Y., Lotho, K., Dimnik, C., Wrathall, N., & Mogilevsky, A.:** Determining transmission line conductor condition and remaining life. In 2014 IEEE PES T&D Conference and Exposition (pp. 1-5). IEEE.
- [3] **EPRI:** EPRI AC Transmission Line Reference Book-200kV and Above, 2017 Edition
- [4] **Németh, B., Labonc, S., & Kiss, I.:** Condition monitoring of power transformers using DGA and fuzzy logic. In 2009 IEEE Electrical Insulation Conference (pp. 373-376). IEEE.
- [5] **Németh, B., Csépes, G., & Vörös, Cs.:** Applicability of the dielectric response methods of diagnostics of power transformers: Hungarian experiences. In 2011 Electrical Insulation Conference (EIC). (pp. 49-53). IEEE.

- [6] **Lugschitz, H.:** Overhead lines and underground cables. In Overhead Lines (pp. 1299-1318). Springer, 2017
- [7] **Kinectrics Inc.:** LineVue Conductor Inspection Tool, Available: <https://www.kinectrics.com/files/brochures/LineVue-Brochure.pdf>
- [8] **Zheng, W., Li, X., Xu, Z., Jin, Z., & Liu, Y.:** Research on corrosion mechanism of overhead conductor. In E3S Web of Conferences, 2021. EDP Sciences.
- [9] **Morgan, V. T.:** Effect of elevated temperature operation on the tensile strength of overhead conductors. IEEE Transactions on Power Delivery, 1996, 11(1), 345-352.
- [10] **IEEE Transmission and Distribution Committee.:** IEEE guide for determining the effects of high-temperature operation on conductors, connectors and accessories. IEEE Power and Energy Society.
- [11] **CIGRE, WG. B2-43.:** Technical Brochure 601: Guide for Thermal Rating Calculations of overhead lines. 2014
- [12] **IEEE.:** IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors, in IEEE Std 738-2012. 2012
- [13] **LineVision Inc.:** Official website of LineVision Inc. <https://www.linevisioninc.com/> (visited on 1 Oct. 2022)
- [14] **Morozovska, K., & Hilber, P.:** Study of the monitoring systems for dynamic line rating. Energy Procedia, 105, 2557-2562. 2017
- [15] **Rácz, L., & Németh, B.:** A Novel Concept of Dynamic Line Rating Systems Based on Soft Computing Models. In 2022 10th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid) (pp. 131-136). IEEE
- [16] **Rácz, L., & Németh, B.:** Investigation of dynamic electricity line rating based on neural networks. Energetika, 64(2). 2018
- [17] **Altrichter M., Horváth G., Pataki B., Strausz Gy., Takács G., Valyon J.:** Neurális hálózatok. Budapest: Panem Könyvkiadó Kft., 432 p. 2007
- [18] **Clairmont, B., Douglass, D. A., Inglesias, J., & Peter, Z.:** Radial and longitudinal temperature gradients in bare stranded conductors with high current densities. In Proc. CIGRE Session.
- [19] **Rácz, L., Szabó, D., Göcsei, G., & Németh, B.:** Distributed Thermal Monitoring of High-Voltage Power Lines. Sensors, 23(5), 2400. 2023
- [20] **Szabó, D., & Németh, B.:** A novel methodology for critical span identification for Dynamic Line Rating system implementation. Energy Reports, 7, 242-249. 2021
- [21] **Musilek, P., Heckenbergerova, J., & Bhuiyan, M. M. I.:** Spatial analysis of thermal aging of overhead transmission conductors. IEEE Transactions on Power Delivery, 27(3), 1196-1204. 2012
- [22] **Troppauer, W., Lovrenčić, V., Gubelj, N., Nemeth, B., Kovač, M., Göcsei, G., & Krisper, U.:** Advanced monitoring of icing and prevention against icing on overhead power lines. In Proceedings of Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures IWAIS. 2019
- [23] **Szabó, D., Rácz, L., Göcsei, G., & Németh, B.:** DLR-based ice prevention method. Advanced monitoring of icing and prevention against icing on overhead power lines. In Proceedings of Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures IWAIS. 2019



Rácz Levente

egyetemi tanársegéd
BME Villamos Energetika Tanszék
racz.levante@vik.bme.hu



Balogh Dániel

villamosmérnök MSc hallgató
BME Villamos Energetika Tanszék
balogh.daniel@edu.bme.hu



Dr. Németh Bálint

egyetemi docens
BME Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Laboratórium vezetője
MEE-tag
nemeth.balint@vik.bme.hu

Dr. Hatibovic Alen

A vezetékgörbe új parabolikus egyenlete ferde felfüggesztés esetén, a legmélyebb pont y-koordinátája alapján

A szabadvezeték-hálózat tervezésekor a vezetékgörbe parabolikus egyenletének meghatározásához szükséges bemenő adatok az oszlopköz hossza, a felfüggesztési pontok koordinátái és a legnagyobb belógás. Ez az alapja a szabadvezeték-hálózat tervezésénél alkalmazott hagyományos módszernek. Ezzel szemben a már megépített hálózat esetén lézeres eszközök és smart kamerák alkalmazásával mérhető a vezeték legmélyebb pontjának y-koordinátája, ami alapján meghatározható a vezetékgörbe parabolikus egyenlete anélkül, hogy szükség lenne a legnagyobb belógás adatára. Jelen cikk ennek az egyenletnek és a releváns összefüggéseknek a levezetését, gyakorlati alkalmazását tárgyalja ferde felfüggesztés esetén. Természetesen a vezeték belógása és így a legmélyebb pontja, ill. maga a vezetékgörbe változik a hőmérséklettel, vagyis minden hőmérséklethez egy másik vezetékgörbe-egyenlet tartozik.

When designing overhead lines, the maximum sag, the span length and the coordinates of the suspension points are the necessary input data to determine the parabolic equation of the conductor curve. This is the base of a traditional method used when planning overhead lines. On the other hand, in the case of already built lines, the y-coordinate of the lowest point of the conductor can be measured by using laser devices and smart cameras, on the basis of which the parabolic equation of the conductor curve can be determined without the need for the data of the maximum sag. This article discusses the derivation and practical application of the mentioned equation and the relevant relationships regarded to inclined spans. Naturally, the conductor sag and thus the lowest point and the conductor curve changes with temperature, i.e., each temperature is associated with a different equation of the conductor curve.

1. BEVEZETÉS

A cikkben használt rövidítések a következők:

vf.	vízszintes felfüggesztés,
ff.	ferde felfüggesztés.
Továbbá az alábbi jelölések kerülnek alkalmazásra:	
h_1	baloldali felfüggesztési pont magassága [m],
h_2	jobboldali felfüggesztési pont magassága [m],
a	oszlopköz hossza [m],
b	legnagyobb belógás [m],
c	lánggörbe paramétere [m],
MIN	vezeték legmélyebb pontja (görbe csúcspontja),
x_{MIN}	vezeték legmélyebb pontjának x-koordinátája [m],
y_{MIN}	vezeték legmélyebb pontjának y-koordinátája [m],

$b(x)$	belógási görbe,
$b(x_{MIN})$	belógás a vezeték legmélyebb pontján [m],
$b(x/2)$	belógás az oszlopköz felénél [m],
a_p, b_p, c_p	együtthatók a parabolaegyenletben,
$y(x)$	parabola (vezetékgörbe),
$y_{láng}(x)$	lánggörbe (vezetékgörbe),
$\Delta y(x)$	$y(x) - y_{láng}(x)$.

A matematikai szakirodalomtól eltérően itt szükségszerűen a parabolaegyenlet együtthatói (a_p, b_p, c_p) az alsó indexben p jelölést tartalmaznak annak érdekében, hogy azok különbözzenek az oszlopköz hosszának (a), a legnagyobb belógásnak (b), ill. a lánggörbe paraméterének (c) jelölésétől.

A szabadvezeték-hálózat [1] [2] vízszintes és/vagy ferde felfüggesztési közből áll [3] [4]. Ezeket az 1. és 2. ábrák szemléltetik.



1. ábra Szabadvezeték-hálózat sík terepen (vízszintes felfüggesztési közők) [5]



2. ábra Szabadvezeték-hálózat hegyes-dombos terepen (ferde felfüggesztési közők) [6]

Általánosságban elmondható, hogy a vf.-i közők esetén a tervezés viszonylag egyszerű feladat, ff.-i közők esetén azonban annál bonyolultabb. A cikk ez utóbbival foglalkozik, olyan egyedi matematikai kifejezéseket bemutatva, amelyek a vf.-i közőkben nem alkalmazhatóak.

A ff.-i köz esetére vonatkozó vezetékgörbe új parabolikus egyenletének levezetéséhez adott y_{MIN} alapján (és ismert a, h_1 és h_2 mellett) az alábbi egyenletek, képletek, matematikai lépések szükségesek:

- a vezetékgörbe univerzális parabolikus egyenlete általános alakban, $y=y(a, h_1, h_2, b, x)$,
- a vezeték legmélyebb pontjának x, y koordinátáira vonatkozó matematikai képletek,
- az $y=y(a, h_1, h_2, b, x)$ összefüggés átalakítása $y=y(h_1, x_{MIN}, y_{MIN}, x)$ alakra,
- a vezetékgörbe új $y=y(a, h_1, h_2, y_{MIN}, x)$ alakú parabolikus egyenletének meghatározása, ff.-i közőkben való alkalmazására.

Az új egyenlet egyaránt használható a $ff.$ mindkét típusa ($h_1 < h_2$ és $h_1 > h_2$) esetén, $vf.$ esetén azonban nem. A derékszögű koordináta-rendszer alkalmazása a [7]-ben leírtak szerint történik.

Megjegyzés: a cikkben levezetett új matematikai kifejezések kizárólag a $ff.$ -re vonatkoznak, vagyis $h_1 \neq h_2$ esetén érvényesek. Az x függvények értelmezési tartományai egységesen mindig $0 \leq x \leq a$.

2. MATEMATIKAI ALGORITMUS

Az alábbiakban az előző fejezetben felsorolt egyenletek és képletek kerülnek bemutatásra, valamint a vezeték görbe új parabolikus egyenletének és az ahhoz kapcsolódó kifejezések meghatározásához szükséges matematikai levezetések, nevezetesen a vezeték legmélyebb pontjának x -koordinátája, a legnagyobb belógás, a belógási görbe egyenlete, belógás a vezeték legmélyebb pontján.

2.1. A vezeték görbe univerzális parabolikus egyenlete általános alakban, $y=y(a, h_1, h_2, b, x)$

Az (1) ([8] [9]) kifejezés a parabola általános egyenlete.

$$y(x) = a_p x^2 + b_p x + c_p \quad (1)$$

Az adott bemenő adatok (a, h_1, h_2, b) használatával az (1) átalakul a (2) ([10]) összefüggéssé (ez a vezeték görbe parabolikus egyenlete a legnagyobb belógás alapján), amely egyaránt alkalmazható mind ferde, mind vízszintes felfüggesztés esetén, így *univerzális* egyenletnek tekinthető.

$$y(x) = \frac{4b}{a^2} x^2 - \frac{4b}{a} \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right) x + h_1 \quad (2)$$

2.2. A vezeték legmélyebb pontjának x, y koordinátáira vonatkozó képletek

Az x_{MIN} és az y_{MIN} koordináták meghatározására a (3) ([11]) és a (4) ([11]) képletek szolgálnak.

$$x_{\text{MIN}} = \frac{a}{2} \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right) \quad (3)$$

$$y_{\text{MIN}} = h_1 - b \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)^2 \quad (4)$$

Így a vezeték legmélyebb pontját az (5) ([10]) kifejezés adja meg.

$$\text{MIN} \left(\frac{a}{2} \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right), h_1 - b \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)^2 \right) \quad (5)$$

2.3. Az $y=y(a, h_1, h_2, b, x)$ összefüggés átalakítása $y=y(h_1, x_{\text{MIN}}, y_{\text{MIN}}, x)$ alakra

A (6) és a (7) figyelembevételével a (2) egyenlet a_p együtthatója átalakítható a (8) szerinti alakra.

$$a_p = \frac{4b}{a^2} = \frac{4b}{a^2} \cdot \frac{\left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)^2}{\left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)^2} \quad (6)$$

$$a_p = \frac{b \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)^2}{\left(\frac{a}{2}\right)^2 \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)^2} = \frac{h_1 - \left[h_1 - b \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)^2\right]}{\left[\frac{S}{2} \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)\right]^2} \quad (7)$$

$$a_p = \frac{h_1 - y_{\text{MIN}}}{x_{\text{MIN}}^2} \quad (8)$$

Hasonló módon a (2) egyenlet b_p együtthatóját a (9) és a (10) alapján a (11) szerinti alakúra lehet változtatni.

$$b_p = \frac{-4b}{a} \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right) = \frac{-4b}{a} \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right) \frac{\left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)}{\left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)} \quad (9)$$

$$b_p = -2 \frac{b \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)^2}{\frac{S}{2} \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)} = -2 \frac{h_1 - \left[h_1 - b \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)^2\right]}{\frac{a}{2} \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right)} \quad (10)$$

$$b_p = -2 \frac{h_1 - y_{\text{MIN}}}{x_{\text{MIN}}} \quad (11)$$

Az a_p és b_p együtthatókra vonatkozó (8) és (11) kifejezések behelyettesítését követően a (2) a következőre módosul:

$$y(x) = \frac{h_1 - y_{\text{MIN}}}{x_{\text{MIN}}^2} x^2 - 2 \frac{h_1 - y_{\text{MIN}}}{x_{\text{MIN}}} x + h_1 \quad (12)$$

2.4. Az $y=y(a, h_1, h_2, y_{\text{MIN}}, x)$ egyenlet meghatározása

A (12) felhasználható az $y=y(a, h_1, h_2, y_{\text{MIN}}, x)$ egyenlet levezetésére. Ehhez a (14) és a (16) kifejezések szükségesek. Az első a (2) és a (12) egyenletek b_p együtthatóinak kiegyenlítésével (az (1) figyelembevételével), a második pedig az a_p együtthatók kiegyenlítésével határozható meg ugyanazokban az egyenletekben, lásd (15).

$$b_p = \frac{-4b}{a} \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4b}\right) = -2 \frac{h_1 - y_{\text{MIN}}}{x_{\text{MIN}}} \quad (13)$$

$$x_{\text{MIN}} = \frac{-2a(h_1 - y_{\text{MIN}})}{h_2 - h_1 - 4b} \quad (14)$$

$$a_p = \frac{4b}{a^2} = \frac{h_1 - y_{\text{MIN}}}{x_{\text{MIN}}^2} \quad (15)$$

$$y_{\text{MIN}} = h_1 - b \left(\frac{2x_{\text{MIN}}}{a}\right)^2 \quad (16)$$

Utóbbiból kifejezhető a $b=b(a, h_1, x_{\text{MIN}}, y_{\text{MIN}})$ összefüggés, azaz (17).

$$b = \frac{a^2(h_1 - y_{\text{MIN}})}{4x_{\text{MIN}}^2} \quad (17)$$

A b behelyettesítése a (14)-be eredményezi az $x_{\text{MIN}}=x_{\text{MIN}}(a, h_1, h_2, y_{\text{MIN}})$ összefüggést:

$$x_{\text{MIN}} = \frac{a \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}} (\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})}{h_2 - h_1} \quad \forall h_1 \neq h_2 \quad (18)$$

Tehát, az (5) a (19)-re alakul át:

$$\text{MIN} \left(\frac{a \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}} (\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})}{h_2 - h_1}, y_{\text{MIN}} \right) \quad (19)$$

$$\forall h_1 \neq h_2$$

A (18) felhasználása a (15), ill. a (13)-ban a (20) és a (21) képleteket eredményezi, azok $h_1 \neq h_2$ esetén érvényesek.

$$a_p = \frac{h_1 - y_{\text{MIN}}}{x_{\text{MIN}}^2} = \left[\frac{h_2 - h_1}{a (\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})} \right]^2 \quad (20)$$

$$b_p = -2 \cdot \frac{h_1 - y_{\text{MIN}}}{x_{\text{MIN}}} = \frac{-2(h_2 - h_1) \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}}}{a (\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})} \quad (21)$$

Így az (1), (20) és (21) figyelembevételével a (22) képviseli a vezeték görbe új, $y=y(a, h_1, h_2, y_{\text{MIN}}, x)$ alakú parabolikus egyenletét, amely kifejezés tartalmazza a legmélyebb pont y -koordinátáját, de a parabola legnagyobb belógását nem.

$$y(x) = \left[\frac{h_2 - h_1}{a (\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})} \right]^2 x^2 - \frac{2(h_2 - h_1) \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}}}{a (\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})} x + h_1 \quad (22)$$

$$\forall h_1 \neq h_2 \quad \wedge \quad x \in [0, a]$$

2.5. Parabolikus vezeték görbe legnagyobb belógása

Bár a vezeték legnagyobb belógása ebben a cikkben nem bemenő adat a számításokhoz, ettől függetlenül az meghatározható a h_1, h_2 és y_{MIN} ismert adatok alapján. A b számítására vonatkozó képlet a (24), amely a (2) és a (22) egyenletek a_p együtthatóinak kiegyenlítéséből adódik a (23) szerint, az (1) figyelembevételével.

$$a_p = \frac{4b}{a^2} = \left[\frac{h_2 - h_1}{a(\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})} \right]^2 \quad \forall h_1 \neq h_2 \quad (23)$$

$$b = \left[\frac{h_2 - h_1}{2(\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})} \right]^2 \quad \forall h_1 \neq h_2 \quad (24)$$

Megemlíthető, hogy a parabola legnagyobb belógása mindig az oszlopköz felénél ($x=a/2$) helyezkedik el, mind vízszintes, mind pedig ferde felfüggesztés esetén. Ezzel szemben a láncgörbe legnagyobb belógása csak $vf.$ esetén van az oszlopköz felénél, $ff.$ esetén enyhén eltolódik az oszlopköz felétől a magasabb felfüggesztési pont irányába. Az eltolás mértéke a felfüggesztési köz ferdeségétől függ [10].

2.6. A belógási görbe egyenlete $b(x)$ és belógás a vezeték legmélyebb pontján $b(x_{\text{MIN}})$

A parabolikus vezeték görbe teljes körű tárgyalásához mindenképpen javasolt a belógási görbe (25) ([10]) és a legmélyebb ponti belógás képletének (26) ([12]) bevonása. E kettő közül az első kifejezés alkalmas a belógás számítására az oszlopköz bármely pontján, míg a második a vezeték legmélyebb ponti belógásának számítására.

$$b(x) = \frac{-4b}{a^2} x^2 + \frac{4b}{a} x \quad x \in [0, a] \quad (25)$$

$$b(x_{\text{MIN}}) = b \left[1 - \left(\frac{h_2 - h_1}{4b} \right)^2 \right] \quad \forall x_{\text{MIN}} \in [0, a] \quad (26)$$

Mint látható, az előző két kifejezésben szerepel a parabola legnagyobb belógása, amely ebben a cikkben nem bemenő adat, míg az y_{MIN} igen. Azonban utóbbit a két említett kifejezés nem tartalmazza. A (24) alkalmazása a (25) és a (26)-ban a (27) és a (28) kifejezéseket eredményezi, amelyek a b belógást nem tartalmazzák, de az y_{MIN} -t igen. A (27) értelmezési tartománya $0 \leq x \leq a$.

$$b(x) = - \left[\frac{h_2 - h_1}{a(\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})} \right]^2 x^2 + \left[\frac{h_2 - h_1}{\sqrt{a}(\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})} \right]^2 x \quad \forall h_1 \neq h_2 \quad (27)$$

$$b(x_{\text{MIN}}) = \frac{(h_2 - h_1)^2 - (\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})^4}{[2(\sqrt{h_2 - y_{\text{MIN}}} - \sqrt{h_1 - y_{\text{MIN}}})]^2} \quad \forall h_1 \neq h_2 \quad \wedge \quad x_{\text{MIN}} \in [0, a] \quad (28)$$

Fontos megemlíteni, hogy a $ff.$ -i közöknél a $b(x_{\text{MIN}}) < b$. A (28)-ban szereplő $0 \leq x_{\text{MIN}} \leq a$ feltételnek az a szerepe, hogy akadályozza a (28) alkalmazását olyan szélsőséges esetekben, amikor a parabola csúcspontja az oszlopközön kívül helyezkedik el, azaz amikor az $x_{\text{MIN}} < 0$ vagy az $x_{\text{MIN}} > a$. Ilyen esetben a belógás a vezeték legmélyebb pontján tulajdonképpen az alacsonyabb felfüggesztési pontban lévő belógást képezi, így az értéke egyenlő nullával. A $ff.$ -nek ezen speciális esetei nagyon ritkán fordulnak elő a gyakorlatban. Azokat a [10] és a [12] tárgyalja részletesen. A jelenséget az jellemzi, hogy a vezeték legmélyebb pontjának és a parabola csúcspontjának elhelyezkedése eltérő. Az utóbbi pont ez esetben egy virtuális pont, így az y_{MIN} nem mérhető, tehát nem lehet bemenő adat.

3. GYAKORLATI PÉLDÁK

A vezeték görbe új parabolikus egyenletének alkalmazása bemutatható kidolgozott komplex gyakorlati példákon keresztül. Annak érdekében, hogy az új egyenlet matematikai helyességét, valamint a $ff.$ -i köz mindkét típusában való alkalmazhatóságát be lehessen mutatni, a következő két releváns eset bevonása szükséges:

- ferde felfüggesztési köz $h_1 > h_2$,
- ferde felfüggesztési köz $h_1 < h_2$.

A bemenő adatok a következők: az oszlopköz hossza, a felfüggesztési pontok magasságai és a vezeték legmélyebb pontjának y -koordinátája, az 1. táblázatban szerepelnek. Ezen adatok alapján meghatározható a vezeték görbe parabolikus egyenlete, a vezeték legmélyebb pontjának x -koordinátája, a legnagyobb belógás, a belógási görbe egyenlete és belógás a legmélyebb pontban. A szükséges matematikai kifejezések az előző fejezetben találhatóak.

1. táblázat Bemenő adatok a parabolikus vezeték görbékhez

Adatok	a [m]	h_1 [m]	h_2 [m]	y_{MIN} [m]
1. példa	400	60	20	15
2. példa	400	20	60	15

Mindkét példában a feladat azonos, az $x_{\text{MIN}}, MIN, y(x), b, b(x)$ és $b(x_{\text{MIN}})$ meghatározása a (18), (19), (22), (24), (27) és (28) felhasználásával. Azt követően ábrázolni kell a vezeték görbét és az ábrán megjelölni a számítási eredményeket.

3.1. 1. Példa (ferde felfüggesztési köz $h_1 > h_2$)

$$y_1(x) = \left[\frac{20-60}{400(\sqrt{20-15}-\sqrt{60-15})} \right]^2 x^2 - \frac{2(20-60)\sqrt{60-15}}{400(\sqrt{20-15}-\sqrt{60-15})} x + 60 \quad (29)$$

$$y_1(x) = 5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,3 \cdot x + 60 \quad (30)$$

$$x_{\text{MIN}1} = \frac{400\sqrt{60-15}(\sqrt{20-15}-\sqrt{60-15})}{20-60} = 300 \text{ m} \quad (31)$$

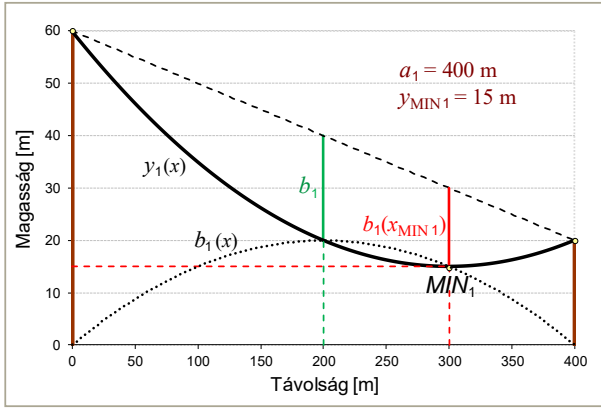
$$MIN_1(300 \text{ m}, 15 \text{ m}) \quad (32)$$

$$b_1 = \left[\frac{20-60}{2(\sqrt{20-15}-\sqrt{60-15})} \right]^2 = 20 \text{ m} \quad (33)$$

$$b_1(x) = - \left[\frac{20-60}{400(\sqrt{20-15}-\sqrt{60-15})} \right]^2 x^2 + \left[\frac{20-60}{\sqrt{400}(\sqrt{20-15}-\sqrt{60-15})} \right]^2 x \quad (34)$$

$$b_1(x) = -5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0,2 \cdot x, \quad x \in [0, 400] \quad (35)$$

$$b_1(x_{\text{MIN}1}) = \frac{(20-60)^2 - (\sqrt{20-15}-\sqrt{60-15})^4}{[2(\sqrt{20-15}-\sqrt{60-15})]^2} = 15 \text{ m} \quad (36)$$



3. ábra Parabolikus vezeték görbe ferde felfüggesztési közben (típusa: $h_1 > h_2$), belógási görbe, vezeték legmélyebb pontja, legnagyobb belógás és belógás a legmélyebb pontban (1. példa)

3.2. 2. Példa (ferde felfüggesztési köz $h_1 < h_2$)

$$y_2(x) = \left[\frac{60-20}{400(\sqrt{60-15}-\sqrt{20-15})} \right]^2 x^2 - \frac{2(60-20)\sqrt{20-15}}{400(\sqrt{60-15}-\sqrt{20-15})} x + 20 \quad (37)$$

$$y_2(x) = 5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,1 \cdot x + 20 \quad (38)$$

$$x_{\text{MIN}2} = \frac{400\sqrt{20-15}(\sqrt{60-15}-\sqrt{20-15})}{60-20} = 100 \text{ m} \quad (39)$$

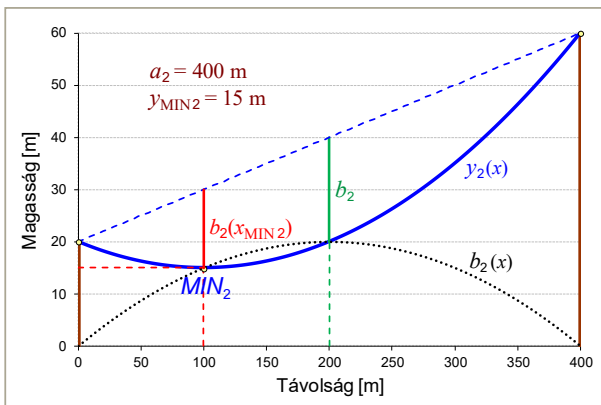
$$\text{MIN}_2 (100 \text{ m}, 15 \text{ m}) \quad (40)$$

$$b_2 = \left[\frac{60-20}{2(\sqrt{60-15}-\sqrt{20-15})} \right]^2 = 20 \text{ m} \quad (41)$$

$$b_2(x) = - \left[\frac{60-20}{400(\sqrt{60-15}-\sqrt{20-15})} \right]^2 x^2 + \left[\frac{60-20}{\sqrt{400}(\sqrt{60-15}-\sqrt{20-15})} \right]^2 x \quad (42)$$

$$b_2(x) = -5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0,2 \cdot x, \quad x \in [0, 400] \quad (43)$$

$$b_2(x_{\text{MIN}2}) = \frac{(60-20)^2 - (\sqrt{60-15}-\sqrt{20-15})^4}{[2(\sqrt{60-15}-\sqrt{20-15})]^2} = 15 \text{ m} \quad (44)$$



4. ábra Parabolikus vezeték görbe ferde felfüggesztési közben (típusa: $h_1 < h_2$) belógási görbe, vezeték legmélyebb pontja, legnagyobb belógás és belógás a legmélyebb pontban (2. példa)

3.3. Eredmények kiértékelése

A számítások eredményeit a 2. táblázat tartalmazza mindkét példára vonatkozóan.

2. táblázat Numerikus példák fő eredményei

Eredmények	x_{MIN} [m]	b [m]	$b(x_{\text{MIN}})$ [m]
1. példa	300	20	15
2. példa	100	20	15

Tekintettel arra, hogy a 2. példa valójában az 1. példának a tükörképe, és fordítva, ebben a két példában a b egyenlő, és a $b(x_{\text{MIN}})$ is az. A bemutatott két példa igazolja a kidolgozott új egyenletek alkalmazhatóságát ferde felfüggesztés mindkét típusa esetében, valamint a kapott eredmények helyességét. Ez szintén megállapítható, miután a (30)-at, ill. a (38)-at a (45), ill. a (46) összefüggések szerinti csúcsponti alakú parabola-egyenletté módosítjuk.

$$y_1(x) = 5 \cdot 10^{-4} \cdot (x - 300)^2 + 15 \quad (45)$$

$$y_2(x) = 5 \cdot 10^{-4} \cdot (x - 100)^2 + 15 \quad (46)$$

A legmélyebb pont koordinátái ebből a két egyenletből közvetlenül leolvashatók. A $\text{MIN}_1(300\text{m}, 15\text{m})$ és $\text{MIN}_2(100\text{m}, 15\text{m})$ pontok a 3., ill. a 4. ábrán könnyen ellenőrizhetők.

Érdeemes megemlíteni, hogy a belógási görbe egyenlete a bemutatott két példában megegyezik, azaz a (35)≡(43). Ennek a parabolaegyenlet csúcsponti alakjára való átalakítása a (47)-et eredményezi.

$$b_1(x) = b_2(x) = -5 \cdot 10^{-4} \cdot (x - 200)^2 + 20 \quad (47)$$

Ebből az egyenletből leolvasható, hogy a legnagyobb belógás helye az oszlopközben 200 m-re van a bal oldali oszloptól, értéke pedig 20 méter. Ez pontosan megegyezik a (33) és a (41) felhasználásával kapott számítási eredményekkel. A parabola legnagyobb belógása az oszlopköz felénél helyezkedik el. Az előző példákban $a/2=200$ m, ami megegyezik a (47)-ben lévő értékkel.

3.4. Új parabola összehasonlítása a láncgörbével

Tekintettel arra, hogy a parabolagörbe alakja valamennyivel eltér a láncgörbéétől (a vezeték görbe valós alakja), kifejezetten ajánlott az új parabolagörbe és a láncgörbe megfelelő összehasonlítása. Ebben a cikkben a megfelelő összehasonlítás azt jelenti, hogy mindkét görbének azonos kell legyen a legmélyebb pont y -koordinátája. (A bemutatott példákban az $y_{\text{MIN}}=15$ m.) Természetesen, ff -i közben ez esetben a két legmélyebb pont (a paraboláé és a láncgörbéé) x -koordinátája nem lesz azonos. A (48) ([12]) egyenlet az előző két példa bemenő adatait alkalmazva adja a (49) és az (50) láncgörbéket.

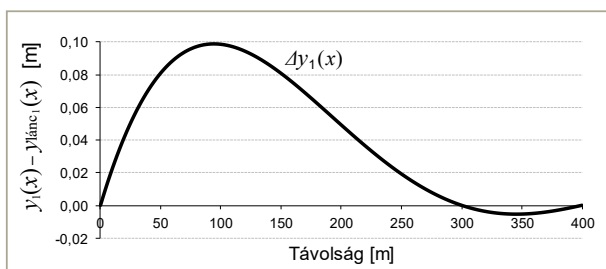
$$y_{\text{lánc}}(x) = 2c \cdot \text{sh}^2 \frac{x-x_{\text{MIN}}}{2c} + y_{\text{MIN}}, \quad x \in [0, a] \quad (48)$$

$$y_{\text{lánc}1}(x) = 2 \cdot 1005,7689 \cdot \text{sh}^2 \frac{x-299,753467}{2 \cdot 1005,7689} + 15 \quad (49)$$

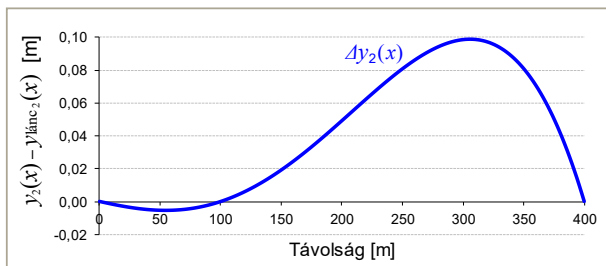
$$y_{\text{lánc}2}(x) = 2 \cdot 1005,7689 \cdot \text{sh}^2 \frac{x-100,246533}{2 \cdot 1005,7689} + 15 \quad (50)$$

Az 5. és 6. ábrák a parabola és a láncgörbe közötti eltérést szemléltetik, $\Delta y(x) = y(x) - y_{\text{lánc}}(x)$, az 1., ill. 2. példában.

Figyelembe véve a 3. és 4. ábrákat, az 5. és 6. ábrák alapján (a két példára vonatkozóan) kijelenthető, hogy a vezeték legmélyebb pontja és az alacsonyabb felfüggesztési pont közötti szakaszon ($h_1 > h_2$ esetén $[x_{\text{MIN}}, a]$ intervallum, $h_1 < h_2$ esetén $[0, x_{\text{MIN}}]$ intervallum) a $\Delta y(x)$ elhanyagolható (< 1 cm). Az oszlopköz nem kritikus részében (azaz ott, ahol a vezeték



5. ábra Eltérés a parabola és a láncgörbe között az 1. példában, ferde felfüggesztési köz ($h_1 > h_2$)



6. ábra Eltérés a parabola és a láncgörbe között a 2. példában, ferde felfüggesztési köz ($h_1 < h_2$)

magasan van), a $\Delta y(x)$ függvénynek maximuma van, azonban értéke nem nagy (~10 cm). Ez alapján a bemutatott módszer elfogadhatónak minősíthető. Rövidebb oszlopköz vagy kisebb $|h_2 - h_1|$ esetén a $\Delta y(x)$ is kisebb.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekben levezetésre került a vezetőgörbe újszerű parabolikus egyenlete, amely a legnagyobb belógás helyett a legmélyebb pont y-koordinátáját tartalmazza. A vezetékgörbe jelenleg elérhető parabolikus egyenleteitől eltérően, ebben az esetben a legnagyobb belógás nem szükséges adat, azonban kiszámítható a levezetett új képlete alapján. Emellett a cikk bemutatja a parabolikus vezetékgörbére alapozott többi releváns kifejezés meghatározását is arra a speciális esetre, amikor a számításokhoz a parabola legnagyobb belógása helyett az y_{MIN} az ismert bemenő adat. Két gyakorlati numerikus példa bemutatja az új matematikai kifejezések alkalmazását a parabolagörbe vonatkozásában.

A cikkben közölt eredmények új lehetőségeket nyitnak a további kutatások számára a szabadvezeték-hálózatok tervezése terén. Például az itt bemutatott új kifejezéseket a szakirodalomból származó releváns kifejezésekkel kom-

binálva új módszer dolgozható ki a láncgörbe parabolikus közelítésére oly módon, hogy e két görbe, a parabola és a láncgörbe, mélypontjainak mindig azonos az y-koordinátája, függetlenül a ff -i köz ferdeségétől. Megemlíthető, hogy a jelenleg elérhető közelítés szerint az említett két mélypont általában úgy különbözik egymástól, hogy sem az x-, sem az y-koordinátáik nem azonosak.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] CIGRÉ Technical Brochure No. 324, Sag-Tension Calculation Methods for Overhead Lines, CIGRÉ Task Force B2.12.3, 2016
- [2] CIGRÉ Green Book, Overhead Lines, CIGRÉ Study Committee B2, 2017, ISBN 978-3-319-31747-2
- [3] **Perneczky G.:** Szabadvezetékek feszítése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968
- [4] **Verebély L.:** Villamos erőátvitel 3, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1958
- [5] <https://safetybox.co.uk/blog/post/the-dangers-of-overhead-power-lines>
- [6] http://english.www.gov.cn/news/photos/202112/13/content_WS61b6c97fc6d09c94e48a226b.html
- [7] **Hatibovic A.:** Advanced Calculation of the Catenary Length in the Spans of Overhead Lines, 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, ELEKTROENERGETIKA 2017, Stará Lesná, Slovakia, 2017.09.12–14, pp. 55–59, ISBN: 9788055331959
- [8] **Gustafson D., Frisk P., Hughes J.:** College Algebra, CENGAGE Learning, 2010
- [9] **Polyanin A. D., Manzhirov A. V.:** Handbook of Mathematics for Engineers and Scientists, Taylor & Francis Group, 2007
- [10] **Hatibovic A.:** Advanced Application of the Catenary and the Parabola for Mathematical Modelling of the Conductor and Sag Curves in the Span of an Overhead Line [Doktori disszertáció], Óbudai Egyetem 2019, http://www.lib.uni-obuda.hu/sites/lib.uni-obuda.hu/files/Hatibovic_Alen_ertekezes.pdf
- [11] **Hatibovic A.:** Algorithm for the Conductor Length Calculation in Inclined and Levelled Spans Based on the Parabola Model, 4th Session of the CIRED Croatian National Committee, Trogir, Croatia, 2014.05.11–14, pp. 1–9, Paper SO1–14. <http://www.ho-cired.hr/4savjetovanje/SO1/SO1-14.pdf>
- [12] **Hatibovic A.:** Determination of the Lowest Point of the Conductor in Inclined Spans Based on a Known Maximal Sag of the Parabola, CIRED 2013, 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 2013.06.10–13, pp. 1–4, Paper No. 0150, ISBN: 978-1-84919-732-8, doi: 10.1049/cp.2013.0583
- [13] MSZ EN 50341-1:2013
- [14] MSZE 50341-2:2019



Dr. Hatibovic Alen (PhD)

vezető tervező, szakértő
Optimum Solar Zrt.
MEE Szakmai Tudományos Bizottság tagja
Elektrotechnika Szerkesztő Bizottság tagja
hatibovic.alen@gmail.com

HÍREK

MVM Edison győztesek

Kihírdették az MVM Edison startupverseny 2023-as győzteseit. Az innovatív fejlesztéseket két kategóriában értékelte a szakmai zsűri. Az ötlet fázis első helyezettje a ChillWell csapata lett, másodikként a Metrinerogy, harmadikként pedig a Beeco végzett. A scale up fázis díjazottja a BitBűvész KKT. lett. Az MVM Edison startupversenye 2016 óta ugródeszka az innovatív – elsősorban energetikai – ötletek és vállalkozások számára. Mint mindig, most is valós problémákra megoldást kínáló, piacképes ötleteket vártak a döntéshozók. A jövő energetikai megoldásai mellett az alábbi kategóriákban lehetett nevezni: jövő otthona, jövő városai, digitális infrastruktúra, ügyféloldali fizetési megoldások, vásárlói tapasztalatok

és termékinnovációs megoldások. A versenyre olyan ötleteket lehetett benyújtani, amelyek még kezdeti (ötlet), illetve már érettebb (scale up) szakaszban járnak. Az

idén beérkezett több mint száz hazai és nemzetközi pályázat közül a szakmai zsűri hat ötlet és kettő scale up fázisú csapatot juttatott a döntőbe. A május 10-én megrendezett döntőt (Demo Day) egy két hónapos intenzív inkubációs program előzte meg.



Forrás: MVM

Lipák Gyula, Hegedüs János, Hantos Gusztáv

A LED-ek segítségével előállított fehér fény

Napjaink műszaki fejlesztési irányait egyre inkább befolyásolja a környezettudatosság és a fenntarthatóság. Ennek során mindinkább kisebb ökológiai lábnyommal rendelkező termékek elkészítése a cél, miközben korunk emberének legalapvetőbb elvárása, hogy az új termék paraméterei legalább olyan jók legyenek, mint a korábbiaké, s mindezt kisebb költségek árán és nagyobb energiahatékonysággal legyen képes biztosítani. Jelen cikkünkben a LED-ek segítségével keltett fehér fény különböző lehetőségeit mutatjuk be ismeretterjesztő jelleggel, illetve nagy vonalakban rávilágítunk azokra a sarokkövekre, amelyek a minőséget nem rontó, de az energiahatékonyságot javító fejlesztések jövőbeni kihívásait jelenthetik.

Today's technical development directions are increasingly influenced by environmental awareness and sustainability. In doing so, the goal is to create products with an increasingly smaller ecological footprint, while the most basic expectation of the people of our time is that the parameters of the new product should be at least as good as those of the previous ones, and it should be able to provide all this at lower costs and with higher energy efficiency. In this article, we present various possibilities of white light created with the help of LEDs in an educational and informative manner, and broadly highlight the cornerstones that may represent future challenges for developments that do not impair quality but improve

1. BEVEZETÉS

Fehér fény LED-ekkel történő előállításához jelenleg leggyakrabban kék, vagy UV LED-eket és ún. hullámhossz-konvertáló fényporokat alkalmaznak. A gerjesztő LED fényét a fénypor részben átveszi (ez az ún. „kék csúcst”), részben pedig elnyeli, az elnyelt rövidebb hullámhosszú fotonokat pedig hosszabb hullámhosszon bocsátja ki (ez az ún. „sárga csúcst”). A LED közvetlen, és a fénypor másodlagos kibocsátásával együtt hozza létre a fehér fényt. Jelenleg a fénypor alapú LED-ek jelentik a legegyszerűbb, leghatékonyabb és legolcsóbb megoldást a világítástechnika-ipar számára. A hatásfok növelésének azonban elvi felső határa van, amelyet a hullámhossz-konverzió energiavesztése, az ún. Stokes-eltolás határoz meg.

A fehér fény előállításának másik módja a színkeverésen alapul, amelynek során két, vagy több színből állítanak elő fehér fényt. Az elfogadható eredmény érdekében a színkeveréses rendszerek két szín (ún. dikromatikus elrendezések) helyett általában a három elsődleges színt (ún. trikromatikus elrendezések) használják. Piros, zöld és kék (angolul „Red, Green, Blue” – rövidítve „RGB”) LED-ek felhasználásával közel bármilyen színt elő tudunk állítani. A jobb színvisszaadás érdekében további, gyakran sárga LED-eket is felhasználhatnak (ún. tetrakromatikus elrendezések). Az ilyen elrendezésekben nincs jelen hullámhossz-konverzió, így az elérhető

hatásfokot az alkalmazott LED-ek különböző kvantum hatásfokai szabják meg, ennek azonban nincs elvi felső határa, ideális esetben elérheti akár a 100%-ot is.

Az elektromos energiát felhasználó fényforrások esetében a hatásfok értéke a fény formájában kisugárzott teljesítmény és a betáplált elektromos teljesítmény hányadosaként számítható ki. A kisugárzott teljesítményből az emberi szem számára is látható mennyiség, azaz a fényáram az ún. $V(\lambda)$ szemérzékenységi függvény segítségével határozható meg, a fényforrás spektrális teljesítményeloszlását a $V(\lambda)$ függvénnyel súlyozva és integrálva. A lumenben kifejezett fényáram és a betáplált elektromos teljesítmény hányadosa az ún. fényhasznosítás, amelynek elvi maximuma 683 lm/W, egy 555 nm hullámhosszon sugárzó monokróm fényforrás esetében. Az ennél rövidebb, vagy hosszabb hullámhosszon sugárzó fényforrások fényhasznosítása ennél az értéknél csak kevesebb lehet.

A fényporokon alapuló fehér LED-ek fényhasznosítása erősen függ a hullámhossz-konverzió után kialakuló spektrális teljesítményeloszlástól, értékének elvi maximuma a 200...280 lm/W tartományba tehető. Trikromatikus elrendezések esetében ez a tartomány 240...340 lm/W körüli, míg dikromatikus fényforrások esetén meghaladhatja akár a 400 lm/W értéket is [1]. Nyilvánvaló tehát a dikromatikus LED-es fehér fényforrásokban rejlő és a hatásfok folyamatos növekedésével egyre inkább kecsegtető potenciál.

A fénykeveréses módszer azonban több problémát is magában hordoz. Ezen problémák egyikét a különböző színű LED-ek fényáramának eltérő hőmérsékletfüggése jelenti. Az előállított fehér fény „minősége” a hőmérséklet megváltozásával elfogadhatatlan mértékben romolhat.

2. HÁTTÉR

A világítástechnika-ipar rohamos fejlődése a fehér fény előállításánál módját is megreformálta. A jelenleg leggyakrabban használt, hullámhossz-konverzió alapú, fényporos fehér LED-ek hatásfoka azonban már elvben is korlátos [1], és elképzelhető, hogy a világítástechnika-ipar már a közeljövőben megközelítheti ennek a technológiának az elméleti határát [2]. Ahhoz, hogy a fényforrások hatékonyságát tovább növeljük, más technológiai megoldásokat is meg kell vizsgálnunk. Az alábbiakban bemutatunk egy lehetséges alternatívát, annak előnyeit, hátrányait, valamint a megértéséhez szükséges alapfogalmakat.

2.1. A fehér fény

A téma bővebb kifejtése előtt mindenképpen érdemes meghatározni, hogy pontosan mit is értünk „fehér” fény alatt, azonban ennek leírása korántsem annyira nyilvánvaló, mint amilyen gyakran ezt a kifejezést a mindennapokban használjuk. Jól jellemzi a pontos definíció nehézségét az a tény is, hogy erre vonatkozóan még a CIE, azaz a Nemzetközi Világítástechnikai Társaság (angolul: „International Commission on Illumination”; eredeti francia elnevezésén: „Commission internationale de l'éclairage”) Nemzetközi Világítástechnikai Szótárában [3] sem találunk közvetlen szócikket. A fogalommal kapcsolatban a Wikipédia internetes szabad hozzáférésű enciklopédia oldalán is eltérő megfogalmazásokat olvashatunk. „Fehér” elnevezéssel a Világítástechnikai Kislexikonban [4] sem találunk szócikket, közvetett módon azonban több helyen is megtaláljuk, például a „Semleges szín” kifejezés alatt:

„Semleges szín (akromatikus szín)

Achromatic colour; Neutralfarbe

Semleges színérzéklet, amelyet a minden hullámhosszúgon azonos energiával sugárzó sugárforrás hoz létre.

Ezt a fogalmat a fehér, ill. szürke árnyalatok megjelölésére is használják.

Meghatározott színek keveréke is eredményezhet semleges színérzetet adott spektrális összetételű megvilágító esetében.

A fentihez hasonló megfogalmazást olvashatunk a BME MOGI tanszékének Műszaki optika című jegyzetében [5] is:

„Az egyenlő energiájú spektrumú fény mindhárom receptort azonos mértékben ingerli, ezért az ilyen fényt az intenzitástól függetlenül fehérnek, szürkének, vagy feketének látjuk.”

Továbbá, *„Fehér fény az, amely a nappali természetes megvilágításból származik, és annak spektrumát semmilyen tényező nem befolyásolta”* [6]. Hasonlóképp, fehér színérzetet ad a körülbelül 5500 K hőmérsékletűre hevített fekete test sugárzó, azonban nem minden fekete test sugárzó színe fehér és a természetes megvilágítás sem mindig fehér színérzetet kelt. Jó példa erre az izzásig hevített vasanyag színátmenete a lehűlése közben, vagy a kékesebb színű forróbb, illetve a vörösebb színű hidegebb csillagok fénye. Ezekhez hasonlóan, más színérzetet kelt a déli napsütés és a lemenő Nap fénye is, de a természetes megvilágítást nagyban befolyásolják az éppen aktuális meteorológiai viszonyok is. Mindezt tovább „színesítik” az emberi szem színdiszkriminációs és adaptációs képességei [7].

A színhőmérséklet (vagyis annak a fekete testnek a hőmérséklete, amelynek sugárzása a vizsgált színínnel megegyező) a fentiek miatt nem lehet jó mérőszáma annak, hogy egy fényforrás mennyire „fehér”. Megoldás lehetne az ún. CIE 1931 szabványos színmérő rendszer [8], azonban sem az xy, sem az u',v' szintereken nem találunk egyértelműen meghatározott „fehér” területet.

A fehér fényforrások jellemzésének talán az egyik legalkalmasabb mérőszáma az úgynevezett színvisszaadási index (angol terminológiában CRI, vagyis „Colour rendering index”), vagyis az, hogy az adott spektrális teljesítményeloszlású fényvel megvilágított tárgy színe milyen mértékben egyezik meg azzal a színnel, amely egy referencia fényforrás alatt látható. Másképp megfogalmazva, a színvisszaadási index egy fényforrás azon képességét méri, hogy a tárgyak színét mennyire hűen adja vissza egy ideális fényforráshoz képest. A színvisszaadási index meghatározása meglehetősen komplex, melyet a CIE 13.3-1995 Technikai Leírás [9] tartalmaz, de a metrika kiszámítására szinte valamennyi optikai laboratóriumban találunk megvalósított megoldást, akár a mérőrendszerek saját szoftvereinek támogatásaként, akár házon belül készített kalkulátorok formájában.

2.2. Fehér fény előállítása LED-ekkel

A LED-ek („Light Emitting Diode”, azaz fényemittáló, avagy fénykibocsátó dióda) szilárdtest világítástechnikai eszközök, amelyek működési elvükből adódóan monokromatikus sugárzók [1], [10]. Ahhoz, hogy fehér fényt állítsunk elő, az szükséges, hogy a szemünkben lévő, három különböző típusú színérzékelő receptorsejtek megfelelő arányban legyenek stimulálva. Ebből adódóan fehér fényt akár eltérő spektrális teljesítményeloszlások segítségével is kaphatunk.

Ilyen spektrum előállítása monokromatikus LED-ekből alapulhat színkeverésen, vagy hullámhossz-konvertáló fényporok felhasználásán. A különböző megoldásokat egyebek között fényhasznosítás és színvisszaadás szempontjából értékelhetjük. Fényhasznosításnak a févezető által kibocsátott, lumenben mért fényáram és a felvett, wattban kifejezett elektromos teljesítmény hányadosát nevezzük. Fényáramnak nevezzük a sugárzott optikai teljesítmény emberi szem számára is látható részét, amelyet a spektrális teljesítményeloszlás $V(\lambda)$ szemérzékenységi függvényel történő súlyozásával kaphatunk meg.

2.3. Fehér fény előállítása fényporok segítségével

Fehér fény LED-ekkel történő előállításához jelenleg leggyakrabban egy gerjesztő LED mellett különböző összetételű, úgynevezett hullámhossz-konvertáló fényporokat alkalmaznak, amelyek részben vagy teljes mértékben elnyelik gerjesztő LED fényét, majd az elnyelt fotonokat rendszerint hosszabb hullámhosszon sugározzák le újra. Ezek a megközelítések UV, vagy leggyakrabban kék gerjesztést alkalmaznak, a konverzió segítségével kialakított további csúcs hullámhosszak tekintetében pedig több megoldás is lehetséges. Megkülönböztethetünk dikromatikus, trikromatikus és tetrakromatikus elrendezéseket aszerint, hogy a gerjesztő kék vagy UV sugárzás mellett hány különböző csúcs hullámhosszal rendelkező fényporanyagot használnak fel. [1]

A LED közvetlen, és a fénypor másodlagos kibocsátása együtt hozza létre a fehér fényt. Jelenleg a fénypor alapú LED-ek jelentik a legegyszerűbb, leghatékonyabb és legolcsóbb megoldást a világítástechnika-ipar számára.

A fénypor hullámhossz-átalakító (angol terminológiával: „ λ -converter”) anyag. Rövidebb hullámhosszról hosszabb hullámhosszra történő átalakítás esetén a hullámhossz konvertáló anyag hatásfoka két különböző jellemzővel írható le: a konverzió külső kvantumhatásfoka (η_{ext}), és a konverzió során fellépő kvantum-mechanikai energiavesztés (úgynevezett Stokes-eltolódás).

Az anyag külső kvantumhatékonysága (η_{ext}) az alábbi képlettel adható meg:

$$\eta_{ext} = \frac{a \text{ fényporból emittált fotonok 1 sec alatt}}{a \text{ fényporban elnyelt fotonok 1 sec alatt}} \quad (1)$$

A külső kvantumhatásfok tehát az emittált és az elnyelt fotonok aránya. Ezek különbsége miatt energiatöbblet alakul ki az anyagban.

A hullámhossz-konvertáló anyagok kisebb energiájú fotonokat emittálnak az abszorbeált fotonoknál. Az így kialakuló energiakülönbséget jellemzően hőleadás útján, veszteségként adják le, fononok formájában¹. Az emittált és az abszorbeált fotonok közötti energiakülönbséget nevezzük Stokes-eltolásnak:

$$\Delta E = hv_1 - hv_2 = \frac{hc}{\lambda_1} - \frac{hc}{\lambda_2} \quad (2)$$

ahol h a Planck állandó, és a a foton eredeti, valamint konverzió utáni hullámhossza. A hullámhossz-eltolódásból adódó hatásfok az alábbi képlettel fejezhető ki:

$$\eta_{\lambda\text{-konverzió}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (3)$$

Ezeknek megfelelően a hullámhossz-konverter fénypor hatékonysága az alábbi módon fejezhető ki, a fentebb taglalt két komponens szorzataként:

$$\eta_{\lambda\text{-konverter}} = \eta_{\lambda\text{-konverzió}} \eta_{ext} \quad (4)$$

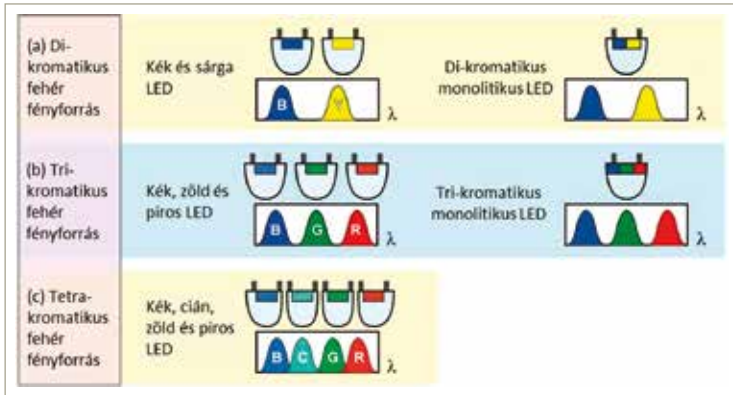
2.4. Fehér fény előállítása színkeveréssel

A fehér fény keltéséhez használhatunk ún. dikromatikus, trikromatikus és tetrakromatikus vagy akár ennél több színből álló elrendezéseket a fényporos megoldásokhoz hasonlóan, itt azonban a hullámhossz csúcsokat elsődleges sugárzók hozzák létre. Ilyen elrendezésekre látunk példát az 1. ábrán.

Dikromatikus színkeverésnél két komplementer szín használatával állíthatunk elő fehér fényt. A komplementer

¹ Léteznek abszorbeált fotononként több foton is kibocsátó fénypor anyagok, ezek azonban csak kutatási anyagok részét képezik, a gyakorlatban nem terjedtek el.

színek megfelelő megoszlásban olyan stimulációt váltanak ki, melyet fehér fényként érzékelünk. Ilyen fényforrások elméleti fényhasznosítása akár 440 lm/W is lehet. Nyilvánvaló tehát a dikromatikus LED-es fehér fényforrásokban rejlő és a hatások folyamatos növekedésével egyre inkább kecsegtető potenciál. [1]



1. ábra Fehér fény előállításának különböző lehetőségei monokromatikus LED-ek segítségével egyetlen (balra) vagy több (jobbra) LED-lapkát tartalmazó tokok esetén. A(z) [1] számú forrásban található ábra magyarázata

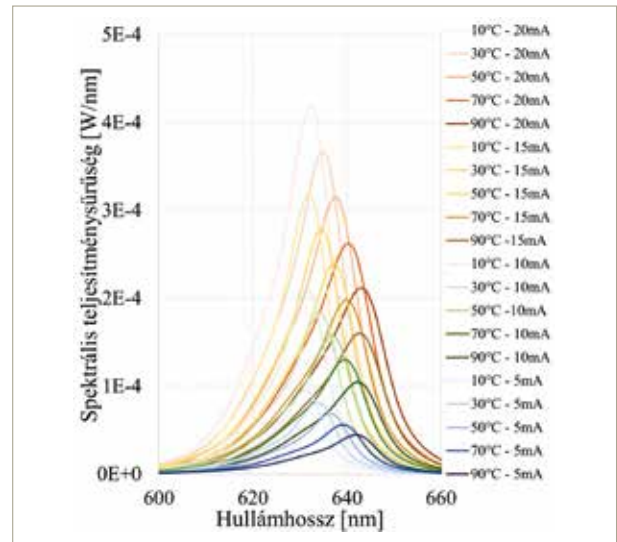
Habár a dikromatikus fehér fény rendelkezik a legnagyobb elméleti hatáskeresztmetszeti indexe ennek a legkisebb. Ezzel szemben trikromatikus fényforrások jelentősen jobb (akár 80-nál nagyobb) színvisszaadási indexszel is rendelkezhetnek és fényhasznosításuk is meghaladhatja a 300 lm/W értéket [1]. Ilyen trikromatikus RGB („Red, Green, Blue”) modulok vörös, zöld és kék LED-ekből épülnek fel, és ennek a három színnek a megfelelő kombinációjával – elvben – csaknem bármilyen színt elő lehet állítani. Ezek a modulok jellemzően és viszonylagosan jó színvisszaadási indexszel rendelkeznek és hatékonyságuk is megfelelően nagy, így megfelelőek lehetnek általános célú fehér világitásra is. Továbbá, ezekben az elrendezésekben nincs jelen hullámhossz-konverzió, így az elérhető hatáskeresztmetszeti az alkalmazott LED-ek különböző kvantum hatáskeresztmetszeti szabják meg, ennek azonban nincs elvi felső határa, ideális esetben elérheti akár a 100%-ot is.

Még több színtartalmú fényforrások segítségével tovább növelhetjük a színvisszaadási indexet. Az ilyen típusú fényforrások a szélesebb hullámhosszválaszték miatt jobb lehetőséget kínálnak a fehér fény (korrelált) színhőmérsékletének változtatására is anélkül, hogy feláldoznánk a fényforrás színvisszaadási képességét. Viszont, általánosan az mondható el, hogy a színtartalmú komponensek növelése a gyakorlatban a hatáskeresztmetszeti csökkenéséhez vezet.

LED-ek segítségével történő színkeveréses fehér fény előállítása további problémákat is felvet, mivel ezek spektrális teljesítményeloszlása nyitóáram- és hőmérsékletfüggő, vagyis az ilyen módon előállított fehér fény munkapontként eltérő lehet.

3. LED-EK SPEKTRÁLIS TELJESÍTMÉNY-ELOSZLÁSÁNAK MUNKAPONTFÜGGÉSE

A LED-ek spektrális teljesítményeloszlása erősen függ a működési hőmérséklettől és az őket meghajtó nyitóáramtól, erre mutat be egy példát a 2. ábra. A további fontos és gyakran használt mérőszámokat is a spektrális teljesítményeloszlás segítségével határozhatunk meg, mint például a sugárzott teljesítmény (Φ_e), a fényáram (Φ_v), a színvisszaadási index (R_a) és a korrelált színhőmérséklet (CCT) (angol terminológiában „Correlated Color Temperature”).



2. ábra Egy piros LED különböző hőmérsékleteken és nyitóáramokon mért spektrális teljesítményeloszlása

Amennyiben egy LED spektrumának pontos modellezése kritikus (például közvilágítási, vagy autóiipari alkalmazások esetén), úgy szükséges lehet a LED környezetfüggő viselkedésének pontos ismerete. Különösen igaz ez olyan komplex modulok esetén, mint például egy színkeverésen alapuló fehér fényforrás, ahol az egyes alkalmazott LED-ek környezetfüggő érzékenységei eltérőek. Ennek megállapítása úgynevezett multi-domain feladat, vagyis egyszerre kell vizsgálni a LED elektromos, optikai és termikus működését.

3.1. Teljesítmény LED-ek multi-domain mérése

LED-ek multi-domain mérése alatt azt értjük, hogy a félvezetőt a működését meghatározó minden területre kiterjedve, komplex módon vizsgáljuk az elektromos, termikus és optikai tartományokban. Ez az úgynevezett kombinált termikus és radiometriai/fotometriai karakterizáció.

Termikus karakterizáció tokozott félvezetők esetében például termikus tranziens tesztelés segítségével végezhető [11]. A mérés során a diódát hagyjuk felmelegedni a normál működési árammal hajtva, amit ezután lekapcsolunk, ezzel disszipációs ugrást létrehozva a rendszer bemenetén. A továbbiakban az úgynevezett mérőárammal, egy, a normál üzemi áramnál jelentősen kisebb árammal mérhetjük a dióda nyitófeszültségét annak hűlése közben.

Amennyiben a nyitófeszültség hőmérsékletfüggése (avagy, legalább annak meredeksége, az ún. K-faktor [12]-[14]) ismert, akkor meghatározhatóvá válik az eszköz hőmérséklete a teljes tranziens során, az adott mérési elrendezésnél megkapjuk a rendszer termikus ugrásválasztát. Ha ezt a hőmérsékleti tranziens elosztjuk a disszipáció ugrás értékével, akkor megkapjuk az eszköz termikus impedanciáját, az úgynevezett függvényt.

Mivel LED-ek esetében a felvett elektromos teljesítmény egy meghatározó része fényként távozik a félvezetőből, a fent említett termikus karakterizációt ki kell egészíteni radiometriai mérésekkel, a disszipált teljesítmény pontos értékének meghatározásához. Ezek a mérések leggyakrabban egy integráló (fotométer) gömb segítségével készülnek.

3.2. Mérési összeállítás

A félvezetőipar által is világszinten használt multi-domain LED-mérő-állomás a dr. Székely Vladimir vezetése alatt tervezett T3Ster [15] és a későbbi TeraLED [16] eszközökből és az őket vezérlő asztali számítógépből áll.

A T3Ster olyan termikus mérőműszer („Thermal Transient Tester”), ami tokozott félvezetőeszközök termikus karakterizációjára és minősítésére használható. Egyaránt szolgáltatja a tranziens méréshez szükséges fűtő- és mérőáramot. A műszer rögzíti a félvezető teljesítményre adott termikus válaszát, a hozzá tartozó szoftver segítségével az eltárolt mérési adatokat ki is értékelhetjük.

A TeraLED eszköz LED-ek radiometriai és fotometriai mérésére szolgál. Az integráló gömbhöz csatlakoztatott szabályozható hideglemez hőmérsékletét vezérli, valamint szükség esetén további elektromos táplálást biztosít a mérendő eszköz számára, amennyiben a műszeregyüttesből a T3Ster berendezés nem lenne jelen.

A T3Ster és a TeraLED eszközökkel együtt úgynevezett kombinált termikus és radiometria, fotometriai mérést valósíthatunk meg, amelynek segítségével elkészíthetjük a mért eszköz kompakt multi-domain modelljét. A mérési megoldás megfelel a JEDEC JESD51-5x szabványcsaládban leírtaknak [17]-[20] és eleget tesz a CIE által publikált 127:2007 és 225:2017 technikai jelentések [21], [22] ajánlásainak [23].

A felsorolt eszközök vezérlését a T3Ster Measurement Control Tool és a TeraLED Measurement Control Tool szoftverek valósítják meg. Kombinált mérések esetén a TeraLED Measurement Control Tool úgynevezett full-master szoftverként szolgál, azaz automata módon vezérli a másik szoftvert és a hozzájuk tartozó hardvereket is. A mérési eredmények kiértékelése a T3SterMaster és a TeraLED View célszoftverek segítségével automatizált módon is elvégezhető. A teljes elrendezést a 3. ábra szemlélteti.

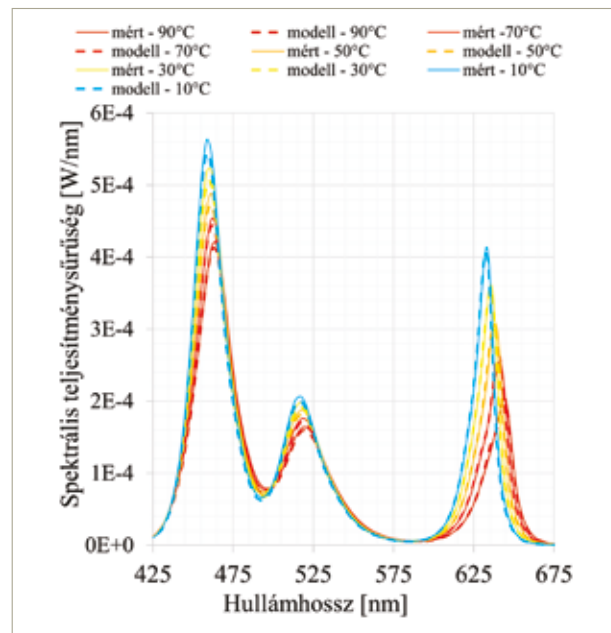
A LED-ek optikai mérésére legszélesebb körben használt eszköz az integráló, más néven Ulbricht gömb. Az ilyen eszközök belsejét nagy reflexiójú anyaggal vonják be, amely a fényt a látható hullámhossztartományban diffúz módon veri vissza, úgynevezett Lambert-felületként. Ebből adódóan a gömb belső falán a megvilágítás minden pontban közel azonos lesz. A gömb felületén különböző optikai nyílásokat alakíthatunk ki, ezeken keresztül helyezhetjük el a gömb belsejében a mérendő eszközt hordozójával együtt, illetve a méréshez szükséges további eszközöket, mint a referencia fényforrást és különböző detektorokat.

A rendszer továbbá kiegészíthető spektrométerrel is, amelynek segítségével a fény spektrális teljesítményeloszlása vizsgálhatóvá válik.

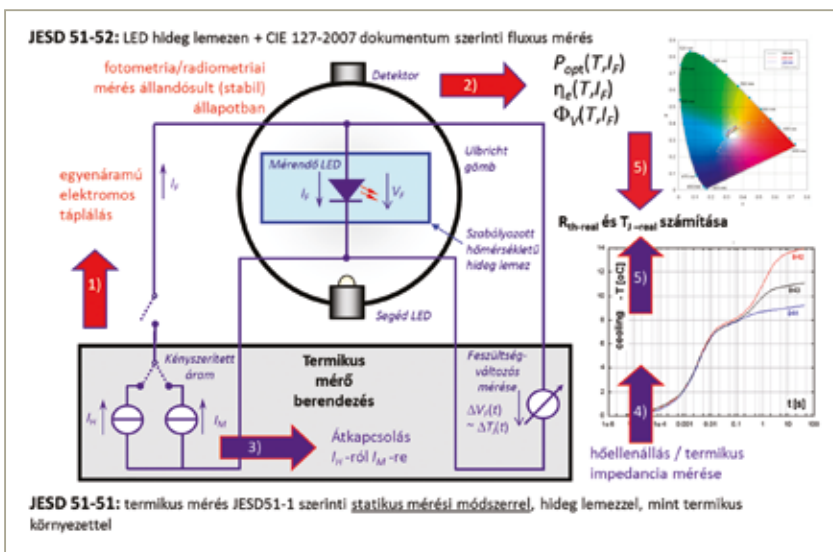
Az angol terminológiában „array spectrometer”-ként elnevezett műszerek a spektrométerben található diffrakciós rács segítségével a vizsgálandó fénysugarat először komponenseire bontják, majd a komponenseket egy detektorsorra vetítik, így elkülönítve az egyes hullámhosszokhoz tartozó mérendő jelek kiértékelését. Ezek előnye, hogy a detektorsor egyidejűleg, párhuzamosan rögzíti a teljes spektrum egyes komponenseit, így nagyon rövid mérési idők érhetők el, jellemzően a 10 µs ... 100 ms időtartományban. Ilyen berendezésre példa az intézményünkben is megtalálható, az Instrument Systems vállalat CAS 140CT típusú spektrométerére [25].

4. MONOKROMATIKUS LED-EK SPEKTRUMÁNAK MODELLEZÉSE

A teljesítmény LED-ek rohamos fejlődése és a világítástechnikai iparban történő elterjedése magával hozta a számítógéppel segített tervezés eszközei iránti egyre növekvő igényeket



4. ábra Az egyedi LED-ek lapkahőmérséklet-függő modelljeiből készített elvi görbék összehasonlítása a mért spektrális teljesítményeloszlásokkal.



3. ábra A dr. Poppe András által javasolt kombinált termikus és radiometriai/fotometria LED-mérési összeállítás és a mérési folyamat vázlatja. [24]

is. Az úgynevezett Ipar 4.0 szemlélet alappillére, hogy az új eszköz már digitális tervezőasztalon készül, a rendszer komponenseinek digitális ikrei segítségével. A teljesítmény LED-ek multi-domain modellezése már évtizedes múltra tekint vissza (lásd a [26] számú hivatkozás történeti áttekintését), de a tématerület jelenleg is aktív kutatások tárgyát képezi [27]. A BME VIK Elektronikus Eszközök tanszékének egyik legkurrensebb kutatásai közé tartozik a LED-ek élettartam multi-domain modellezése [26], [28]; a munka alkalmas és időszerű továbbfejlesztése lenne a modell spektrális teljesítményeloszlással történő kibővítése, a témában végzett kutatások eredményére mutat szemléltető példát a 4. ábra.

Monokromatikus LED-ek spektrális teljesítményeloszlásának modellezésére az elmúlt évtizedekben számos törekvést tettek. Ezekben, többek között, megtalálhatjuk egyszerű Gauss [29], vagy komplexebb matema-

tikai függvények illesztését [30], de találunk olyan modellt is, amely már tartalmazta a lapkahőmérséklet (a pn átmenet hőmérséklet) változásával járó csúscsérték-eltolódást is [31].

A monokromatikus és a hullámhossz-konvertáló anyagokat felhasználó LED-ek spektrális teljesítményeloszlásának modellezése jelenleg is intézményünk aktív kutatási területe; a témát részletesebben egy későbbi cikkünkben mutatjuk majd be.

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelenleg a világítástechnika-iparban leggyakrabban előforduló fehér, LED-alapú fényforrások az úgynevezett hullámhossz-konverzió alapuló megoldások, amelyek mellett a monokromatikus LED-eket tartalmazó és színkeverésen alapuló, gyakran RGB, vagy RGBW elnevezéssel illetett LED-modulok alkalmazása inkább a speciálisabb megvilágítási feladatokra korlátozódik, ahol a világítás egyes fénytani paramétereinek in-situ változtathatósága a cél. A fényporos megoldások hatásfokának azonban a Stokes-eltolódás által megszabott elvi felső határa van, míg az egyedi, monokromatikus LED-ek hatásfokát elsősorban a technológia kiforrtsága korlátozza.

A színkeverésen alapuló, monokromatikus LED-alapú fehér fényforrások által keltett szín-észlelet a környezeti hőmérséklet, a nyitóáram és az eszközöregedés függvényében erősen változó lehet. A megfelelő ismeretek birtokában azonban ezek a függések kompenzálhatók, amelyhez elsődlegesen szükséges a felhasznált LED-ek úgynevezett multi-domain mérése és modellezése. Az ilyen modellek elkészítése jelenleg is aktív kutatások tárgyát képezi a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén.

Köszönetnyilvánítás

A bemutatott munka az Európai Unió Horizon 2020 kutatási és innovációs programjának támogatásában valósult meg az AI-TWILIGHT H2020 ECSEL projekten keresztül (támogatási szerződés száma: 101007319). Az AI-TWILIGHT projekt társfinanszírozásban részesült a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap 2019-2.1.3-NEMZ_ECSEL-2021-00008 számú támogatásán keresztül. A munkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap K_128315 (OTKA) projektje és az Európai Unió DigiFED 872088 DT-ICT-01-2019-IA „Generic Experiment in Smart Lighting” elnevezésű projektje is támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **E. Fred Schubert:** *Light-emitting diodes*, 2nd edition, ISBN: 0-511-34476-7, Cambridge University Press, 2006
- [2] **Schwarz Péter:** „Világítási és egyéb hálózatok – lehetőségek és kérdések” Online szeminárium; 2022. május 16.
- [3] Nemzetközi Világítástechnikai Szótár, „CIE S 017:2020 ILV: *International Lighting Vocabulary*”, 2nd edition, online elérhető: <https://cie.co.at/e-ilv> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [4] **Arató András, Dr. Borsányi János, Eperjessy Mária, Dr. Lantos Tibor, Nagy János** (főszerk.), **Némethné Dr. Vidovszky Ágnes, Poppe Kornélné, Török Béla:** „*Világítástechnikai Kislexikon*”, Világítástechnikai Társaság, 2001
- [5] **Dr. Ábrahám György, Dr. Wenzelné Geröfy Klára, Dr. Antal Ákos, Dr. Kovács Gábor,** „*Műszaki Optika*”, egyetemi jegyzet, BME, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék, online elérhető: https://mogi.bme.hu/TAMOP/muszaki_optika/index.html (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [6] Wikipédia, A Szabad Enciklopédia: „*Fehér*”, szócikk, online elérhető: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Feh%C3%A9r> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [7] **Dr. Urbin Ágnes,** „*Chromatic discrimination thresholds in terms of chromatic adaptation*”, doktori (Ph.D.) értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Pattantyús-Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, 2022
- [8] „*A CIE színmérő rendszer*”, a BME MOGI tanszék egyetemi jegyzetének 4.11.1. al-afejezete, online elérhető: https://mogi.bme.hu/TAMOP/muszaki_optika/ch04.html#ch-IV.11.1 (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [9] CIE 013.3-1995: „*Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources*”, ISBN: 978 3 900734 57 2
- [10] **Hegedüs János:** „*A LED-ek fizikai működése és felépítése*”, Függelék a doktori értekezéshez, online elérhető: https://www.eet.bme.hu/~hegedus/disszertacio/LED_ek_mukodese_jegyzet.pdf (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [11] JEDEC JESD51-1 Standard: „*Integrated Circuit Thermal Measurement Method - Electrical Test Method*” (1995), <https://www.jedec.org/standards-documents/docs/jesd-51-1> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [12] **G. Hantos, J. Hegedüs,** „*K-factor calibration issues of high power LEDs*”, In: Proc. of the 23rd THERMINIC Workshop, 27-29 September 2017, Amsterdam, Netherlands, pp. 182-187, DOI: 10.1109/THERMINIC.2017.8233798
- [13] **G. Hantos, J. Hegedüs, A. Poppe,** „*Different questions of today's LED thermal testing procedures*”, In: Proc. of the 34th IEEE SEMI-THERM Symp., 19-23 March 2018, San Jose, USA, pp. 63-70, DOI: 10.1109/SEMI-THERM.2018.8357354
- [14] **G. Hantos,** „*Measurement techniques of light emitting diodes*”, Doktori (PhD) értekezés, 2022, Budapest, <https://repositorium.omikk.bme.hu/handle/10890/17001> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [15] T3Ster termikus tranziens mérő műszer: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/t3ster.html> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [16] TeraLED kombinált LED karakterizáló eszköz: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/teraled.html> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [17] JEDEC JESD51-50A Standard: „*Overview of Methodologies for The Thermal Measurement of Single- and Multi-Chip, Single- and Multi-Pn-Junction Light-Emitting Diodes (LEDs)*”, <https://www.jedec.org/standards-documents/docs/jesd51-50> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [18] JEDEC JESD51-51A Standard: „*Implementation of The Electrical Test Method for The Measurement of Real Thermal Resistance and Impedance Of Light-Emitting Diodes with Exposed Cooling Surface*”, <https://www.jedec.org/standards-documents/docs/jesd51-51> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [19] JEDEC JESD51-52A Standard: „*Guidelines For Combining CIE 127-2007 Total Flux Measurements with Thermal Measurements of Leds with Exposed Cooling Surface*”, <https://www.jedec.org/standards-documents/docs/jesd51-52> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [20] JEDEC JESD51-53 Standard: „*Terms, Definitions and Units Glossary for Led Thermal Testing*”, <https://www.jedec.org/standards-documents/docs/jesd51-53> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [21] CIE 127:2007 Technical Report: „*Measurements of LEDs*”, <https://cie.co.at/publications/measurement-leds> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [22] CIE 225:2017 Technical Report: „*Optical Measurement of High-Power LEDs*”, <https://cie.co.at/publications/optical-measurement-high-power-leds> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [23] **Poppe A.,** „*Teljesítmény LED-ek új termikus mérési szabványai*”, In: Barkóczi G., Bolvári G., Dr. Szabó F. (szerk.), *Világítástechnikai Évkönyv 2012-2013: A fény és élettani hatásai*, 208 p. Budapest: MEE Világítás-technikai Társaság, 2012. pp. 96-102, <http://www.vilagitas.org/stuff/evkonyv/2012-2013/Led/Poppe%20Andras%20-%20Teljesitmeny%20LED-ek%20uj%20termikus%20meresi%20szabvanyai.pdf> (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [24] **Poppe András,** „*Félvezető eszközök multi-domain karakterizációja*”, Akadémiai doktori értekezés, 2017. szeptember, Budapest, <http://real-d.mtak.hu/id/eprint/1053> (Megtekintve: 2023. április 12.)

- [25] CAS 140 spektrométer:
<https://www.instrumentsystems.com/en/products/spectrometers>
 (Megtekintve: 2023. április 12.)
- [26] **A. Poppe, G. Farkas, L. Gaál, G. Hantos, J. Hegedüs, M. Rencz**, „Multi-domain modelling of LEDs for supporting virtual prototyping of luminaires”, *ENERGIES*, 2019, 12(10), 1909, DOI:10.3390/en12101909
- [27] **Genevieve, Martin; András, Poppe; Sebastian, Schoeps; Elke, Kraker; Christophe, Marty; Wouter, Soer; Joan, Yu**, „AI-TWILIGHT: AI-digital TWIN for LIGHTing – a new European project”, In: Vadim, Tsoi; Lorenzo, Codecasa; Bernhard, Wunderle (szerk.) *Proceedings of the 27th International Workshop on THERMal INvestigations of ICs and Systems (THERMINIC'21 online)*, Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok : IEEE (2021) pp. 212-217., 6 p.
- [28] **J. Hegedüs, G. Hantos, A. Poppe**, „Lifetime Modelling Issues of Power Light Emitting Diodes”, *ENERGIES*, 2020, 13(13), 3370, DOI:10.3390/en13133370
- [29] **Chhaged, S., Xi, Y., Li, Y.-L., Gessmann, T., & Schubert, E. F.**: „Influence of junction temperature on chromaticity and color-rendering properties of trichromatic white-light sources based on light-emitting diodes”, *Journal of Applied Physics*, 97(5), 054506 (2005), DOI:10.1063/1.1852073
- [30] **Frank Reif Gerste, Jens Lienig**: „Modelling of the Temperature and Current Dependence of LED Spectra”, *Journal of Light & Visual Environment*, 2008, Volume 32, Issue 3, Pages 288-294, DOI: 10.2150/jlve.32.288
- [31] **A. Keppens, W. R. Ryckaert, G. Deconinck, and P. Hanselaer**, „Modeling high power light-emitting diode spectra and their variation with junction temperature”, *Journal of Applied Physics* 108, 043104 (2010), DOI: 10.1063/1.3463411

Lipák Gyula

villamosmérnök-hallgató,
 A BME Villamosmérnöki és Informatikai
 Karának harmadéves hallgatója.
 MEE VTT-tag
gylipak@gmail.com



Hegedüs János

okleveles villamosmérnök,
 a BME VIK Elektronikus Eszközök Tanszékének
 tudományos munkatársa
 MEE VTT tag
hegedus.janos@vik.bme.hu



Hantos Gusztáv

okleveles villamosmérnök, okleveles műszaki
 menedzser, BME VIK Elektronikus Eszközök
 Tanszékén működő Termikus, Optikai
 és Megbízhatósági Laboratórium vezetője
 MEE VTT-tag
hantos.gusztav@vik.bme.hu

HÍREK

Új akkugyár Debrecenben

A BMW Group elektromos autók beszállítójaként zöldgyárat épít az EVE Power Magyarországon, a gyár a BMW Group debreceni üzemének egyik fő beszállítója lesz.

Az EVE Power, a vezető lítiumcella-gyártó cég Debrecenben épít környezetbarát gyárat, amely a BMW Group jövőbeni üzemének akkumulátorcella-beszállítójaként fog működni 45 hektáron. Az üzem Debrecen közelében, a BMW beszállítóinak biztosított területen, az Észak-nyugati Gazdasági Övezetben épül fel.

Az iparág csúcsát jelentő gyár hengeres akkumulátorokat fog gyártani az autóiipar számára modern technológia alkalmazásával, évi 28 GWh gyártókapacitással. A több mint 1 milliárd eurós költségvetésű beruházással létrehozott gyárban több mint ezren dolgoznak majd a 2026-ra tervezett átadás után.

Prémiumautókhoz prémium akkumulátorcellák kellenek, amelyeket az EVE Power világszinten is piacvezető technológiája biztosít majd a debreceni BMW Group gyárban készülő elektromos autókhoz.

„Cégünk 22 éves tapasztalattal bír az akkumulátorcellák gyártása területén. Számunkra a növekedésnél mindig fontosabb volt az innovatív, high-tech megoldások kutatása és fejlesztése, amelyre árbevételünk 8%-át fordítjuk. Technológiáinkat saját kutatómérnökeink fejlesztették ki, így világszínvonalú tudást hozunk Debrecenbe. Ezt a tudást a helyi műszaki és technikai oktatási intézményekkel is szeretnénk megosztani, a debreceni közösségnek pedig hasznos és megbízható tagjai kívánunk lenni” – mondta Alexander Holden, az EVE Power senior alelnöke.

A gyár mesterséges intelligenciát és gépi tanuláson alapuló rendszert fog használni, hogy a legmagasabb minőségi követelményeknek is megfelelő lítium hengeres akkumulátorcellákat állítson elő. A telephely tisztított szennyvizet és felszíni vizet vesz majd igénybe, amelyet a helyszínen újra-

hasznosítanak a vízigény csökkentése érdekében.

A tisztított szennyvíz és a felszíni víz fedezi majd a beruházás vízigényének 95 százalékát, a fennmaradó 5 százalékot az iható víz teszi ki, amelyet a kommunális szolgáltatásokhoz vesznek igénybe.

A cég napelemeket és energiatároló rendszert használ majd az energiahatékony termelés érdekében, és a karbonkibocsátást is folyamatosan ellenőrizni fogják. Az EVE Power hosszú távon olyan beszállítókkal dolgozik együtt, akik az akkumulátorok egyes elemeit, mint például a katód prekurzorokat és az anódokat zöldenergiával állítják elő.

A 2012-ben alapított EVE Power az EVE Energy leányvállalata. Az utóbbi névvel sokan találkozhattak eddig is Magyarországon, hiszen a cég termékei már ma is ott vannak a legtöbb háztartásban az okosotthonokhoz, valamint a kerti és a háztartási gépekhez való akkumulátorok révén. Az EVE Energy aktívan támogatja a helyi oktatási intézményeket és szponzorálja a tehetséges diákokat. Azokban az országokban, ahol üzemel, az EVE Energy elkötelezett az egészséges és fejlődő környezet kialakítása mellett és már lépéseket tett annak érdekében, hogy Debrecenben is támogassa a helyi kezdeményezéseket.

Innovációk találkozása

Az EVE Power olyan új típusú, 46 mm átmérőjű, nagy teljesítményű akkumulátorcellákat állít majd elő az elektromos BMW-khez, amelyek kisebbek, könnyebbek és 20%-kal sűrűbbek lesznek a ma használatos társaiknál, aminek köszönhetően a hatótávolság 30%-kal is nő. Ezeknek az úgynevezett 6. generációs akkumulátoroknak 30%-kal gyorsabb lesz a töltési sebességük.

Forrás: EVE Energy



Rezonáns, fázistolással vezérelt ZVT tápegység megvalósítása

Diplomamunkám feladatául a címben szereplő rezonáns tápegység megépítését kaptam. A tápegység megvalósítása magába foglalta annak megtervezését, a kapcsolás szimulációját, NYÁK-jának elkészítését, a tápegység megépítését, mikrokontrollernek felprogramozását és a kész tápegység vizsgálatát.

As the topic of my thesis I built the aforementioned resonant power supply. The implementation included designing, simulating, making the PCB, building the hardware parts, programming the microcontroller, and measuring the power supply.

1. BEVEZETÉS

A korszerű kapcsolóüzemű tápegységek építése esetén cél a tápegység veszteségeinek minimalizálása. A tápegységek kapcsolási vesztesége jelentősen csökkenthető valamilyen rezonáns kapcsolás alkalmazásával. Bemutatott diplomamunkám témáját ezen kapcsolások alaposabb megismerése céljából választottam.

2. A MEGÉPÍTETT TÁPEGYSÉG MŰKÖDÉSE

A megépített tápegység egy SLR elrendezésű rezonáns kapcsoláson alapul.

Az SLR alap kapcsolás üzemiállapotait a kapcsolási frekvencia és a kapcsolásban található rezgőkör rezonancia frekvenciájának viszonyától függően három fő részre lehet osztani.

$$-\omega_{kapcs} \leq \omega_0/2$$

Ebben a működési tartományban I_L árama szaggatott, a félvezetők be- és kikapcsolási vesztesége közel nulla értékű.

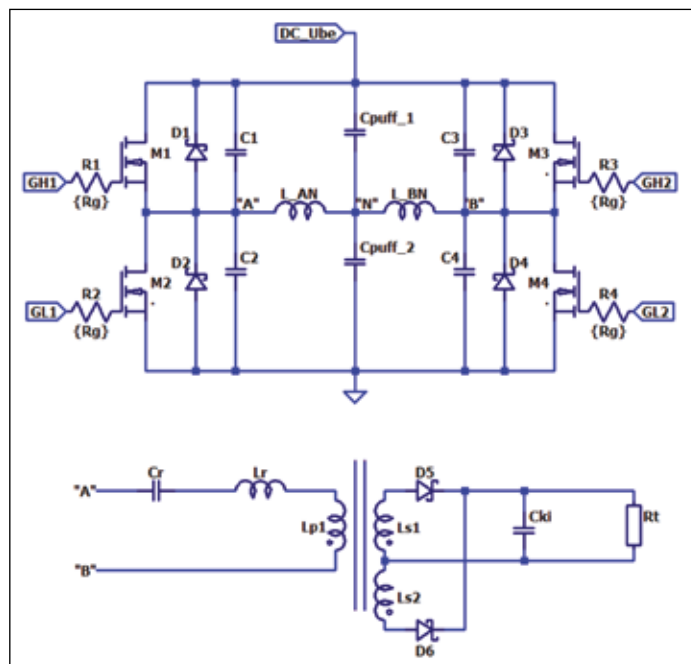
$$-\omega_0/2 \leq \omega_{kapcs} \leq \omega_0$$

Ebben a működési tartományban I_L árama folytonos, a félvezetők kikapcsolási vesztesége közel nulla értékű. [2]

$$-\omega_0 \leq \omega_{kapcs}$$

Ebben a működési tartományban I_L árama folytonos, a félvezetők kikapcsolási vesztesége közel nulla értékű.

A megépített kapcsolás a $\omega_0 \leq \omega_{kapcs}$ tartományban üzemel. A MOSFET-ek akkor kapcsolnak be, amikor a velük ellenpárhuzamosan kapcsolt dióda vezet, így bekapcsoláskor a MOSFET-ekre eső feszültség a dióda nyitóirányú feszültségese, ami minimalizálja a bekapcsoláskor fellépő kapcsolási veszteséget. A MOSFET-ek kikapcsolása akkor történik, amikor I_L árama a maximális értékű, ami jelentős veszteséget okozna. Ennek csökkentése érdekében a MOSFET-tel egy kis értékű kondenzátor van párhuzamosan kötve. Ez a kondenzátor a kikapcsolás pillanatában átveszi a MOSFET-en keresztül folyó áramot, ilyen módon csökkentve annak kapcsolási veszteségét. A kapcsolást egy teljes híd hajtja meg. Az L_{AN} és L_{BN} induktivitások feladata a MOSFET-ek folytonos áramának biztosítása kis kimeneti áram esetén is. [1] A kimeneten az egyenirányító előtt egy transzformátor is található, így a tápegység bemenete és kimenete galvanikusan független. A kapcsolás elvi vázlata az 1. ábrán látható.



1. ábra A tápegység elvi kapcsolási vázlata

A tápegység vezérlését mikrokontrollerrel valósítottam meg, mivel így lehetőségem volt a tápegység állapotának kijelzésére. A tápegység kimenete feszültség vagy áramgenerátoros üzemmódban üzemelhet. A szabályozó kör hibrid kialakítású, a mért feszültség és áramérték alapján a mikrokontrollernek a referencia jelet műveleti erősítők állítják elő, ami alapján a mikrokontroller a megfelelő fázistolást beállítja a tápegység két hídja között.

3. A TÁPEGYSÉG MEGVALÓSÍTÁSA

A tápegység tervezése során szerettem volna az otthon rendelkezésre álló alkatrészeket használni. Emiatt a tápegység:

- bemeneti feszültsége: 30 V
- kimeneti feszültsége: 0V-15 V
- kimeneti árama: 0A-1,5 A.

A tápegységet először LTSpice programban szimuláltam. A szimulációban a vezérlő és a szabályzó áramkört ideális elemekből építettem fel, a főáramkör valós alkatrészekből állt. A szimulációban kapott eredmények alapján választottam ki a tápegység megépítéséhez az alkatrészeket. A tápegység

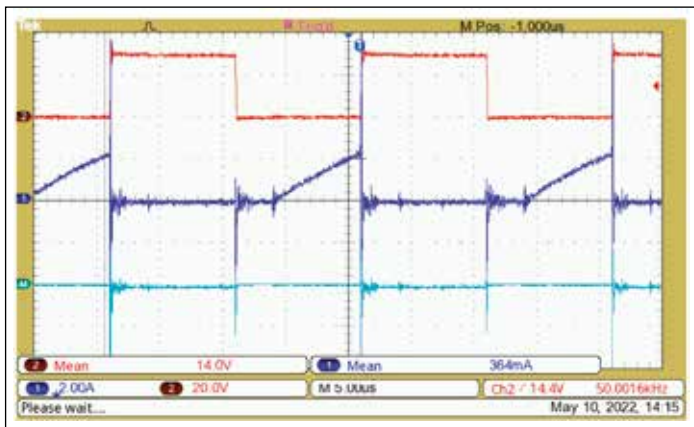


2. ábra A megépített tápegység mérés közben

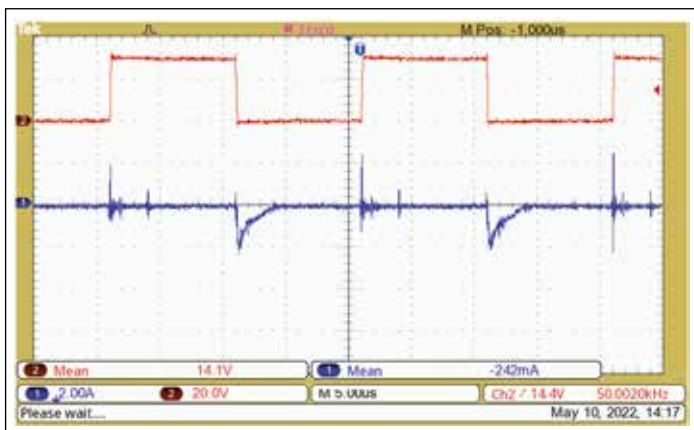
kapcsolási rajzát, valamint NYÁK-ját a KiCad programban készítettem el. A 2. ábrán az elkészített tápegység látható mérés közben.

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A 3. ábrán a tápegység egyik MOSFET-jének feszültség- (piros, 20V/div), áram- (kék, 2A/div), és veszteségi teljesítmény-idő (világoskék, 20VA/div) függvénye látható. A 4. ábra pedig ennek a MOSFET-nek a feszültség-idő (piros, 20V/div), valamint visszavezető diódájának áram-idő (kék 2A/div) függvényét mutatja.



3. ábra Egy MOSFET feszültség- (piros), áram-(kék) és veszteségi teljesítmény-idő (világoskék) függvényei



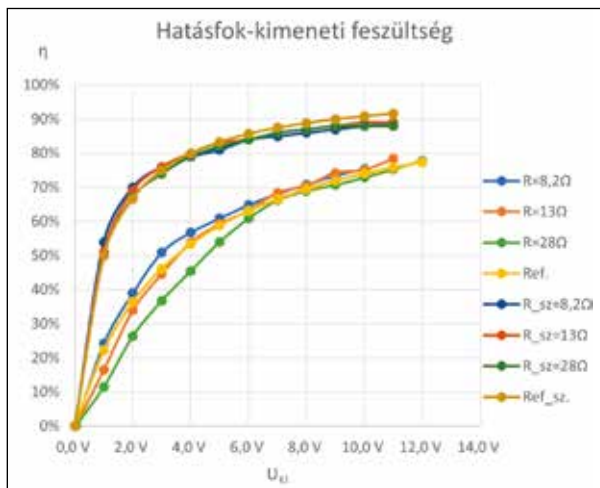
4. ábra Egy MOSFET feszültség-idő (piros), és visszavezető diódájának áram-idő (kék) függvényei

Megfigyelhető mind két ábrán a kapcsolásra jellemző működés. A MOSFET feszültsége már akkor nulla, amikor visszavezető diódáján folyik, ilyen módon, amikor a MOSFET-en kialakul az áram, akkor már feszültsége közel nulla értékű. A MOSFET veszteségi teljesítmény-idő függvényében (világoskék, 20VA/div) jelentkező tüskéket a MOSFET-tel párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok nem megfelelően megválasztott értéke okozza.

Az 5. ábra a tápegység hatásfokát mutatja a kimeneti feszültség függvényében különböző értékű terhelő ellenállások mellett. Sötétebb színnel a szimuláció, világosabb színnel pedig a megépített tápegység mérési eredménye látható.

Mindkét esetben a tápegység hatásfoka az 1. egyenlettel írható le. Az 5. ábrán az 1. egyenlettel szerkesztett veszteségi görbe „Ref.” névvel szerepel.

$$\eta = P_{ki} / (P_{be}) = P_{ki} / (P_{ki} + P_{veszt}) \quad (1)$$



5. ábra A tápegység hatásfoka a kimeneti feszültség függvényében különböző értékű terhelőellenállások esetén

ahol

η a tápegység hatásfoka

P_{ki} a tápegység leadott teljesítménye

P_{be} a tápegység felvett teljesítménye

P_{veszt} a tápegység veszteségi teljesítménye

A két mérés közti különbség oka, hogy a szimulációban ideális alkatrészeket használtam, a kimeneti transzformátor és az 1. ábrán látható D5, D6 dióda veszteségét a szimulációban nem vettem figyelembe. A megépített tápegység az áramok mérése miatt 100 m Ω -os söntöket tartalmaz. Ezek a söntök további veszteségeket okoznak, továbbá rontják a tápegység rezgőkörének jósági tényezőjét, ami szintén csökkenti a tápegység hatásfokát.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Diplomamunkám témája egy SLR alapkocsoláson alapuló fázistolással vezérelt ZVT rezonáns kapcsolás megvalósítása volt. A tápegységet igyekeztem az otthon meglévő alkatrészeimből megépíteni. A tápegység építése betekintést engedett a mérnöki munka számos területére, mivel a tervezésétől kezdve, az építésén át, egészen az elkészült tápegység megméréseig a feladatokat magam végeztem el. Köszönöm konzulensem, Badacsonyi Ferenc segítségét diplomamunkám elkészítésében.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Badacsonyi F.:** Teljesítményelektronika, Egyetemi jegyzet, Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, 2020
- [2] **N. Mohan, T. M. Undeland és W. P. Robbins:** Power Electronics, New York: John Wiley & Sons. Inc., 1995.



Berczik Péter

okl. villamosmérnök

HEITEC Hungary Kft.

berczikpeter97@gmail.com

Arató Csaba, Rajkai Ferenc, Dr. Novothny Ferenc

Emlékeztető a Villamos Biztonsági Munkabizottság

2023. április 5-i üléséről



A Villamos Biztonsági Munkabizottság 315. ülését személyes jelenléti formában tartottuk. Az ülésen Dr. Novothny Ferenc vezetésével szakmai kérdésekkel foglalkoztunk, és válaszokat fogalmaztunk meg a felmerült különféle problémákra. Így – többek között – szó volt a megváltozott felülvizsgálati és szakképzési rendszerrel, a földelőberendezések kivételével, NAF távvezeték alatt létesített műanyag bevonatú kerítés áramütés elleni védelmével, a VMBSZ és az OTSZ vizsgálati előírásainak összehangolásával, a jel és információtechnikai vezetékek létesítésével, az erősáramú/energetikai kábelek terhelhetőségével, a védővezetőnek használható, illetve nem használható szerkezeti elemekkel, egy gyártócsarnok villamos hálózatának bővítésével és a tűzeseti lekapcsolás kialakításával kapcsolatos kérdésekről.



1.) PETŐ SÁNDOR Már több helyről hallotta, hogy jogszabályi változás miatt, az Érintésvédelmi Szabványossági Felülvizsgáló szakképesítéssel már nem végezheti el a 27/2012. (VIII.27.) NGM rendelet szerinti ÉV-felülvizsgáló szakmai és vizsgakövetelmények pályatükrében felsorolt vizsgálatok egy részét. A változásokról kért egy részletes tájékoztatást.

2.) WIMMER NÁNDOR A megváltozott felülvizsgálati rendszerről kért felvilágosítást, ugyanis nem egyértelmű számára, hogy a villamos biztonsági felülvizsgálat (VBF) megjelenésével, időszakosan milyen időponthoz igazodva kell azt elvégezni? Esetleg a lejárt EBF vagy lejárt ÉV felülvizsgálatával együtt? Továbbá már meglévő üzleteknél az ÉV és EBF mellett a VBF-et is el kell végezni? Új létesítménynél – amennyiben jól értelmezem – mindhárom meg kell csinálni?

VÁLASZ mindkét kérdésre:

A módosított 40/2017. (XII.4.) NGM rendelet 2020. július 31-i hatálybalépésével megszűnt az érintésvédelmi szabványossági felülvizsgálat és az erősáramú berendezések szabványossági felülvizsgálata, valamint ezek felülvizsgálói képzettsége és tevékenysége. Ugyanígy az egykori Országos Képzési Jegyzék (OKJ) is hatályát veszítette. A módosító rendelet előírta a villamos biztonsági felülvizsgálatot:

„2. Értelmező rendelkezések 2. § E rendelet alkalmazásában:

33. villamos biztonsági felülvizsgáló: a villamos berendezések olyan részletes – a méréseket és azok számszerű eredményének kiértékelését is tartalmazó – különleges erős-

áramú villamos szakképzettséget igénylő ellenőrzése, amely alkalmas arra, hogy kimutassa, teljesíti-e az a vonatkozó szabványok vagy azokkal egyenértékű műszaki megoldásokat tartalmazó műszaki előírások valamennyi kritériumát, továbbá a villamos berendezés első ellenőrzéskor és a rendszeresen ismétlődő időszakos vizsgálatok során végzett teljes körű felülvizsgálat, amely magában foglalja a villamos berendezés áramütés elleni védelmének és az általános szabványos állapotának (tűzvédelmi jellegű) vizsgálatát.”

A villamos biztonsági felülvizsgálat tehát az épített létesítmények villamos hálózatának teljes körű, minden részletre kiterjedő vizsgálata, amely tartalmazza az áramütés elleni védelem, a szabványos állapot, a túláramvédelem, túlfeszültség-védelem stb. ellenőrzését, valamint a hibavédelem, villamos elválasztás, SELV, PELV törpefeszültség, fémtestű kéziszerszámok, kettős vagy megerősített szerkezetek, áram-védőkapcsolók méréses vizsgálatait, és a hálózat szigetelési ellenállás mérését. A vizsgálati eredményeket és a kiértékelést, minősítést dokumentálni kell.

Az erősáramú/energetikai villamos berendezésekre vonatkozó Villamos Biztonsági Szakági Műszaki Előírás (azonosító jele: SZME-VB 2021.06.09.) pedig meghatározta a villamos biztonsági felülvizsgáló fogalmát:

„2. Értelmező rendelkezések

2.2. A szakági műszaki előírásban alkalmazott fogalmak és egyes fogalmak magyarázata: (kizárólag a jelen SZME-VB alkalmazása szempontjából):

20.) villamos biztonsági felülvizsgáló: Különleges erősáramú villamos szakképzettségű személy, aki a létesített villamos berendezések áramütés elleni védelmének és szabványos állapotának (tűzvédelmi jellegű) teljes körű ellenőrzésére és felülvizsgálatára kiképzett és felhatalmazott, jelentős munkakört betöltő személy.”

Az egykori OKJ helyett az „Egyes ipari és kereskedelmi tevékenységek gyakorlásához szükséges képesítésekről, valamint egyes műszaki szabályozási tárgyú miniszteri rendeletek módosításáról” szóló 34/2021. (VII.26.) ITM rendelet 1. melléklete tartalmazza az egyes ipari és kereskedelmi tevékenységek gyakorlásához szükséges képesítések listáját. A lista 22., 60. és 74. sora vonatkozik a villamos biztonsági felülvizsgálatokra, illetve a felülvizsgálókra.

Ebből látható: Erősáramú berendezések felülvizsgálatát, minősítő nyilatkozat megtételét és lakó- és kommunális épületek, ipari létesítmények érintésvédelmi felülvizsgálatát, valamint műszaki biztonsági felülvizsgálatot 2021. szeptember 1. óta jogszabály alapján szervezett képzéssel megszerzett Villamos biztonsági felülvizsgáló végezheti. A korábbi ÉV és EBF (együttes) egyenértékűségét a 34/2021. (VII. 26.) ITM rendelet 1. melléklet táblázatának 74. sora tartalmazza!

A villamos biztonsági felülvizsgáló hatósági hatáskörbe tartozó, jogszabály alapján szervezett képesítő képzés. A képzés speciális, illetve részletes szakmai követelményeiről, a benyújtandó képzési programok tartalmáról és a hatósági eljárásról a Budapest Főváros Kormányhivatalának mérésügyi és műszaki biztonsági hatósága TÁJÉKOZTATÓT adott ki. Ez részletesen tartalmazza a műszaki biztonsági szempontból jelentős ipari szakmai képesítés képzési feltételeit, eljárásrendjét, oktatási és vizsgakövetelményeit.

1.) VÁLASZ Pető Sándornak:

A megváltozott körülményekre való tekintettel – ha csak ÉV képesítése van – javasoljuk, hogy végezze el a villamos biztonsági felülvizsgáló képző tanfolyamot, mert csak ÉV képesítéssel nem tud dolgozni!

2.) VÁLASZ Wimmer Nándornak:

Az üzleteik felülvizsgálatával kapcsolatban a következőt javasoljuk: Ha lejár egy üzletük felülvizsgálatának érvényessége (akár ÉV, akár EBF), akkor a következő alkalommal már a teljes körű villamos biztonsági felülvizsgálatot (VBF) végezzék el. Természetesen nem kell az ÉV és EBF vizsgálatokat is külön elvégezni, hiszen mint az előző leírásból látható, csak VBF-et kell végezni, ez magába foglal minden vizsgálatot. Így lassan minden üzletük átállhat a VBF felülvizsgálatra.

3.) BOLLA IVÁN Levelében szintén a megváltozott felülvizsgálati rendszerről, ennek hatályos szabályairól, vizsgálatairól és jegyzőkönyvezéséről, a kéziszerszámok vizsgálatairól, valamint az átszervezett szakképzésekről érdeklődött.

VÁLASZ:

Az előző kérdésekre adott válaszok e kérdésekre is feleletet adnak. A kéziszerszámok felülvizsgálatát a VMBSZ 6.1.3. és 6.1.4. pontja írja elő:

„6.1.3. A gazdasági célfelhasználású, professzionális alkalmazású villamos üzemű kéziszerszámokat és a SELV, PELV, villamos elválasztás védelmi módok hordozható tápforrásait erősáramú szakirányú végzettséggel rendelkező szakemberrel legalább évenként ellenőriztetni kell a következő szempontok szerint:

a) a biztonságot csökkentő esetleges sérülések, kopások feltárása szemrevételezéses ellenőrzéssel, és

b) a gyártói előírásban vagy annak hiányában a termékre vonatkozó termékszabványban meghatározottak alapján szigetelési ellenállás mérésének elvégzése.

6.1.4. A 6.1.3. pontban meghatározott vizsgálatok elvégzésének tényét és annak eredményét a villamos biztonsági felülvizsgálat végzője jegyzőkönyvben rögzíti. Az ellenőrzésen meg nem felelt szerszámot vagy transzformátort nem szabad üzembe helyezni, el kell különíteni, le kell selejtezni vagy javításra kell küldeni. Javítás után csak a 6.2. pont szerint elvégzett vizsgálatok megfelelő eredménye esetén szabad üzembe helyezni.”

▪ A felülvizsgálatokat előíró jogszabályok:

54/2014. (XII.5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról (OTSZ 5.2)

+ Irányelv: TvMI 12.5:2022.06.13. Felülvizsgálat és karbantartás

10/2016. (IV.5.) NGM rendelet a munkaeszközök és használatuk biztonsági és egészségügyi követelményeinek minimális szintjéről

40/2017. (XII.4.) NGM rendelet az összekötő és felhasználói berendezésekről, valamint a potenciálisan robbanásveszélyes közegben működő villamos berendezésekről és védelmi rendszerekről

+ SZME-VB 2021.06.09 Villamos Biztonsági Szakági Műszaki Előírások: Erősáramú/energetikai villamos berendezések

▪ Az oktatás és szakképzés jogszabályai

12/2020. (II.7.) Korm. rendelet a szakképzésről szóló törvény végrehajtásáról (OKJ helyett!)

1. melléklet 12/2020. Korm. rendelethez: Szakmajegyzék

34/2021. (VII.26.) ITM rendelet egyes ipari és kereskedelmi tevékenységek gyakorlásához szükséges képzésekről, valamint egyes műszaki szabályozási tárgyú miniszteri rendeletek módosításáról

1. melléklete: Egyes ipari és kereskedelmi tevékenységek gyakorlásához szükséges képzések

45/2011. (XII.7.) BM rendelet a tűzvédelmi szakvizsgára kötelezett foglalkozási ágacról, munkakörökről, a tűzvédelmi szakvizsgával összefüggő oktatásszervezésről és a tűzvédelmi szakvizsga részletes szabályairól

9/2015. (III.25.) BM rendelet a tűzvédelmi szakvizsgára kötelezett foglalkozási ágacról, munkakörökről, a tűzvédelmi szakvizsgával összefüggő oktatásszervezésről és a tűzvédelmi szakvizsga részletes szabályairól

▪ Továbbá:

A Budapest Főváros Kormányhivatalának 2021.08.31-i TÁJÉKOZTATÓJA a jogszabály alapján szervezett képzés keretében megszerezhető, a műszaki biztonsági szempontból jelentős villamos biztonsági felülvizsgáló ipari szakmai képesítéséről.

Innovatív Képzéstámogató Központ Zrt. (IKK) által kiadott programkövetelmények, pl.

– 07134008 számú Villámvédelmi felülvizsgáló és a
– 07994001 számú Robbanásbiztos berendezés szerelője képzések programkövetelményei

Programkövetelmények:

<https://szakkepites.ikk.hu/#kereses>

A MEE kiadása: Villamos biztonsági felülvizsgálók kézikönyve 3. kiadás, Budapest, 2022.

4.) TORDAY ÁDÁM: Kérdése: ha alállomások esetében a villamos tervező bevonat nélküli acélt ír elő a földelőberendezés anyagaként, az MSZ EN 50522:2011 szabványra hivatkozva, úgy a földelési tervfejezet kivitelezésre történő átvételét megelőzően jogosan kérek-e a tervezőtől tervezői egyenértékűségi nyilatkozatot, feltételezve, hogy eltér az önként hivatkozott szabványtól, valamint a gyártmányra vonatkozó termékszabványok sem kerülnek teljesítésre.

VÁLASZ:

A jelenleg érvényes nemzeti szabályozás lehetővé teszi bevonat nélküli acél alkalmazását földelőberendezés anyagaként. A témára vonatkozik az „1 kV-nál nagyobb váltakozó feszültségű szabadvezetékek 2. rész: Nemzeti előírások” című, MSZE 50341-2019 jelű előszabvány, amely a következő követelményt tartalmazza a földelőberendezésekkel kapcsolatban:

„6. Földelőberendezések

6.4.2. HU5: A földelő, földelőhálók tervezésével és kivitelezésével kapcsolatos fő szempontok a következők:

– Alapvetően az acélföldelő javasolható a szabványok szerint 20 mm átmérőjű köracélból, potenciálvezérlő elektróda esetén legalább 12 mm átmérővel az élettartamra méretezés elve szerint.

– Ha – egyes külföldi gyakorlatot követve – rézföldelő alkalmazására kerül sor, a mechanikai és korróziós szempontok alapján 100 mm²-nél kisebb rézföldelő-keresztmetszet nem ajánlható, noha a földelési szabvány ennél kisebb keresztmetszetet is megenged.

– A sok évtizedes, kedvező hazai tapasztalatok, valamint a gazdaságossági megfontolások alapján a hagyományos 20 mm átmérőjű köracél alkalmazása továbbra is elfogadott általános esetben annak ellenére, hogy a földelési szabvány előírásában az acél tűzihorganyzott, rézbevonatú, rézköpenyes vagy ólomköpenyes kiviteltű rúd földelő szerepel.”

A helyzet így egyértelmű, a vonatkozó előszabványra lehet hivatkozni! A National Normative Aspects (NNA) készítése csak speciális szabványokhoz lehetséges, ez nem adatott meg a földelési szabványnál. A nemzeti műszaki bizottság

úgy döntött, hogy a magyar nemzeti eltérések egyelőre nem az európai szabványban, hanem magyar előszabványban jelennek meg (2014), az előszabvány 5 évig van érvényben, de egyszer megújítható (2019), így 2024-ig még érvényben van, ekkor szavazhatnak még 2 évi meghosszabbításról, tehát jelenleg érvényben lévő szabványelőírásnak tekintendő.

5.) WÉBER ÁDÁM Műanyag bevonatú, fémanyagú kerítés létesült az E.ON 22 kV-os gerincvezetéke alatt. Az E.ON területgazdája felszólította a céget (sertéstelep), hogy legalizálja a kerítést a 2/2013. (I.22.) NGM rendelet szerint. A kerítéselemek egymáshoz és a tartóoszlopokhoz is műanyag tartókkal vannak rögzítve, illetve erősítve, spontán fémes folytonosság nincs. Egy kerítéselem 2,5 m széles, magassága legfeljebb 1,8 m. Különböző biztonsági megoldásokban gondolkodtak, pl. fémesen folytonossá tenni a kerítést – ekkor hol és hogyan helyezték el a földelőket és ezek kötéseit? Vagy a keresztelő szigetetlen szabadvezeték biztonsági övezetében a kerítéshez erősítve a fölé egy külön földelt fémszerkezet kialakítása stb. Mi a helyes megoldás a szigetelt kerítések esetében?

VÁLASZ:

A kérdésben leírt esettel kapcsolatos, illetve erre értelmezhető elírások áttekintése:

▪ **2/2013. (I. 22.) NGM** rendelet a villamosművek, valamint a termelői, magán- és közvetlen vezetékek biztonsági övezetéről „ – **2. Értelmező rendelkezések 2. § (1)** E rendelet alkalmazásában

a) *biztonsági övezet:* a **6.**, a **7.** és a **9.** §-ban esetenként előírt távolságon belüli hatásterület,

g) *szabadvezeték:* a szigeteléssel nem rendelkező vezetősodrony,

– 4. A biztonsági övezet terjedelme

6. § (1) Föld feletti vezeték – ideértve a vezeték tartószerkezetén (oszlopán) elhelyezett átalakító és kapcsoló berendezést is az *a)* pont *af)* alpontjában és a *b)* pontban foglalt eltéréssel – biztonsági övezete a vezeték névleges feszültségétől függően, a vezeték mindkét oldalán a szélső, nyugalomban lévő áramvezetőktől vízszintesen és nyomvonalukra merőlegesen mért, következő távolságokra lévő függőleges síkorig terjed:

a) föld feletti szabadvezeték esetében:

ae) 1 kV felett 35 kV névleges feszültségig 5 méter, de a vezeték azon szakaszán, amely a belterületre és a fokozott biztonságra vonatkozó előírásainak megtartásával létesült, 2,5 méter;

(A légvezeték és a kerítés felsőpontja között kb. 5 méter távolság van, a kerítés és az oszlop között kb. 0,5 m)

d) föld feletti vezeték végpontján a biztonsági övezet a végponttól vízszintesen minden irányban mért, a feszültség-szinttől függően az *a)*, *b)* és *c)* pontban meghatározott távolságokra lévő függőleges síkorig is kiterjed.

– 5. Tilalmak a biztonsági övezetben

10. § (1) A föld feletti vezeték biztonsági övezetében tilos:

a) az alábbiak létesítése:

e) a föld felszínétől mért 3 méternél magasabb idegen építményhez, idegen berendezéshez tartozó fémhuzal, sodrony, lánc, ki- vagy átfeszítése, fém oszlop és rajta elhelyezett jelzőtáblák, besorolás rendjét, kapaszkodósávot jelző táblák elhelyezése, **továbbá 3 méternél magasabb kerítés létesítése**, kivéve a távközlési vezetékeket, valamint a villamos karám (villanypásztor) vezetékeket,

– 6. Korlátozások a biztonsági övezetben

13. § (1) Föld feletti vezeték biztonsági övezetében egyes tevékenységek csak a **(2) – (4)** bekezdésben foglalt korlátozások megtartásával végezhetőek.

(2) A biztonsági övezetben

be) 1 kV felett 35 kV névleges feszültségig 2 méternél jobban ne közelítse meg,

f) a föld felett 3 méternél nem magasabb, összefüggő, 50 méternél hosszabb fémszerkezetek, fém szőlőkordon, fémkerítés, fém csővezeték érintésvédelemmel ellátva létesíthető

▪ **MSZ EN 50522:2022** szabvány

1 kV-nál nagyobb váltakozó feszültségű energetikai létesítmények földelése

– **E melléklet** (előírás)

A gyakorlat által igazolt M (védő)intézkedések ismertetése

M2. Gyakorlat által igazolt intézkedések a szabadtéri létesítmények külső kerítéseire.

Az **M2.1.-től M2.3.-ig** terjedő gyakorlat által igazolt intézkedések egyike alkalmazható a külső érintési feszültségek elleni védelemként; külső kerítések kapui esetében ezen felül még az **M2.4.** gyakorlat által igazolt intézkedést is figyelembe kell venni.

M2.1. Nem vezetőképes anyagból vagy bevonati műanyag réteggel ellátott drótfonatból készített kerítések alkalmazása (még nem csupasz, vezetőképes oszlopok esetén is).

– **G melléklet** (előírás)

Részletes intézkedések a villamos szerkezetek és a létesítmények földelésére

G1. Alállomási létesítményeket körülvevő kerítések

A csupasz fémes kerítéseket földelni kell. Ehhez több földelési pontot kell kialakítani, pl. minden egyes saroknál. A helyi körülményeknek megfelelően (a földelőrendszeren belül vagy kívül lévő kerítés) földcsatlakozásokat ajánlatos készíteni a nagyfeszültségű földelőrendszerhez vagy külön földelőkhöz.

A szigetelőanyaggal bevont kerítések csupasz fémes részeit nem kell földelni.

Az alállomást körülvevő kerítésben lévő összes fizikai megszakítást, mint pl. a kapukat, olyan módon kell összekötni, amely biztosítja, hogy a kerítésrészek között ne alakuljanak ki veszélyes potenciálok.

A kerítés legmagasabb pontja: 1,80 m, ez valószínűleg kívül esik 22 kV esetén az előírt 5 m-es biztonsági övezeten! Áttanulmányozva az itt ismertetett előírásokat megállapítható, hogy a kerítés áramütés elleni védelme a műanyag bevonatú huzal alkalmazásával megoldott, külön intézkedésre nincs szükség!

6.) SZEPESVÁRI ZOLTÁN–KERESZTESI TIBOR kérdése: **Hogy lehet összehangolni az OTSZ-ben meghatározott felülvizsgálati időket a 40/2017. (XII.4.) NGM rendeletben meghatározott felülvizsgálati idővel? A tűzvédelmi továbbképzésen is az első felülvizsgálat után és időszakos felülvizsgálatra az OTSZ-ben meghatározott 6 év helyett a 3 évenként villamos biztonsági felülvizsgálat elvégzését határozták meg a 40/2017. (XII.4.) NGM rendelet előírásai alapján. A BM OKF tájékoztatása szerint a hatósági eljárásai során – a számukra irányadó jogszabályban – az OTSZ-ben leírt ciklusidőt fogja megkövetelni. Célserű lenne a szakmai érdekképviseleti szervünkön, azaz a MEE-n keresztül kezdeményezni a jogszabályok harmonizálását!**

VÁLASZ:

Tájékoztatjuk, hogy a Magyar Elektrotechnikai Egyesület minden lehetőséget megragadott a jogszabályok harmonizációjának elérésére, és felhívta a hatóságok figyelmét az eltérő szabályozásokra. Észrevételeit mind az Ipari és Technológiai Minisztérium (ma Gazdaságfejlesztési Minisztérium), mind a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság illetékes osztályaira, mind Villamos Biztonsági Szakági Műszaki Szakbizottság részére eljuttatta. Várható a következő jogszabályi módosításkor észrevételeink figyelembevétele, de a hatóságok különböző szempontjai, általuk meghatározott eltérő területekre eltérő gyakoriságot határozhatnak meg. A jogalkalmazónak kell eldöntenie, hogy az adott vonatkozásban melyik jogszabályi előírás a mérvadó!

Ha két biztonsági előírásban hasonló témakörben eltérés van, az alapszabály minden esetben az, hogy mindig a szigorúbb szabályozást kell figyelembe venni és annak alapján kell a döntést meghozni!

Mit jelent ez a mi esetünkben?

A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy villamos biztonsági felülvizsgálónak a felülvizsgálata során az **OTSZ 5.2** és a módosított **VMBSZ** előírásait, valamint munkahelyek esetében a **10/2016 NGM** rendeletet is figyelembe kell venni és a szigorúbb előírások alapján kell neki vizsgálni, minősíteni és az ismétlődő vizsgálati gyakoriságot meghatározni! Így pl. egy létesítmény esetében, amely nem munkahely és valamilyen okból 500 kg robbanásveszélyes anyagot tárolnak benne, akkor 3 év gyakoriságot kell megállapítani, vagy ha munkahelyről van szó és az **OTSZ** szerint elég lenne 6 év gyakoriság, akkor **10/2016. (IV. 5.) NGM** rendelet szerint 3 évet kell előírni!

Egyúttal emlékeztetjük arra is, hogy az **OTSZ** felülvizsgálatai a **VMBSZ** előírásaihoz képest nem teljes körűek, mert csak kisméretű berendezések tűzvédelmi szempont szerinti ismétlődő vizsgálatát írja elő. Ugyanígy a **10/2016. NGM** rendelet is csak a munkahelyek áramütés elleni védelmének felülvizsgálatát írja elő, amely a villamos biztonsági felülvizsgálathoz csak egyik része! Ugyanakkor a **VMBSZ** szerinti villamos biztonsági felülvizsgálat minden esetben teljes körű, mindenre kiterjedő vizsgálat, amely mindenben kielégíti az **OTSZ** és a **10/2016. NGM** rendelet kisméretű berendezésekre vonatkozó vizsgálati követelményeit is!

7.) VARGA TAMÁS Egy vidéki társasház közös képviselője szeretne rendet tenni az épülete tetején/oldalfalán futó kábelek között, mert részben a lakók, de főként a távközlési szolgáltatók a kábeleiket (általában antenna/kábel-tv, de lehetnek erősáramú kábelek is) összevissza, mindenféle mechanikai és egyéb védelem nélkül vezették. Ezzel kapcsolatban kérdezte: a jelvezetési kábelek elhelyezésére, tetőn történő vezetésére milyen előírások vonatkoznak (a villámvédelmi rendszertől való elkülönítésen túl)? Szabályos-e, ha nem, akkor milyen előírásoknak mond ellent az a gyakorlat, amikor az erősáramú / jelvezetési kábeleket a társasházi függőfolyosó (védő egyenpotenciálú hálózatba bekötött) fém korlátrendszerébe (függőleges zártszelvénybe) befűzik?

VÁLASZOK:

7.1.) A lakók és/vagy szolgáltatók által létesített jelvezetési kábelek elhelyezésére, tetőn történő vezetésére milyen előírások vonatkoznak (a villámvédelmi rendszertől való elkülönítésen túl)? Az MSZ HD 60364-5-51:2010 előírásai ezen jelvezetési kábelekre is érvényesek?

Válasz: az említett szabvány villamos szerkezetek kiválasztására és szerelésére vonatkozik, a jelvezetéseket esetében az elhelyezésre vonatkozóan érvényesnek tekinthetjük (hozzáférhetőség, káros kölcsönhatások), azonban ki kell egészíteni a gyengeáramú vezeték elhelyezésére vonatkozó egyéb előírásokkal. A szintén villamos létesítési szabvány az **MSZ HD 60364-5-52:2011** szabvány **528.1.** szakasza előírja a külön vezetést, és felhívja a figyelmet egyéb szabályok betartására a telekommunikációs vezeték esetében. („**1. MEGJEGYZÉS:** A távközlési, az adatátviteli és a hasonló áramkörökre elektromágneses és elektrosztatikus villamos zavarral kapcsolatos külön megfontolások vonatkozhatnak.”) E külön megfontolások szabályait az **MSZ EN 50174** jelű *Informatika. Kábeltelepítés* című szabványsorozat angol nyelvű szabványai tartalmazzák, amelyek közül jelen kérdésben relevánsak a következők:

– **MSZ EN 50174-1:2018+2018/A1:2020** Telepítési előírás és minőségbiztosítás

– **MSZ EN 50174-2:2018** Telepítési terv és épületeken belüli kivitelezése

– **MSZ EN 50174-3:2014+2013/A1:2017** Szabadtéri telepítés tervezése és gyakorlata

A tetőn való elhelyezés szabadtérnek minősül, ugyanakkor javasolt az épületben való elhelyezés szabályait figyelembe venni. A villamos berendezésekről szóló **TvMI 7.5:2022.06.13.** tűzvédelmi műszaki irányelv **D.** mellékletének **D.2.8.2.** pontja példát tartalmaz a tetőn való nyomvonal-kialakításra (a példa a tűzálló kábelnyomvonal tartószerkezetére utal, de egyéb kábelek vezetésére is alkalmas).

7.2.) Kötelezhetőek a szolgáltatók ezen szabványok betartására előzetesen / utólagosan a meglévő rendszer átépítésére?

Válasz: A szabványok alkalmazása önkéntes, de műszaki szempontból (biztonságos üzemeltetés tekintetében és ez magára a gyengeáramú rendszerekre is vonatkozik) a betartásuk elvárható. Ez konkrétan azt jelenti, hogy a *szabványkövetelményekben meghatározott biztonsági megoldást mindig teljesíteni kell*, ezeknél csak szigorúbb alkalmazható! Ezt figyelembe véve a villamos biztonsági felülvizsgálónak észrevételezni kell, ha nem teljesülnek az előírt biztonsági követelmények!

7.3.) A tetőn rögzíthetőek-e a társasházak között átfeszített szolgáltatói jelvezetési kábelek tartói dübeleléssel kéményhez / szellőző felépítményhez?

Válasz: Ez statikai kérdés, amennyiben a rögzítés az adott épületszerkezeten statikailag ellenőrzött, akkor nem látjuk akadályát.

7.4.) Szabályos-e, ha nem, akkor milyen előírásoknak mond ellent az a gyakorlat, amikor az erősáramú és/vagy jelvezetési kábeleket a társasházi függőfolyosó (védő egyenpotenciálú hálózatba bekötött) fém korlátrendszerébe (függőleges zártszelvénybe) befűzik?

Válasz: Függőleges vezetésnél a kábel saját súlyából adódó mechanikai roncsolódást megfelelő tehermentesítő rögzítéssel meg kell akadályozni. Az alkalmazott szabványos kábelek szigetelésének épségét meg kell őrizni, különösen a ki- és bevezetés kialakításakor, ekkor a cső védőcsőnek minősül, az egyenpotenciál bekötésre a kábel nem jelent káros következményt.

8.) VINCZE SZABOLCS A kábelek alapterhelhetőségére következő két szabvány határoz meg értékhatárokat: az **MSZ HD 60364-5-52:2011** és az **MSZ 13207:2020** A két szabványban jelentős eltérések vannak alapterhelési értékekben. Ha példaként egy **NAYY-J 4x240 mm²** típusú és szerkezetű, **PVC szigetelésű alumíniumkábel** veszek figyelembe közvetlenül földbe fektetés esetén, akkor:

- az **MSZ HD 60364-5-52:2011** szabvány **B.52.4** táblázat, **3** terhelt vezető alumíniumnál, **D2** fektetési módnál a fenti keresztmetszetre **250 A** terhelhetőséget enged meg.
- az **MSZ 13207:2020** szabvány **8.** táblázat, **3** terhelt vezető alumíniumnál, **árnyékolás nélkül**, a fenti keresztmetszetre **364 A** terhelhetőséget enged meg.

A két szabványban a példaként megadott kábel alapterhelési értéke között **114 A** különbség van. Kérdése: a két említett szabványban miért van ekkora különbség alapterhelhetőségekben?

VÁLASZ:

A szabványok használata nem kötelező, önkéntes, de amennyiben egy (vagy több) adott szabványra való hivatkozás esetén a szabványban alkalmazott, meghatározott műszaki megoldástól eltérő megoldást alakít valaki, annak biztonsági szempontú műszaki egyenértékűségét igazolni kell.

Mindkét hivatkozott szabvány érvényben van Magyarországon (az **MSZ EN**; **MSZ HD** szabvány európai szabvány harmonizált átvételét és bevezetését jelenti) és mindkettő a kábelek terheltségét – is – tartalmazza.

A két szabványban szereplő értékek nem jelentősen különböznek, ugyanis az **MSZ HD 60364-5-52:2011** az értékeket **2,5 Km/W** talaj fajlagos hőellenállás érték mellett adja meg, ugyanakkor az **MSZ 13207:2020** szabvány a **12.a.** táblázat szerint korrekciós tényező alkalmazását tartalmazza, így a hivatkozott kábel esetén:

$364 \times 0,76 = 276,64$ A (ugyanolyan hőmérsékleti paraméterek mellett).

Így már nincs jelentősnek mondható eltérés (~10%). Az **MSZ HD 60364-5-52:2011** szabvány **B.52.6.1 d)** pontjában megjegyzést is fűz, mi szerint a „*a közvetlenül a földbe fektetendő többvezetékes kábelek esetében figyelembe veendőek a gyártó utasításai*”.

A szabványokban szereplő táblázatok használatát a kiegészítő megjegyzések figyelembevételével kell használni, amely szerint már nincs is jelentős különbség a szabványban levő értékek között. Tervezői felelősség az alkalmazott szabványok kiválasztása és használata, amelyek nagy körültekintést igényelnek.

9.) BÁLINT ROLAND Az **MSZ HD 60364-5-54:2012** szabvány **543.2.3. szakasza tiltja – többek között – a „normál üzemben mechanikai igénybevételnek kitett szerkezeti részek”** védő vagy védő-összekötő vezetőként való felhasználását.

Az egyik értelmezés szerint mechanikai igénybevételnek számít minden, ami mechanikai feszültséget hoz létre az anyagban. Ez esetben pl. **EPH gerinc vezetőként nem lehet felhasználni egy épített acélszerkezet vízszintes tartógerenda vázát, mert a szerkezeti kialakításból adódóan állandó mechanikai feszültség keletkezik, illetve van benne. A másik értelmezés szerint itt a szabvány arra utal, hogy mechanikai sérülés veszélyének van-e kitéve az adott szerkezeti rész. Kérdése: melyik értelmezés a helyes?**

VÁLASZ:

Az **MSZ HD 60364-5-54:2012** szabvány vonatkozó része:

„**543.2.3.** A következő fémrészeket nem szabad védővezetőként vagy védőösszekötő-vezetőként használni:

- fémes anyagú vízcsövek;
- éghető gázokat vagy folyadékokat tartalmazó fémes anyagú csövek;

1. MEGJEGYZÉS: Katódos korrózióvédelemre lásd az **542.2.6.** szakaszt.

- normálüzemben mechanikai igénybevételeknek kitett szerkezeti részek;
- hajlítható vagy hajlítható fém védőcsövek, ha azokat nem ilyen célra tervezték;
- hajlékony fémrészek;
- tartóhuzalok; kábeltálcák vagy kábelletrák.

2. MEGJEGYZÉS: A védővezetőre adott példák vonatkoznak az áramütés elleni védelemre használt védőösszekötő-vezetőre, védőföldelő-vezetőre és a földelővezetőre.”

A szabvány egyértelműen fogalmaz: „*az üzemszerű mechanikai igénybevétel*” azt jelenti, hogy benne igénybevétel hatására feszültség ébred, azaz húzó, nyomó, csavaró igénybevételnek kitett szerkezeti részek nem használhatók egyenpotenciálra hozás vezetőjeként!

A szabvány nem utal sem annak fajtájára, sem mértékére, így nem teszi mérlegelés tárgyává a hiba bekövetkezésének kockázatát sem. Kategorikusan elkerülendő az ilyen szerkezetek védő célú alkalmazása!

10.) ORBÁN SÁNDOR. Egy **1970-es** években épült gyártócsarnok felújítása során az akkori szabványok szerint létesített erőátviteli villamos hálózatát is felújítják, bővítik. Kérdése: a meglévő – jól működő, **400 és 630 A-es** – tokozott síneket fel lehet-e használni a gépek telepítésével együtt, vagy mindenképpen ki kell azokat cserélni **5** vezetékesre? Ehhez kapcsolódik, hogy ha ki is cseréljük a meglévő – nagy értékű – megmunkálógépek betápláló kábeleit, az újonnan épített sínrendszerhez igazodón **5** vezetékesre, a gépeken belül nincs lehetőség az **N** és a **PE** különválasztására. Vagyis azok ott újra összekötésre kerülhetnének. Ez viszont tilos! Mi lenne itt az észszerű, a gazdaságos, a szabványos megoldás?

VÁLASZ:

lpartelepi hálózatban a **PEN** vezeték alkalmazható. **TN-C** rendszer kialakítható. Csak a fogyasztókészülékek bekötésénél a **PEN** vezeték a testre kell (**PE**) csatlakoztatni és onnan a nullavezetőt – ha kell – **T** leágazással a gép kapcsához (**N**) vinni. Maradhat az eredeti **4** vezetékes kialakítás!

11.) BOKOR PÉTER Kérdése: Többlakásos lakóépületben egy helyen, csoportosan elhelyezett fogyasztásmérők esetén megfelelő-e az a megoldás, hogy a tűzeseti lekapcsolás a fogyasztásmérési helyek részét képező (méretlen oldali) kismegszakítókkal történik?

VÁLASZ:

A kérdésre a választ a **MEE** Épületvillamossági és Biztonsági Szakosztály Tűzvédelmi Munkabizottságának vezetője: **Kruppa Attila** fogalmazta meg.

A tűzeseti lekapcsolást az **OTSZ 5.2** jogszabály, a **TvMI 7.5** műszaki irányelv; az **MSZ HD 60364-5-56** és az **MSZ 447** szabványok, valamint az adott építményre vonatkozó tűzvédelmi szempontok (tűzvédelmi terv – ha van –, mérnöki

megfontolások stb.) figyelembevételével kell megvalósítani. A felsorolt jogszabály, irányelv és szabványok jelenleg nem zárják ki annak lehetőségét, hogy a tűzeseti lekapcsolás többalakos lakóépületben is kismegszakítókka történjen, feltéve, hogy a lekapcsolás kialakítására vonatkozó egyéb (pl. elhelyezési) feltételek is teljesüljenek. A hatályos szabályozás alapján tehát – kizárólag szerkezeti kialakítás szempontjából vizsgálva – a kismegszakító alkalmazása tűzeseti főkapcsolóként **elfogadható**.

A Tűzvédelmi Munkabizottság válaszána kiegészítése:

Megjegyezzük ugyanakkor, hogy az említett tűzvédelmi szempontok alapján a tűzeseti lekapcsolást a lehető legegyszerűbb, legáttekinthetőbb formában kell megvalósítani, ezért többalakos lakóépületeknél és – általánosságban – bonyolultabb villamos berendezéssel rendelkező épületeknél, építményeknél a tűzeseti lekapcsolást működtető „tűzeseti főkapcsoló”-k számát a lehető legnagyobb mértékben redukálni kell. Az **MSZ 447** azért csak az egy felhasználási helyet tartalmazó épületeket, családi házakat említi példaként, mert ezeknél a hálózati csatlakozás szokásos kialakítása (azaz a tápponton alkalmazott, jellemzően 9-nél nem több kismegszakító miatt) a kismegszakító tűzeseti főkapcsolóként történő alkalmazása a tűzvédelmi szempontoknak is megfelel.

Ott, ahol a beavatkozó tűzoltónak a tűzeseti lekapcsoláshoz 9-nél több készüléket kell alkalmaznia, az egyszerűsége és áttekinthetőségre vonatkozó szempont egyre nagyobb mértékben sérül. Ezekben az esetekben akkor sem javasolt fogyasztásmérési helyek részét képező kismegszakítókat tűzeseti főkapcsolóként alkalmazni, ha arra egyébként a szabályozás lehetősége ad.

A **MEE Villamos Biztonsági Munkabizottsága (VB MuBi)** évente ötször ülésezik: **minden páros hónap első szerdáján**, kivéve augusztust (tehát februárban, áprilisban, júniusban, októberben és decemberben). Az üléseket mindig szerda du. 14 órakor tartjuk személyes részvétellel a **MEE** központi székhelyén: 1075 Budapest, VII. kerület, Madách Imre út 5. III. emeleten, a nagytárgyalóban. A rendes ülésrendtől való eltérés esetén értesítést küldünk. Az ülés nyílt, minden érdeklődő kollégát szívesen látunk!



Arató Csaba
az ÉV MuBi titkára



Rajkai Ferenc
az ÉV MuBi
operatív csoport tagja



Dr. Novothny Ferenc
ÉV Mubi vezetője

HÍREK

Hidrogén autók

Ma még úgy tűnik, hogy az elektromos autók jelentik a közlekedés jövőjét, de van egy másik ígéretes technológia is, amelyről kevesebb szó esik, ez a hidrogénhajtás.

A hidrogénnel működő jármű bizonyos szempontból elektromos autó: az üzemanyagcella oxigént és hidrogént felhasználó elektrokémiai folyamat során elektromos áramot állít elő, és ez hajtja az elektromos hajtásláncot. A jármű csak vízgőzt bocsát ki. Hidrogénhajtás esetén a feltöltési idő ugyanolyan rövid, mint a robbanómotoros autóknál egy tankolás. Egy hidrogénhajtású autóba 5 perc alatt tankolható 5 kilogramm hidrogén-üzemanyag, amivel 400-500 kilométert is megtehet a jármű. Ez nagy előny az elektromos autókhoz képest, azoknál ugyanis még a leggyorsabb töltési megoldások is mintegy 30 percig tartanak.

A hibridekkel ellentétben pedig a hidrogénhajtású, üzemanyagcellás autókban nincs belső égésű hajtómű. A hajtáshoz szükséges energiát az üzemanyagcella-csomag állítja elő a nagynyomású tartályokból származó hidrogénből.

Jelenleg a hidrogén jelentős részét földgáz segítségével állítják elő, ami szén-dioxid-kibocsátással jár. Arra is van lehetőség, hogy megújuló energiaforrásból, szél- vagy napenergia által termelt villamos energiával állítsák elő a hidrogént a víz molekuláris bontásával, azaz elektrolízisével. Ilyen esetben már teljesen környezetbarát zöldhidrogénről beszélünk.

Az üzemanyagcella a világegyetem leggyakoribb elemét, a hidrogént használja; ha ezt a gázt a levegő oxigénjével vegyítik egy folyamatban, akkor a végeredmény elektromos áram és tiszta víz.

Hogyan működik az üzemanyagcella?

A szerkezet egy elemi cellája két elektródából és a köztük lévő polimer membránból áll. A félig áteresztő membránon csak a protonok juthatnak át, így a hidrogénionok a katód körül gyűlnek össze, ahol reakcióba lépnek az oxigénionokkal. Az anódon felszabaduló elektronok elektromos áram formá-



ában hagyják el a cellát, és végső soron az autót mozgató villanymotort forgatják. Az üzemanyagcella semmilyen karbantartás nem igényel, és az élettartama is hosszú.

A nagy befogadóképességű és könnyű tartályokat az utastéren kívülre, a padlólemez alá szerelik, ami a súlypont magasságát is jelentősen csökkenti. Az összesen 5,6 kg hidrogén 650 km megtételére elegendő. A tartályok többrétegű felépítése minden körülmények között szavatolja a tökéletes biztonságot.

Gyakorlati példának vehetjük a már itthon is elérhető Toyota Mirait. Üzemanyagcellája 330 egyedi cellából áll, a legnagyobb teljesítménye 128 kW (174 LE), a telep tömege 52 kg. A Mirai állandó mágneses szinkronmotorjának teljesítménye 134 kW (182 LE), vagyis kicsivel több, mint az üzemanyagcelláé. Ez azért nem gond, mert mint minden üzemanyagcellás autóban, a Miraiban is van egy lítiumion akkumulátor. Ennek kapacitása 1,2 kWh, vagyis nem túl sok, de arra elegendő, hogy a hirtelen gyorsítások alkalmával besegítsen az üzemanyagcellának, amíg az is felveszi a terhelést. A villanyautókhoz hasonlóan a rendszernek itt is része a motor teljesítményét vezérlő, nagy teljesítményű elektronika.

Európában még elenyésző számú hidrogénhajtású autót adnak el, és alig pár száz töltőállomás található a kontinensen, de Ázsiában, különösen Japánban, nagy jövőt látnak a hidrogénben.

Forrás: MM

TECHNIKATÖRTÉNET

ÉRTÉKMENTÉS, TÖRTÉNETEK, HÍREK, ÉRDEKESSEGEK

Aki ismeri a múltját, jobban érti és értékeli a jövőt!

Technikatörténeti Bizottság

Kimpián Aladár

Dr. Csikós Béla: a mérnök és műve, a magyar nagyfeszültségű átviteli hálózat létrehozása I. rész

ELŐSZÓ - FAM történet

Technikatörténeti Bizottságunk tagjai fontosnak tartják azt, hogy azoknak, akik iparágunkban maradandót alkottak, tevékenységüket bemutatva emléket állítsunk.

*A program részeként, Jakabfalvy Gyula kutatta fel és örökítette meg a villamos kismotorgyártás feltalálójának, **Szikra Pálnak** életét és tevékenységét. Ma már el sem tudjuk képzelni a mindennapi életünket villamos kismotorok (hajszárító, háztartási kisgépek stb., sőt az utcákon száguldó rollerek) nélkül.*

*A magyar erősáramú elektrotechnika kiemelkedő alakjáról, a 100 évvel ezelőtt született **Dr. Csikós Béláról** szól következő cikkünk, amely a sokoldalú alkotó tevékenységének minél teljesebb bemutatása érdekében terjedelmi okokból több részben fog megjelenni.*

A MEE egyik kiemelt tevékenysége a szakmai tanfolyamok szervezése, köztük a FAM (Feszültség Alatti Munkavégzés) oktatási programjában fontos szerepet tölt be tudásvagyonának gondozása, fejlesztése. Tanfolyamokon és tanpályákon oktatják a feszültség alatti munkavégzés elméletét, és ami sokkal fontosabb, a gyakorlatát. Nagyon kevesen tudják azt, hogy – a FAM egyik részterületének a nagyfeszültségű FAM eljárás létrehozása – egy olyan szakember nevéhez fűződik, aki a MEE vezetőségének is tagja volt. Dr. Csikós Béla, örökre beírta magát a műszaki kutatás-fejlesztés egyetemes történetébe. Munkássága, találmányai és életútja szorosan összefonódik a magyar energetika múltjával, jelenével és jövőjével, akinek 2022-ben, születésének 100. évfordulója alkalmából tartott ünnepség keretében emlékeztek meg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen.

*Az Elektrotechnika jelen számával elindítunk egy izgalmas cikksorozatot, amely **dr. Csikós Béla** a mérnök és műve, a magyar nagyfeszültségű átviteli hálózat létrehozásának történetét ismerheti meg a Tisztelt Olvasó.*

Tóth Éva

Csikós Béla 1922. augusztus 4-én született a Jászárokszállás nagyközséghez tartozó Jászágó településen, ahol szülei négy hold földön gazdálkodtak. Jászágón nem lévén anyakönyv, születését a jászárokszállási nagyközségi anyakönyvbe jegyezték be.

Iskolai tanulmányait a jászágói osztatlan tanrendű tanyai elemi iskolában kezdte, a jászárokszállási négy polgáriban folytatta, majd a jászberényi gimnáziumban érettségizett. S hogy innen a maga erejéből a mérnöki diploma megszerzésén túl oly messzire jutott, ezt rendkívüli képességeinek, a szakmai tudást és az emberi tisztességet mindenek fölé helyező, önmagával szemben könyörtelen követelményeket támasztó magatartásának köszönhetette.

15 éves korában egy iskolai dolgozatban a tanulók életcélja iránt érdeklődő kérdésre így fogalmazott: „...*Én is választottam életcél. Mérnök akarok lenni. Céлом az, hogy a technika vívmányai minél több emberhez eljussanak. Megváltani az emberek verejtékét, levenni a vállukról a megnyomorító munka egy részét. Az embernek ne kelljen minden tehetségét a mindennapi kenyér megszerzésébe ölnie. Dolgozzon a gép is helyettünk. Legyen könnyebb és kényelmesebb az élet, hogy végre hozzá lehessen fogni a szellemi nyomor eloszlátásához is, amiről nem nagyon beszélhetünk addig, míg az emberek egy része odúban lakott és megrokant a temérdek munkától!*”

Verebélly László professzor tanítványaként és munkatársaként 1949-ben szerzett B-tagozatos gépészmérnöki – azaz villamosmérnöki – oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen.

Első munkahelye a Ganz Villamossági Gyár volt, ahol kezdetben villamos távvezetékeket és erőműveket tervezett, majd kinevezték kisgépgyártási osztályvezetővé, később pedig műszaki fejlesztési főosztályvezető-helyettesé.

1952-ben áthelyezték az Erőmű Beruházási Vállalathoz, majd átszervezéssel az OVIT-hoz került, ahol 1954-ben főmechanikus lett.

1955-ben ismét áthelyezték: az 1954-ben alapított Erőmű Tröszt Központi Karbantartási Szolgálatát és Villamos Osztályát vezette 1961-ig, amikor újból az OVIT-hoz helyezték át, ezúttal azonban már főmérnöknek.

A transzformátorok iránti, a Ganzból és az OVIT-ből hozott gépész- és villamosmérnöki érdeklődése tág horizontot kapott a Villamos Osztály élén, ahol rálátott az összes hazai erőmű és a hálózat teljes transzformátor-állományára, érzekelte annak anarchikus sokféleségét a műszaki jellemzők, az életkor és állapot, de leginkább az üzemeltetési gyakorlat terén.

Nekifogott tehát a rendteremtésnek, méghozzá először széles fronton feltéve és magas színvonalon megválaszolva a legaktuálisabb elméleti kérdéseket, majd eredményeit rögtön át is ültette a gyakorlatba.

1955 őszén a Nehézipari Minisztérium által szervezett „Együttműködő villamosenergia-rendszerünk 10 éves fejlődése” című anketon az iparág meghatározó vezetőinek társaságában nagyhatású előadást tartott szakterületéről.

Az 1956 és 1960 között írt, kereken 540 oldal terjedelmű ta-

nulmányai egyikének 1957. III. 31-i keltezésű bevezetőjében a korra és autonóm személyiségére oly jellemző kijelentést tesz: „Ez a munka ... nem irodalomból ismert kérdéseket, adatokat ismételt, hanem új, egyéni elvi elgondolásokat, gyakorlati megoldásokat, számítási módszereket, számítási eredményeket, táblázatokat, kapcsolási rajzokat és mérési eredményeket tartalmaz. ...”

„Nem alkalmas munkám arra, hogy a hozzá nem értők eből a transzformáló, szabályozó és kapcsolóberendezések üzemének kérdéseit megtanulják és ennek alapján a hozzáértőket ellenőrizzék, vagy bizonyos feladatok elvégzésére utasítsák.”

„A gazdaságos transzformátorüzem” című tanulmányában az üzemviteli tapasztalat és a terhelési statisztikák elemzése alapján kimutatta, hogy az erőművi, az alaphálózati és az elosztóhálózati transzformátorpark összes (üresjárású és rövidzárási) transzformációs vesztesége jelentősen csökkenthető, ha azokon a helyeken, ahol mód van transzformátorok párhuzamos kapcsolására, ott élnek is ezzel. Kimutatta azt is, hogy a transzformálási veszteségek 60%-a az összes transzformátor-teljesítmény 30%-át kitevő kisebb egység-teljesítményű transzformátorokra esik, ezért lehetőség szerint a nagyobb egység-teljesítményű transzformátorokat kell üzemeltetni.

Megállapítja, hogy a 20 – 2000 kVA-es teljesítménytartományban nincs szükség 18-féle teljesítményű transzformátorra; elegendő egy 11 tagú 25-2500 kVA-es sorozat, amelyben a soron következő gép teljesítménye az előzőének 1,6-szerese. Javasolja, hogy a gyártók több gombolyítási anyag beépítésével csökkentsék a rövidzárási (réz-)veszteséget, mert bár így a transzformátor valamivel drágább lesz, viszont élettartamköltségei csökkennek.

A transzformátorok és feszültség szabályozók be- és kikapcsolásáról szóló tanulmányaiban rámutatott a szabályozós transzformátorok ama bekapcsolási gyakorlatának helytelenségére, hogy a transzformátort abban a fokozatállásban kapcsolják be, amelyben a kikapcsol(ód)ás előtt volt.

A helyes eljárás a transzformátort abba a fokozatba szabályozni, amelyben a szabályozó transzformátor teljes, ún. „szőrös” tekercse a főtranszformátor nagyfeszültségű tekercsével azonos menetirányban van beiktatva, mert bekapcsoláskor ezáltal lesz a legkisebb a menetfeszültség, azaz a vasmag-indukció, így a bekapcsolási áramlöké is, amelynek erőhatása mechanikailag igénybe veszi a transzformátort.

Kimutatta, hogy a kikapcsolási túlfeszültségek csökkentésére a transzformátor terhelését a kisebb feszültségű oldalon kell megszakítani, majd – az elterjedt és hibás gyakorlattól eltérően – abba a fokozatba kell szabályozni, amelyben a szabályozó transzformátor teljes, ún. „szőrös” tekercse a főtranszformátor nagyfeszültségű tekercsével azonos menetirányban van beiktatva, és ekkor kikapcsolni a nagyobb feszültségű oldalról üresen járó transzformátort.

Az 1950-es évek 120 (100) kV/középfeszültségű, különálló szabályozós transzformátorai többféle belső kapcsolásúak voltak. A gyártóművi gépkönyvekenél alaposabb elméleti indoklással és részletesebb adatelemzéssel meghatározta a különféle konfigurációk terhelhetőségét, segédeszközt adva ezzel a hálózattervezésnek, az operatív rendszerirányításnak és az állomási üzemvitelnek egyaránt.

Tevékenyen részt vett a 1960-as évek közepén az első hazai 400/120/18 kV-os, 360 MVA-es gödi, majd 10 évvel később a 750/400/15 kV-os, 1100 MVA-es albertirsai transzformátorok megalkotásában. A Ganz Villamossági Művek nagy hírű konstruktőrei és gyártói előtt abszolút tekintélye volt, véleményét nemcsak a szerkesztés, hanem a gyártás és a próbatermi vizsgálatok kritikus pontjain is kikérték és elfogadták.



1. ábra 1968: a Ganz Villamossági Művek által gyártott első 400/120/18 kV-os, 360 MVA teljesítményű transzformátor a Gödi 400/220/120 kV-os állomáson. (Baloldalt a 18 kV-os, 50 Mvar-os söntfjót)



2. ábra Az Albertirsai 750/400 kV-os állomás Ganz Villamossági Művek által gyártott 1100 MVA háromfázisú teljesítményű 750/400/15 kV-os transzformátorának fő- és szabályozó fázisegysége

Klasszikussá vált mondása: „A transzformátor olyan egyszerű villamos gép, hogy bonyolultabb már nem is lehet.”

Csikós Béla Ganz gyári mérnöki működésének idejében alapvető, nagy horderejű változások történtek a hazai villamosenergia-rendszerben:

1948 Államosítás: létrehozták az **Állami Villamossági Rt.-t (ÁVIRT)**. Feladata volt összefogni Budapest és elővárosai, valamint a bányák villamos erőműveit és villamosenergia-elosztó szerveit, továbbá a dunántúli, az észak-magyarországi és az alföldi egyéb közcélú villamos műveket: összesen 137 erőművet és 147 villamos elosztó vállalatot.

1949 Létrejön az **Állami Villamosenergia Szolgáltató Vállalat (ÁVESZ)**, a három nagy vidéki elosztó vállalat 20 üzletigazgatóságát és a kisebb körzeti erőműveket is összefogó szervezet. Július 1-jén megalakult a **Mátravidéki Erőmű Vállalat**, amely a Budapest Székesfőváros Elektromos Művei által 1940-ben elkezdett, 1945-46-ban jóvátétel címén leszerelt és elszállított Iórincai erőművet építette újjá. A teljes kiépítés (4x32 MW) 1953-ban fejeződött be.

1949. november 23-án a Bánhidai, Tatabányai, Kelenföldi, Ajkai, Mátravidéki, Salgótarjáni, Diósgyőri, Dorogi, Kesznyéteni, Kazincbarcikai és Újpesti Erőműveknek a Budapest-Bánhida-Győr-Horvátalmi 100 kV-os, a Budapest-Mátravidéki 100 kV-os, valamint a Salgótarján-Szolnok 60 kV-os távvezetékek segítségével történő szinkron üzembe kapcsolása: köz-

ponti üzemirányítás alatt **megkezdte működését a magyar villamosenergia-rendszer (VER)**. A frekvencia tartására a Kelenföldi Erőművet jelölték ki. A villamosenergia-rendszer irányítását az **Országos Villamos Teherelosztó (OVT)** végezte. Minisztériumi felügyelet alatt megalapítják az **Erőművek Ipari Központját (ERIK)**. Feladata a nagy- és közép-erőművek központi irányítása.

1951 Az ÁVESZ feloszlik, és megalakul öt regionális áramszolgáltató vállalat: **ÉDÁSZ, ÉMÁSZ, DÉDÁSZ, DÉMÁSZ, TITÁSZ**. (A hatodik áramszolgáltató, az **ELMŰ** már a század első fele óta működik.) Elkezdődik a 6 x 20 MW-os Inotai Erőmű építése, amely 1955-ben fejeződik be.

1952 Megszűntetik az ERIK-et, feladatait a Bánya- és Energiaügyi Minisztérium **Villamosenergia-ipari Igazgatósága (VIPIG)** veszi át. 100/110 kV-os feszültség szinten távvezetési kapcsolat létesült Magyarország és Csehszlovákia (Kisigmánd-Érsekújvár) között, amelyen a magyar VER villamos energiát importált. Ez volt az első lépés a kooperáció nemzetközi kiterjesztésének irányába.

1953 100 kV-ról 120 kV-ra növelték a hálózat feszültségét, ezáltal annak áteresztőképessége 20%-kal növekedett.

1954. január 15-én minisztertanácsi rendelet lépett életbe a tervszerű villamosenergia- és teljesítménygazdálkodásról. Közel 2000 nagyfogyasztó szigorú vételezési menetrendet kapott, amely elsősorban csúcsidei teljesítményüket szorította le, villamosenergia-fogyasztásukat a kisterhelésű időszakokra igyekezett terelni. Ezzel megszűnt a másfél milliő kisfogyasztó 1952-ben kezdődött rendszeres korlátozása. A VIPIG gazdasági irányítása alatt szeptember 1-én megalakul az **Erőmű Tröszt**. Tagvállalatai az országos jelentőségű erőművek, az Erőmű Javitó és Karbantartó Vállalat (ERŐKAR) és az Országos Villamos Távvezeték Vállalat (OVIT). A VIPIG irányítása alatt megalakul az Országos Villamosenergia Felügyelet (OVILLEF).

Az Erőmű Tröszt Központi Karbantartási Szolgálatának és Villamos Osztályának vezetőjeül 1955-től az OVIT-től áthelyezve **Csikós Bélát** nevezik ki.

1955 Elkezdődött a Borsodi Hőerőmű építése. Az erőmű teljes kiépítése (6x30,5 MW+1x5 MW) 1957-ben fejeződött be.

1957 Megkezdődött az 1959-ben elkészült Tiszapalkonyai Hőerőmű (4x50 MW) építése.

1960 Szeptember 11. Az első 220 kV-os távvezeték (Zugló-Bystričany/Besztercsény) és az első 220/120 kV-os transzformátor üzembe helyezése.

1960 A Pécsi Hőerőmű I. fázisának (3x30,7+1x22,5 MW) kezdete, befejezése: 1964-ben. Az Ajkai Hőerőmű építése (3x30,7 MW).

1961 Hét európai szocialista ország kormányzintű egyezményrel létrehozta energiarendszereik egyesülését, a **CDU-t**. A prágai központú szervezet műszaki-koordinációs, elszámolási és operatív üzemirányítási feladatokat látott el. A 4x50 MW-os Oroszlányi Hőerőmű építésének kezdete.

1963. szeptember 1. Létrejött a **Magyar Villamos Művek Tröszt (MVMT)**, amely átvette a megszűnt Erőmű Tröszt vállalatát, valamint a hat áramszolgáltató vállalat műszaki és gazdasági irányítását is. A minisztériumban csupán a felügyelet és a távlati fejlesztési tevékenység irányítása maradt. Az MVMT szervezetének kialakításánál elsősorban a francia nemzeti villamos társaság (EdF) volt a minta, amely akkor a legkorszerűbbnek tartott szervezet volt Európában. Az MVMT végezte a teljes magyar villamosenergia-rendszer műszaki-gazdasági irányítását.

Magyarországon az akkori idők legnagyobb feszültségű, 100 kV-os hálózatának kiépítése – Verebélly László műegy. ny. r. tanár (ma úgy mondanánk: professzor) kezdeményezésére – 1928-ban, a Bánhidai erőmű-Budapest (Kótér) és a Bánhidai erőmű-Győr-Horvátkimle távvezeték létesítésével kezdődött,

egyaránt szolgálva a főváros és Győr növekvő villamosenergia-igényének kielégítését és a Budapest-Hegyeshalom (-Bécs) vasúti fővonal Kandó-rendszerű villamosítását.

A II. világháborúban elpusztult hálózatrészek pótlására és az új igények kielégítésére 1949. március 1-ével a Magyar Dunántúli Villamossági Rt.-nél, a Magyar Brown Boveri Műveknél, a Magyar Siemens Műveknél és a Ganz és Társa Rt.-nél dolgozó szakemberek egy részéből kormányhatározattal létrehozták az OVIT egyik jogelődjét, a **Távvezetéképítő Nemzeti Vállalatot (a TÁVÉP N. V.-t)**, melynek feladata a „*nagyfeszültségű országos távvezeték tervezése és kivitelezése, valamint az áramelosztó vállalatok faluvillamosítási tevékenységének szervezése és irányítása.*” (Idézet az alapítólevélből.)

A Népgazdasági Tanács 1951. február 15-én **Országos Villamostávvezeték Vállalat** elnevezéssel állami vállalatot alapított, melynek tárgya: a) az országos távvezeték és alállomások üzemeltetése, karbantartása és felújítása. b) az építés alatt álló távvezeték és alállomások műszaki felügyelete és az építkezés befejezése után azok átvétele. c) ... energiaelszámolás, számlázás és behajtás.

Önálló létezésének 1949-től 1954-ig tartó időszaka alatt a **TÁVÉP** 1150,8 km 120 kV-os, 136,4 km 60 kV-os és 274,3 km 35 kV-os, **összesen 1561,5 km távvezetékét épített**, köztük az akkor létesült nagy erőművek – Ajkai, Borsodi, Inotai, Mátravidéki, Sztálinvárosi – teljesítménykihozatalához szükséges 120 kV-os távvezetéseket. (Forrás: „1949 OVIT 1999 50 év a magyar villamos energetikában”)

Az **OVIT** és a **TÁVÉP** összevonására több lépésben került sor: 1955. január 1-től a TÁVÉP mint az OVIT távvezetéképítő önálló egysége, Építési Főmérnökségként, 1958. május 1-től teljes beolvadással,

1960. december 19-től pedig mint az Országos Villamos-távvezeték Vállalat Távvezeték Szerelési főosztálya működött.

Az összevonással komplex alaphálózat-építő és -üzemeltetővé vált OVIT, az 1950-1960-as évek fordulójára kiépítette a nagy megbízhatóságú, kellően burkolt 120 kV-os hazai alaphálózatot.

1961-től, **Csikós Béla** főmérnök kinevezésével egy időben kezdetét vette a nemzetközi kooperáció is alkalmas, néhány száz MW átviteli képességű 220 kV-os távvezeték létesítése.

1951-ben, alapításakor az OVIT 329,8 km 100 kV-os távvezetékét és az átvett alállomásokon 86 MVA összteljesítményű transzformátort üzemeltetett.

1962-ben az OVIT 31 vezetékfelügyelői csoporttal 2912,2 km alap- és főelosztó-hálózati távvezetékét üzemeltetett, köztük a (Munkács-)Országhatár-Sajószöged I-II. 120,3 km-es, a Sajószöged-Zugló I. 153,8 km-es, a Sajószöged-Zugló II. 152,7 km-es, a Zugló-Országhatár(-Bystričany/Besztercsény) 77 km-es és az Oroszlány-Dunamenti 59,4 km-es, összesen 563,2 km **220 kV-os távvezetékét**.

Ugyancsak 1962-ben az OVIT által üzemeltetett 32 alállomás beépített transzformátorteljesítménye 1771,3 MVA volt.

11 év alatt tehát az OVIT által üzemeltetett távvezeték hossza közel 9-szeresére, az alállomásokba beépített transzformátorok összteljesítménye több mint 20-szorosára, az alaphálózat legnagyobb névleges feszültsége pedig 100 kV-ról 120 kV-ra, majd 220 kV-ra nőtt!

Folytatjuk...



Kimpián Aladár

ny. főmérnök

MEE-tag

akimpian@t-online.hu

Tóth Éva

VILÁGCSÚCS GYÁRTÁSI SEBESSÉG

Ipartörténeti titkok rendezvénye



Az MMKM Elektrotechnikai Gyűjtemény 2023. május 11-én különleges SZIMPÓZIUMOT rendezett az Elektrotechnikai Múzeumban, melynek célja a hajdani világcsúcs sebességű diódagyártó automaták ipartörténeti jelentőségének megismertetése, valamint a tervezésben, kivitelezésben, üzemeltetésben és az értékesítésben résztvevők találkozájának létrehozása. A Vishay Hungary Kft.-től tárgyakból és dokumentumokból átvett kiállítási anyagok bemutatása kiegészítette az előadásokat.

Hogyan kezdődött? – kérdeztem Várallyay Iván okl. villamosmérnöktől (Egyesült Izzólámpa Rt. gyáregység főmérnöke, és projektvezető).

„Az 1980-as években nagy nyugati multinacionális cégek vetették meg a Tungsramtól, később a Mikroelektronikai Vállalattól diódagyártó automatáinkat. Gépeinkben ugyanis a világon elsőként alkalmazott műszaki megoldások világcsúcsgyártási sebességet, jobb minőséget és csökkentett környezetszennyezést eredményeztek. Ipartörténetileg ez azért jelentős, mert ezek voltak azok a kizárólagos esetek, amikor „kapitalista” világcégek – Telefunken, Philips – egy szocialista országtól vásároltak elektronikai alkatrész-gyártóberendezéseket.

A mi korábbi technikai elmaradottságunk miatti lenézésüket – jobb esetben sajnálkozásukat – át tudtuk váltani elismerésre,



sőt csodálatra, személyes barátságokra.

A saját automatáinkkal pedig Gyöngyösön az éves termelési rekordot a DO 35 tokozású dióda tartja 1997-ben 2,1 milliárd (!) darabban. A Vishay Hungary ma is használ a Telefunken-től áttelepített mágnes táras automatákat.”

Az előadások közül kiemelem dr. Jeszenszky Sándor köszöntőjét, dr. Kutor László a „CoCom lista, hátrányból erőt” című előadását, valamint dr. Hídvégi Mária történész előadását „A Tungsram az 1970-es, 1980-as években”, melyeket különösen nagy érdeklődés kísérte. Dr. Antal Ildikó az Elektrotechnikai Gyűjteményt mutatta be. Amikor a baráti beszélgetésekre sor került Tóth Éva vezetésével, a résztvevők sokfeléppen emlékeztek vissza arra a „bizonyos” korra, amikor a fejlesztésben, tervezésben, kivitelezésben, üzemeltetésben, értékesítésben dolgoztak. A hozzászólók beszélgetés közben megnyíltak és nagyon jó hangulatban meséltek az életükről. Az előadásokat a közönség nagy érdeklődése kísérte.

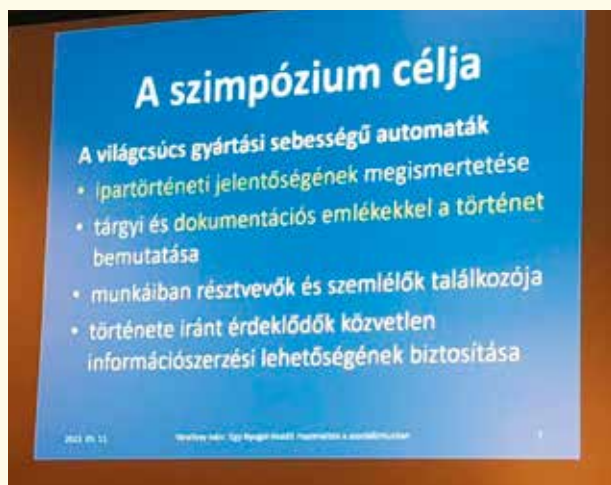
A Múzeumlátogatás zárta ezt a különleges napot.



Dr. Jeszenszky Sándor



dr. Kutor László



Sajtóközlemény egy sikeres szakmai napról



Dr. Madarász György

A Magyar Elektrotechnikai Egyesület **Villamos Gép, Készülék és Berendezés Szakosztálya az Óbudai Egyetem MEE szervezetével** együttműködve 2023. május 11-én sikeres szakmai napot tartott **Villamos forgógépek** témakörben az Egyetem nagy előadótermében.

Dr. Madarász György, a VBKM szakosztály elnöke nyitotta meg a szakmai napot.

ELŐADÓK:

1. Tóth Elemér (*Ganz Transzformátor és Villamos Forgógépgyártó Kft.*)

„Szinkron kompenzátorok szerepe a megújuló energiaforrások tükrében” című előadása indította a szakmai napot.

A megújuló energiaforrások egyre növekvő arányú térnyerése, valamint a hagyományos energiatermelő erőművek ezzel párhuzamos csökkenése a villamos energiarendszerekben komoly kihívásokat generál a hálózat megbízhatóságára nézve.

Ezek alapvetően a frekvenciastabilitás, a zárlati kapacitás, valamint a meddőteljesítmény-igények megnövekedése szempontjából jelentkeznek, és miattuk jelentősen csökken a hálózati zavarok biztonságos elhárításának esélye.

Itt jön a képhez a hosszú ideje a statikus meddőkompenzátorok alkalmazásával háttérbe szorult szinkron kompenzátor újbóli felfedezése és alkalmazása a fenti problémák kiküszöbölése céljából.

Az előadó a kérdéskör elméleti áttekintése után röviden, de számszerű értékekkel alátámasztva és más gyártók termékeivel összehasonlításban bemutatta, hogy milyen kihívást jelent ez konkrétan a *Ganz Transzformátor és Villamos Forgógépgyártó Kft.* számára és milyen innovatív megoldásokra ösztönzi a fejlesztőket.

2. Zajác János (*Danfoss Kft.*)

„Energiatakarékos motorok táplálása frekvenciaváltóval” címmel tartott előadást.

Napjainkban középpontba került a hatékony energiafelhasználás. Ennek érdekében az iparban a jól bevált aszinkron motorok mellett mind inkább előtérbe kerül az energiahatékonyabb szinkrongépek alkalmazása.

Az előadás eleje a felépítésükben és működési elvükben rendkívül változatos szinkronmotorok (állandó mágneses, hálózati indító kalickás, reluktancia, állandó mágneses szinkron reluktancia stb.), motorok hatásfok és vezérléstechnikai szempontból vett csoportosításáról, valamint összehasonlításáról szólt. A hossz- és keresztirányú induktivitás és néhány fontos paraméter elemzése után a villamos jelanalízis-állapotalapú, megelőző karbantartásról szólva nagy hangsúlyt kapott az a megállapítás, hogy a szinkron motoroknak energiahatékony szabályozásához a frekvenciaváltó táplálás jól átgondolt és megvalósított (ic7 Automation) illesztése elengedhetetlen.

3. Katona Mihály (*Robert Bosch Kft.*)

„Fluxusgát érzékenységi analízise állandómágneses szinkrongép esetén”

A fluxusgát a villamos gépek rotorjában található légzárványok gyűjtőelvezése. A tömegesen gyártott villamos gépek előállításánál a tervezett geometria deformálódhat. A villamos gép tervezett paramétereinek biztosítása érdekében elkerülhetetlen a motor robusztus kialakítása. A rotor geometriájának egyes részeit gyakran egyszerűsítik, mint például a mágnesek végén lévő fluxusgátat. Az előadás egy optimalizálást mutat be a nyomateklükktetés és a nyomatek középérték tekintetében.

A cél megvizsgálni a fluxusgát alakjának hatását az optimalizálási célfüggvények eredményére egy állandó mágneses szinkrongép esetén. Emellett bemutatásra került a fluxusgát gyártási toleranciákon belüli deformitásának hatása a végelelemes szimulációk eredményére. A szenzitivitás vizsgálat számítási igénye még akkor is szignifikáns, ha uniformis bizonytalanságokat feltételezünk. Ebben az esetben a különböző Design of Experiment módszerek csökkenthetik a szimulációk számát, ezzel a számítási kapacitásigényt. Ezen módszerek hatékonyságát az előadó a szimulációk száma, ideje, az eredmények eloszlása és a szélsőértékek közelítésének szempontjából hasonlította össze. Azt találta, hogy a Central Composite módszer a legpontosabb, míg a Plackett–Burman-módszer a leghatékonyabb ebben a konkrét esetben.

4. Gregus Zoltán (*MAVIR Zrt.*)

„Erőművi lengéscsillapítók, PPS-ek szerepe a hazai és az európai rendszerstabilitásban”

A villamos energiaellátó hálózatok stabilitásának fontosságát a jelen előadás is hangsúlyozta. Bevezetőben ezt a paramétert összevetette a gépek forgórészének szögstabilitásával, és megadta a „nagyjelű” és a „kisjelű” stabilitás fogalmát. Egy magyarországi turbógenerátor gépcsoport és a hálózat sajátfrekvenciás lengésének általános értéke: 1...1,3 Hz, míg a rendszerközi lengések alacsonyabb, 0,1...1 Hz közötti frekvencián jelentkeznek.

Az előadó térképeken szemléltette a kontinentális európai szinkronjáró hálózatot, a fontosabb jellemző rendszerközi lengési módokat és azok jellemző frekvenciáját.

Az előadásban bemutatásra került a kisjelű stabilitás javításában hatékony Power System Stabilizer (PSS) funkció működése. Kiemelte a hangolás jóságának fontosságát, a rossz PSS hangolás okozta veszélyeket mind a turbina-generátor gépcsoportra, mind a villamosenergia-rendszerre nézve. Végül a rendszerirányítói elvárásokat, a terepi tesztelesek négyféle módozatát ismertette.

5. Horváth Sándor Rajmund (*HD Hyundai Electric Hungary Kft. / BME Villamos Energetika Tanszék*) és **Dr. Számel László** (*BME Villamos Energetika Tanszék*) a

„Lemágneseződés-vizsgálati módszerek kutatása állandómágneses szinkrongépek költségoptimalis tervezéséhez” című témát Horváth Sándor Rajmund adta elő.

Az állandómágneses szinkrongépek területén a lemágneseződés-vizsgálati módszerek megfelelő alkalmazása kulcsfontosságú szerepet játszik az optimális mágnesgeometria megválasztásában. A villamosgép aktuális állapotától és a kezdeti feltételektől függően a legrosszabb lemágneseződési-forgatókönyv definiálása elkerülhetetlen ahhoz, hogy

versenyképes villamosgép-tervet dolgozzunk ki manapság. Fizikai értelemben a visszafordíthatatlan lemágneseződés a túlzott elektromágneses és/vagy termikus terhelés miatt következhet be, amelynek anyagon belüli eloszlása általában nem egyenletes.

A Szerzők által javasolt lemágneseződés-vizsgálati módszer alacsony szintű, fizikai modellezésen alapul: az analitikus és végelem elektromágneses számítások kombinálásával a lokálisan irreverzibilis lemágneseződés hatása kiterjeszhető olyan globális jellemzőkre, mint az üresjárási feszültség, hatásfok, teljesítménytényező stb. A kidolgozott módszer alkalmazását egy átfogó esettanulmányon keresztül mutatták be.

6. Dr. Marcza Dániel (eCon Engineering Kft.) „Állandó mágneses motor többcélú optimalizálása”

A villamos gépek tervezésénél az egyik fő kihívás, hogy nemcsak villamos szempontból kell megfelelnie a gépnek, hanem mechanikai és termikus szempontból is. Napjainkban az egyre szigorúbb elvárások már nem teljesíthetők maradéktalanul az ökölszabályok alapján. Ilyen esetekben az optimalizálás az egyik lehetséges mérnöki megoldás, amivel a kitűzött célok elérhetőek. Napjainkban elérhető legkorszerűbb optimalizáló algoritmusok már lehetőséget adnak többcélú optimalizálásra, amivel a különböző fizikai területekről származó kényszerek is egyszerre kezelhetők. Az előadás egy állandó mágneses motor példáján keresztül mutatta be a többcélú optimalizálás folyamatát, ahol a nyomtaték és teljesítmény mellett a fluxusgátnál ébredő legnagyobb mechanikai feszültség maximális értéke is szerepel a kényszerek között.

7. Bendiák István (Óbudai Egyetem AEI) „Aszinkron motoros hajtások állapotfelügyelete áramjelalak-analízis módszerével”

Napjainkban villamos gépek állapotfelügyeletének a szerepe jelentősen megváltoztatta a forgógépekről kialakult mérési eljárásokat. A számítástechnika ütemes fejlődése és összekapcsolva a mérés technikával „korlátlan” mennyiségű információ feldolgozását teszi lehetővé. Nemcsak állapotvizsgálatról van szó, hanem egy olyan információszerezési eljárásról, amely definiálja a gép aktuális „fizikai” állapotát és tanulmányozza tud képezni.

A villamos gépek (jelen előadásban aszinkron motorok) egy integrált rendszer részei és azzal már nélkülözhetetlenül együtt dolgoznak. Ebben a folyamatban nyílik lehetőség a gépről alkotott működési „térkép” felállítására, amelynek paraméterei lehetnek.

Ebben a prezentációban egy „egyszerű felépítésű gépet”, az iparban nap mint nap látható háromfázisú aszinkron motort „információhalmazként”, azaz mint folyamatos üzemviteli jelforráshordozó gépet lehet indokoltan tekinteni.

Az előadás elsősorban a mechanikai eredetű jelekkel foglalkozik, és abból képez elemzési lehetőségeket. A szakterület hazai és nemzetközi viszonylatban megalapozott és széleskörűen művelt ágazat. Ezen a szakirodalmakban rendkívül gazdag területen keressük az állapotfelügyeleti és információfeldolgozási munka helyét és létjogosultságát. Az elmúlt évek tanulmányi és mérési, kísérleti anyagai kiindulási alapként szolgáltak egy közelmúltbeli dolgozat megszületéséhez.

8. Peresztegi Sándor (az Óbudai Egyetem AEI ny. tanára) „A Villamos Gépek oktatásának – és részben a gyártásának – helyzete Magyarországon 2023-ban”

„A fejezet tárgyalását tömören azzal kell indítani, miközben a szakterület az elmúlt évtizedekben, nemzetközi szinten töretlenül fejlődött (szélerőmű-generátorok, villamos robotok, villamos autók, villamos busz stb.), a Villamos Gépek oktatásának helyzete Magyarországon, elsősorban az Oktatói gárda létszámának erőteljes csökkenése miatt, romlott!” – kezdte az előadó.

Alapvetés: az oktatási rendszer egységes kezelése (alapkü oktatás, középfokú oktatás, felsőfokú oktatás) szükséges lenne. Idézet két nagy gondolkodótól.

Bojár Gábor fizikus:

„Önmagában a felsőoktatás fejlesztése nem lehet sikeres, mivel azt nagyban a középiskolákból kikerülő hallgatói alapszint határozza meg.”

Kornai János, a Harvard Egyetem emeritus professzora:

„Ha jók a tanárok, akkor jó az egyetem! Ha nem jók, akkor az egyetem menthetetlenül a középszerecső szintjére süllyed.”

Ezt követően az előadó röviden áttekintette a villamos gépek oktatásának magyarországi történetét, majd részletesen foglalkozott a rendszerváltozás utáni (jelenlegi) helyzettel. Annak megállapítása után, hogy az „időszak általános jellemzője az informatika térhódítása”, a felsőoktatásban dolgozók (de az egész pedagógustársadalom) erkölcsi és anyagi megbecsülése nem arányos társadalmi jelentőségével.

Lényegbe vágó kérdések: az egyetemi érdekképviselet; a felsőoktatási törvény, a jelenlegi állapot és a jövő.

Optimista hangot megütve hallhattunk a villamos gépeket oktató hazai tanszékekről és laboratóriumi felszereltségükről.

Ezt követte a gyártás története, az új szereplők (pl. Grundfos, Bosch) belépése és távlatok felvázolása.

9. Liker István (Liker Motors Kft.) „Egyedi motorok javítása és gyártása”

A cég kis tekeréscső műhelyből 1980-ban alakult Dévaványán, majd Székelykeresztúron is nyitott üzemeltetést – gyártás – K+F feladatkörrel.

A rövid cégbemutatót követően a speciális villamos gép fogalma, létjogosultsága és a vonatkozó piaci igény volt a téma, ezen belül a standard és az egyedi géptípusok ötvözésének kérdése, hangsúlyozva az alapanyagok, valamint a géptípusok jó kiválasztásának fontosságát is. A gyártási folyamatok áttekintése közben kiemeltetést kapott a múlt és a jelen technológiák együttes alkalmazásának kérdésköre, egyes eljárások kiváltása. Az előadó néhány konkrét példát mutatott be, pl. különleges tekeréscsövek elkészítése, karusszel-eszterga motor átalakítása, hatásfokának növelése, mozdony egyenáramú motorjának átalakítása. Az előadást a bevezetőben is hallott szlogen („A motorok mozgatják a világot, mi mozgatjuk a motorokat”) zárta, majd az elhangzottakról egy rövid videót tekinthettünk meg.

Dr. Madarász György (a VGKB Szakosztály elnöke) zárszavában a köszönetmondások mellett megállapította, hogy a jelenlévők létszáma örömdetesesen nagyobb, mint az online bekapcsolódók száma. Az érdeklődők létszáma jóval meghaladta az 50 főt. Sikeres volt a témaválasztás, minden hallgató az ismeretfelfrissítés mellé „kapott valami újat”.

Az előadások vetített anyaga a MEE honlapján, szakosztályunk oldalán megtalálható.

Lieli György, VGKB Szakosztály

Több mint egymillió robot az autógyártásban

Az autógyártásban kerül bevetésre a legtöbb ipari robot a gyárakban világszerte. Nemrég átlépték az egymillió határt – adta hírül az IFR.

A globális autógyártásban működő ipari robotok működési állománya új rekordot ért el, mintegy egymillió darabot – jelentette a Nemzetközi Robotikai Szövetség (IFR). Ez az összes telepített robotok teljes mennyiségének mintegy egyharmadát jelenti az iparágakban – közölte a szervezet.

„Az autógyártás gyakorlatilag feltalálta az automatizált gyártást. Ma a robotok döntő szerepet játszanak a belső egészű motorokról az elektromos autókra való átállásban. A robot-automatizálás hozzásegíti a gyártókat ahhoz, hogy alapvető változásokat hajtsanak végre a régóta bevált gyártási módszerekben és folyamatokban” – mondta Marina Bill, az IFR elnöke.



Megdőlt a rekord! A Nemzetközi Robotikai Szövetség (IFR) elemzése szerint világszerte már több mint egymillió robot dolgozik az autógyártásban

A robotok eloszlása az autógyártásban

A robotsűrűség mint kulcsmutató jól szemlélteti az automatizálás jelenlegi szintjét az autógyártás vezető gazdaságaiban – magyarázza az IFR. Dél-Koreában 2021-ben 10 000 alkalmazottra 2867 ipari robot jutott. A második helyen Németország áll 1500 darabos számmal, majd az Egyesült Államok következik 1457 darabos számmal és Japán 1422 darabos számmal 10 000 alkalmazottra vetítve.

Kína, a világ legnagyobb autógyártója jelenleg már 772 darabos robotsűrűséggel rendelkezik, és gyorsan felzárkózik,



Az első tisztán elektromos meghajtású autó az új EQB a kecskeméti Mercedes-Benz gyár karosszériaüzemében

teszi hozzá a jelentés, mivel egy év alatt a kínai autógyártásban az újonnan telepített robotok száma csaknem megduplázódott, elérve így a 61 598 darabot. Ez 52 százaléka a 2021-re világszerte a gyárakban telepített 119 405 egységnek – áll a közleményben.

Az elektromobilitás hatása

Az elektromos járművek használatára vonatkozó ambiciózus politikai célok arra kényszerítik az autógyártást, hogy automatizálási rendszerekbe fektessen be – mutat rá az IFR. Az Európai Unió például bejelentette, hogy 2035-ig be kívánja tiltani a szennyezőanyag-kibocsátású járművek értékesítését. Az Egyesült Államok kormánya 2030-ra önkéntes alapon 50 százalékos piaci részesedést szeretne elérni az elektromos járművek értékesítésében, Kínában pedig 2035-ig minden eladott új járműnek „zöldenergiával” kellene működnie. Ezek felének elektromos, üzemanyagcellás vagy plug-in hibrid meghajtásúnak kell lennie. A fennmaradó 50 százalék pedig a hibrid járműveké lesz – számol az IFR.

A legtöbb autógyártó azonban, amely az összeszerelésben már eddig is a hagyományos, biztonsági kerítéssel ellátott ipari robotokra támaszkodott, most a végső összeszereléshez és a befejezéshez kollaboratív robotokon alapuló együttműködő rendszerekbe (cobotokba) fektet be. A Tier-2-es autógyártó beszállítók azonban jelenleg még meglehetősen lassan haladnak a teljes automatizálás felé, mivel nagy a kis- és középvállalkozások aránya – teszi hozzá. Mivel azonban a robotok egyre kisebbek, alkalmazkodóbbak, könnyebben programozhatók és megfizethetőbbek lesznek, ez várhatóan a belátható jövőben megváltozik.

Forrás: MM

NEKROLÓG



Radvánszki Ferenc (1942-2023)

Kedves Kollégáink!
Mély fájdalommal és elszorult szívvel tudatjuk, hogy a Protecta Elektronikai Kft. volt vezetője és iparágunk meghatározó egyénisége, Radvánszki Ferenc 2023. június 6-án, délután itt hagyott bennünket.

Feri utolsó pillanatig aktív, alkotó mérnök volt. Ötletei, megoldásai nemcsak a jelenlegi villamosenergia-rendszerünk biztonságos működtetését szolgálják, hanem a jövő kihívásaira is feleletet adnak, melyek sokáig velünk lesznek és őrizni fogják emlékét.

Mi, itt maradt munkatársai, csak arra tudunk ígéretet tenni, hogy legfőbb életművében a Protectában úgy dolgozunk, hogy munkánk méltó legyen Feri iránymutatásaihoz.

Végző búcsújáról később gondoskodunk.

Tisztelettel, Eperjesi László



MAGYAR ELEKTROTECHNIKAI EGYESÜLET

A Magyar Elektrotechnikai Egyesület egyik alapküldetése, a szakma ápolása, a társadalmi edukáció és tudomány közérthető kommunikációja.

Hiszünk benne, hogy feladatunk, mi több, felelősségünk, hogy a mindennapokban előforduló, elektrotechnika területét érintő kérdések mentén tiszta, közérthető és világos üzenetek kerüljenek megfogalmazásra, kommunikálásra.

A #MEEnet – Energetikáról egymásközt, a Magyar Elektrotechnikai Egyesület podcastcsatornája ezt tűzte ki céljául! Rendszeresen visszatérő adásaink során többek között az energetikai piacot érintő kihívásokat, hálózatüzemeltetési kérdéseket, regulációs változásokat tudjuk szakértő vendégeinkkel megtárgyalni, vagy akár arról beszélgetni, hogy egy nyári zivatarban a fa alá vagy mellé biztonságosabb behúzódn.

A podcastok elérhetősége: <https://meenet.mee.hu/podcast>



Egyesületünk egy másik fontos küldetése, hogy elérhetővé tegye minden tagunk számára azt a széles körű tudásanyagot, amely a tagjaink által művelt szakterületekben rejlik.

A #MEEnet – Szakmai estek videosorozat ezt a célt szolgálja egyrészt szakosztályaink, társaságaink vagy bizottságaink bemutatkozásának teret engedve, másrészt egy-egy aktuális és a szélesebb egyesületi tagság számára érdekes témát, jelenséget, netán félreértelmezett hiedelmet boncolgatva az élő adás izgalmával vegyítve. Az eddig lezajlott szakmai estek során – többek között – megismerhettük azt, hogy milyen kihívások elé állít minket az akkumulátoros autózás, hogyan látják fiatal szakembereink az elosztóhálózati üzemirányítás jövőjét, vagy mivel foglalkozik az érintésvédelmi munkabizottság.

Az aktuális szakmai esteken – online formában – élőben is részt lehet venni, amiről az értesítést egyesületünk elektronikus kommunikációs felületein küldjük ki minden esetben!

A lezajlott szakmai estek elérhetősége: <https://meenet.mee.hu/mediatar>

*Mindkét szakmai tartalom folyamatosan frissül újabb epizódokkal,
így érdemes figyelemmel kísérni a következő felületet:
<https://meenet.mee.hu/>*





69. VÁNDORGYŰLÉS KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS

SIÓFOK | 2023. SZEPTEMBER 20-22.

ÚTON A JÖVŐ MEGOLDÁSAI FELÉ

A VÁLTOZÁS ENERGIÁJA, AZ ENERGETIKA VÁLTOZÁSA



A MAGYAR ELEKTROTECHNIKAI EGYESÜLET SZERVEZI AZ **ORSZÁG LEGNAGYOBB ELEKTROTECHNIKAI SEREGSZEMLÉJÉT**, MELY A VILLAMOS-ENERGIA-IPAR LEGFŐBB SZEREPLŐIT KÖTI ÖSSZE SZÍNVONALAS SZAKMAI PROGRAMOKON KERESZTÜL. TÖBB ÉVTIZEDE, A KÜLÖNBÖZŐ HAZAI HELYSZÍNEKEN ÉVENKÉNT MEGRENDEZETT ESEMÉNY, AMELYNEK NÉPSZERŰSÉGÉT AZ EGYRE NÖVEKVŐ RÉSZTVEVŐI LÉTSZÁM JELLEMEZI, MELY MÁRA MÁR ELÉRTE A **TÖBB MINT 900 FŐT**.

Az elektrotechnika területén a változás napjaink egyetlen állandósága. Az iparág legfontosabb rendezvényeként a 69. Vándorgyűlés célja nem is lehet más, mint bemutatni a hazai szereplők jó gyakorlatait az átalakuló villamos energetikai környezetben. Amellett, hogy konferenciánk mindig kiemelten kezeli a stratégiai megközelítéseket és trendelemzéseket, kiemelten fontosnak tartjuk a mindennapi gyakorlatba beépülő fejlesztések bemutatását, melyek mintaként szolgálhatnak a résztvevők számára.

A VÁNDORGYŰLÉS KIVÁLÓ ALKALMAT AD AZ IPARÁGI SZEREPLŐK KÖZÖTTI KÖTETLEN ESZMECSERÉKRE, KONZULTÁCIÓKRA IS!

BŐVEBB INFORMÁCIÓK



VANDORGYULES.MEE.HU



MAGYAR
ELEKTROTECHNIKAI
EGYESÜLET

1075 Budapest,
Madách Imre út 5. III. emelet
vandorgyules@mee.hu
www.mee.hu

