

VILLAMOSMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK

A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar

Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet

műszaki tudományos folyóirata



Miskolc, 2018

I. évfolyam, 1. szám

ISSN 2560-2713

Kiadó:

Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet
3515 Miskolc- Egyetemváros A3 épület II. emelet
telefon: 06 46 565 142; e-mail: elkvmt@uni-miskolc.hu
honlap: <http://www.uni-miskolc.hu/~elkvmt>

Felelős Kiadó:

Dr. Bodnár István

egyetemi adjunktus

telefon: 06 46 565 111 belső mellék: 12-19; e-mail: vegybod@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet

Főszerkesztő:

Dr. Bodnár István

egyetemi adjunktus

Miskolci Egyetem Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet

Felelős Szerkesztő:

Somogyiné Dr. Molnár Judit

egyetemi docens

Miskolci Egyetem Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet

Segédszerkesztő:

Iski Patrik

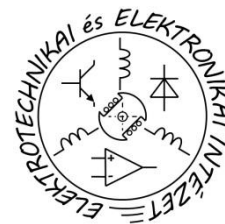
Miskolci Egyetem Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet

A folyóiratban megjelenő tartalomért és a forrásmegjelölésért a kiadó felelősséget nem vállal!

A teljes felelősség a szerző(ke)t terheli!

ISSN 2560-2713

Miskolc



VILLAMOSMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK

A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar

Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet

műszaki tudományos folyóirata

AZ ELEKTROTECHNIKA 100 EMLÉKKONFERENCIA

ELŐADÁSAI

Tudományos Bizottság tagjai, lektorok:

**Dr. Bodnár István, Dr. Blága Csaba, Dr. Brassai Sándor Tihamér, Dr. Czap László,
Dr. Deák Csaba, Prof. Dr. Dívós Ferenc, Dr. Gölle Attila, Dr. Kelemen András,
Dr. Kovács Ernő, Dr. Pintér Judit Mária, Dr. Siménfalvi Zoltán Károly, Somogyiné Dr.
Molnár Judit, Dr. Szász Csaba, Prof. Dr. Torma András, Dr. Tóth Lajos Tibor,
Váradiné habil Dr. Szarka Angéla, Dr. Vásárhelyi József**

Miskolc

I. évfolyam, 1. szám (2018/1.)

ISSN 2560-2713

ELŐSZÓ

A Miskolci Egyetem számos közleményt jelentet meg, amelyek évtizedek óta hozzájárulnak a tudományos élet fejlődéséhez. E fejlődéshez csatlakozva az újonnan megjelenő Villamosmérnöki Tudományok című elektronikus folyóirat a villamosmérnöki tématerületen folytatott kutatómunkák legújabb közleményeit tartalmazza.

A folyóirat szerkesztőbizottsága fontos feladatának tekinti a villamosmérnökség különböző szakágain folyó tudományos publikációs tevékenységnek színvonalas publikálási lehetőséget biztosítani. A színvonalat a szerkesztőbizottság azzal is biztosítani kívánja, hogy a kötetben megjelenő valamennyi cikk alapos lektorálási folyamaton és szerkesztőbizottsági értékelésen megy keresztül. A publikálásra elfogadott cikkek magas színvonalának az is záloga, hogy a cikkek lektorálásánál minden esetben törekedtünk az adott szakterületen elismert, és független kutatót, szakértőt felkérni. A lektorok észrevételeit a szerzők megkapják, ezzel is elősegítve a minőségi publikáció megjelenését. A lektorálás alapos és szakmailag igényes elvégzése nem kis feladatot ró a felkért lektorokra, amiért a Szerkesztő Bizottság nevében ezúton is köszönetemet fejezem ki valamennyi közreműködő lektornak.

A kötet – a folyóirat címének és küldetésének megfelelően – jól tükrözi azt a szerteágazó tudományos tevékenységet, amely a villamosmérnöki tudományok területén folyik. A folyóiratban közreadott cikkek egyaránt lefedik a klasszikus villamosmérnöki területeket, így a villamos- és erőműenergetikát, az elektronikai tervezést és gyártást, az automatizálást és infokommunikációt, valamint a jármű- és teljesítményelektronika legkülönbözőbb területeit, de számos cikket találunk a környezetvédelem és a gépészeti tudományok témaköreiből is.

Feltétlenül meg kell említenünk, hogy a folyóirat kiemelt célja lehetőséget teremteni a villamosmérnöki tudományok területén tevékenykedő, műszaki tudományos kutatást folytató egyetemi hallgatók, oktatók és a tudományterületet művelő szakemberek számára az aktuális munkáik, kutatási eredményeik bemutatására, ezzel elősegítve a szakmai fejlődésüket.

Kelt: Miskolc- Egyetemváros, 2018. március 1.

Dr. Bodnár István

Villamosmérnöki Tudományok

Főszerkesztő

TARTALOMJEGYZÉK

Blága Csaba <i>Magyar nyelvű elektrotechnika egyetemi tankönyv centenáriuma</i>	6
Fodor József – Holcsik Péter <i>Az ELMŰ-ÉMÁSZ múltja és jelene</i>	12
Orlay Imre <i>Új európai szabványok hatása a hálózatok áramütés elleni védelmére, fejlesztésére</i>	27
Hegedűs Henriett – Bodnár István <i>Nagyfeszültségű elosztóhálózati berendezések öregedésének vizsgálata</i>	37
Orlay Imre <i>Decentralizált energiatermelés hatása az energiarendszerekre, különösen az elosztóhálózatra</i>	43
Egész Dávid – Bodnár István <i>Villamos hálózatok védelmi módjai</i>	50
Bodnár István <i>Napelem villamos paramétereinek alakulása hűtött és hűtés nélküli esetben</i>	54
Skribanek Ádám <i>Napelemek közbeiktatásával kialakított szünetmentes villamosenergia-ellátó rendszer vizsgálata</i>	64
Koós Dániel <i>Napszimulátor fejlesztése napelemek laboratóriumi méréshez</i>	70
Bajusz Patrik – Bodnár István <i>Magyarországi villamosenergia-termelés változása</i>	76
Hodosán Imre – Bodnár István <i>Vízerőművek szerepe a villamosenergia-rendszerben, tározó erőművek</i>	81
Boldizsár Csongor Bálint <i>Biomassza gázosítása során felszabaduló szintézisgáz összetételének szimulációs vizsgálata</i>	87
Iski Patrik <i>Fagázosítás thermokinetikai modellezése változó üzemi paraméterek mellett</i>	93
Bodnár István <i>Hőmérséklet és légfelesleg tényező hatása a gáz-, koks- és olaj-képződésre akácfa pirolitikus-elgázosítása során</i>	101
Varga József <i>Gépjárművek soros és párhuzamos diagnosztikája</i>	109
Molnár Zsolt – Erdei Timotei István – Husi Géza <i>Egyedi tervezésű légpárnás jármű alapanyag kiválasztása és tesztek elvégzése</i>	113
Katona Mihály – Radnai Róbert <i>Elektromos és belső égésű motoros személyautók energiafelhasználásának és széndioxid-kibocsátásának összehasonlítása</i>	119
Gönczi Tamás – Bodnár István <i>Különböző hajtású autók összehasonlítása, és ezek hatása a villamos hálózatra</i>	125
Gecsei Sándor Márton – Bodnár István <i>Magyarország vasúti története és az alkalmazott mozdonyok összehasonlítása</i>	132
Barnóth Péter – Bodnár István <i>Elektromos hajtás a repülés világában</i>	138
Czap László – Pintér Judit Mária <i>A beszéd minőségének vizsgálata és automatikus kiértékelése</i>	142
Molnár Károly – Szűcs Attila <i>25 év folyamatos fejlesztés a teljesítményelektronika területén</i>	148
Lénárt József <i>Vízmintavevő vezérlésének tervezése, kivitelezése</i>	155
Erdősy Dániel – Tóth Lajos <i>Led mátrix kijelző készítése</i>	159
L. Kiss Márton <i>IoT eszköz energiafelvételének becslése</i>	163
Molnár István <i>Többfunkciós web alapú vezérlő felület tervezése ROS alapú autonóm mobil robothoz</i>	167
Somogyiné Molnár Judit <i>Komplex mérő-adatgyűjtő-feldolgozó szoftver fejlesztése Labview-ban az akusztikus hiszterézis vizsgálatára</i>	173
Elektrotechnika 100 Emlékkonferencia képgaléria	181

MAGYAR NYELVŰ ELEKTROTECHNIKA EGYETEMI TANKÖNYV CENTENÁRIUMA

CENTENNIAL OF HUNGARIAN ELECTRICAL ENGINEERING ACADEMIC TEXTBOOK

BLÁGA Csaba

Ph.D., intézetigazgató egyetemi docens, elkblaga@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros

Kivonat: *A cikk Boleman Géza Elektrotechnika című tankönyve kiadásának 100. évfordulójára készült. Ugyan nem ez az első ilyen témájú könyv, de magyar nyelven, keménykötésű kiadásban ez az első és ezzel történelmet írt a magyar műszaki oktatásban, akárcsak a selmecbányai Akadémia, mint a világon első műszaki felsőoktatási intézmény. A cikk megírásánál elkerülhetetlen Boleman Géza személyének, munkásságának és életpályájának a rövid bemutatása, amelyhez nagy segítséget nyújtottak a szakirodalomban megtalálható források.*

Kulcsszavak: Boleman Géza, Elektrotechnika, oktatás

Abstract: *The article was written for the 100th anniversary of the publication of the book Elektrotechnical Engineering written by Géza Boleman. Although this is not the first book of this kind, but in Hungarian, in hardcover edition, this is the first and one of the most important in the history of Hungarian technical education, just like the Academy of Banská Stiavnica, the first technical higher education institution in the world. When writing this article, it is inevitable the short presentation of Géza Boleman's personality, work and career, which was largely helped by the sources in the literature.*

Keywords: Géza Boleman, Electrical Engineering, education

1. BEVEZETÉS

A selmecbányai Bányászati és Erdészeti Főiskolán, alias „Akadémián” megalapított Fizika-Elektrotechnika Tanszék [1] 111. évfordulóját a beteljesedéséhez képest 1 nappal korábban ünnepeltük 2015. augusztus 31-én. A 111-es szám a számisztika értelmében valami újat jelent. Hogy pontosan mit, azt a mindenkori csillagok állása határozza meg. Jelen esetben úgy tűnik, hogy az említett tanszék jogutódjának [2] tekinthető Miskolci Egyetem Elektrotechnikai és Elektronikai Intézete életében egy fiatalosodás indult meg. A fiatal munkatársak igen elkötelezettek mind az oktatási, mind a tudományos tevékenységben, méltó utódai a tanszék alapítóinak és korábbi munkatársainak. Ők vállalták fel, hogy megszervezik az Elektrotechnika 100 Emlékkonferenciát, azon alkalmából, hogy éppen 100 éve adták ki Selmecbányán az első keménykötésű magyar nyelvű Elektrotechnika tankönyvet, amelynek szerzője Boleman Géza, az akkori tanszékvezető.

2. BOLEMAN GÉZA

Ki is volt Boleman Géza?

Simonyi Károly mérnök, fizikus, Kossuth Díjas egyetemi tanár, az első magyar részecskegyorsító megépítője a következőképpen nyilatkozott a Boleman Gézával történt találkozásáról, amikor a Soproni Műszaki Egyetem Fizika-Elektrotechnika Tanszék vezetőjévé nevezték ki [3] – az „Akadémia” előbb Sopronba, majd Miskolcra lett „áthelyezve”:

„– A vidéki egyetemre kicsit a fővárosiak göggyével érkeztem. Ott kellett rádöbbsenem, mekkorát tévedtem. Az egyetemen színvonalas munka folyt, nemzetközi hírű tanárok oktattak. Tanszékvezető elődöm a **méltatlanul elfeledett** Boleman Géza volt.

Akkor már, hetvenévesen, visszavonultan élt a Lövékben. A húszas években csodálatos precíziós műszereket készített és írt egy Elektrotechnika könyvet.

– Tudod, miért lehet abból jól megérteni az elektrotechnikát? – kérdezte, amikor meglátogattam.

– Mert én is oly nehezen értettem meg! – mondta.

Mindez szerénységét és jó kedélyét példázta.”

Az idézetben kiemelten a „méltatlanul elfeledett” szavakat. Nem véletlenül, hiszen kevesen tudnának válaszolni, ha megkérdeznék tőlük, hogy ki volt Boleman Géza – még szakmai berkekben is. Na, de lássuk Boleman Géza életrajzát.

Boleman nemesi család a felvidéki Trencsén vármegye Dezsér helységéből származik [4].



1. ábra: Boleman de Dezsér nemesi címert [5]

A nagyapja Boleman István a Pozsonyi Evangélikus Líceum igazgató-hittanára, korábban a Selmechányai Líceumban oktatott, többek között az akkor 15 éves Petőfi Sándort is, aki 1838. augusztus 31-től járt ide. Boleman István költészettant, latin fordítást, stílusgyakorlatot és földrajzot tanított és már 1839-ben felismerte Petőfi Sándor tehetségét [6].

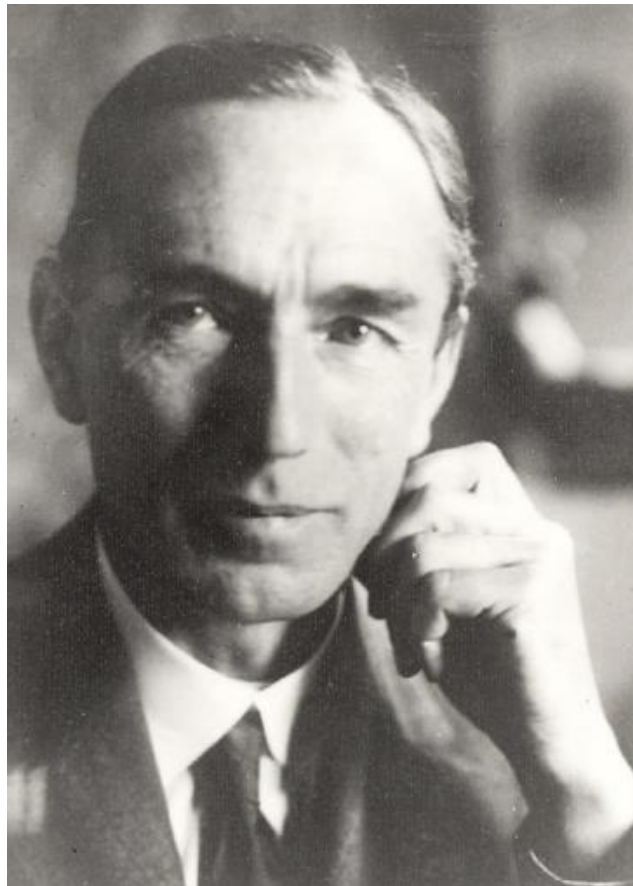
Az édesapja Dr. Boleman István Bécsben végezte az orvosi egyetemet és Selmechánya mellett Vihnyén volt fürdőorvos. „Fürdőtan” c. könyvével letette a magyar balneológia alapjait [7].

Boleman Géza 1876. szeptember 15-én született Selmechányán. Édesanyját korán elvesztette és hároméves korától francia nevelőnő foglalkozott vele, aminek köszönhetően anyanyelvi szinten beszélt franciául. Szülővárosában az evangélikus líceumban kezdett középiskolai tanulmányait érdekes módon a brassói főreáliskolában folytatta, majd a budapesti belvárosi főreáliskolában fejezte be. 1894-ben a budapesti műegyetem gépészmérnöki korán kezdte felsőfokú tanulmányait [4]. A József Műegyetemen Dr. Wittman Ferenc fizika professzor tartott először fakultatív előadásokat *Az elektrotechnika tudományos elvei* címen [8]. Zipernowsky Károly 1893-ban [8], más források szerint 1895-ban [9] a műegyetem 1891-ben alapított Erősáramú Elektrotechnikai Tanszékének tanára lett. E két tanár hatására Boleman Géza érdeklődése a fizika és az elektrotechnika irányába terelődött.

A francia nyelv mellett jól beszélt angolul, németül, így megismerhette a külföldi szakirodalmat is. Negyedéves hallgatóként elnyerte az elektrotechnika pályadíját. Gépészmérnöki oklevelét 1898-ban vette át.

Először a Ganz Gyár Villamossági Osztályán helyezkedett el, ahol Bláthy Ottó Titusz, Dr. Hoór-Tempis Mór és Pöschl Imre keze alatt dolgozhatott. Később Vihnyére ment a Kachelmann Károly és Fia gépgyárba, ahol önállóan egy 90 LE gőzgépet tervezett. Életpályájának következő állomása a József Nádor Műgyetem Gépserkesztési Tanszéke, ahol Asbóth Emil és Bánki Donát tanársegéde volt 1899-től. Itt meg kell jegyeznem, hogy méltán irigyelhetjük Boleman Gézát: ilyen oktató mestereket szívesen elfogadott volna bármelyik műszaki szakember. Mellette a Fegyver és Gépgyár Diesel-motor Osztályának szerkesztőjeként egy 60 LE dízel motort tervezett.

Hermann Emil hívására 1900. szeptember 1-től a selmecbányai „Akadémia” Felsőmenyiségtan Tanszék adjunktusa, majd a Mechanikai Bányagéptani Tanszék vezetője lett. 1904-ben az átszervezett „Akadémián” az újonnan alapított Fizika-Elektrotechnika Tanszék vezetőjévé nevezték ki.



A handwritten signature in cursive script, reading "Boleman Géza". The ink is dark on a light background.

2. ábra: Boleman Géza [4]

3. ELEKTROTECHNIKA TANKÖNYV

A mintaszerűen megszervezett Fizika-Elektrotechnika Tanszéken mind elméleti, mind gyakorlati világszínvonalú oktatás folyt. Boleman Géza szakcikkeit az Elektrotechnika folyóirat publikálta [10]:

„A kalickás motor jövője” - 1928, 37-48. oldal

„Trivektor” - 1931, 119-122. oldal

„Az indukciós számláló” - 1932, 140-146. oldal

XXI. évfolyam.		Budapest, 1928. évi március hó 15-én.	5—6. szám.
Elektrotechnika			
Előfizetési díj: Egész évre 12 pengő. Félévre 6 pengő. Hirdetési díjak: Egész oldal 112 pengő. Fél oldal 72 pengő. Negyed oldal 48 pengő. Nyolcad oldal 32 pengő. Állást kereső egyesületi tagok hirdetéseit rendkívül mérsékelt áron közöljük.		A MAGYAR ELEKTROTECHNIKAI EGYESÜLET HIVATALOS KÖZLÖNYE. Szerkesztőség és kiadóhivatal: VII. Erzsébet-körút 49. Főszerkesztő: Wilczek Ernő. Szerkesztők: Gohér Mihály és Lenkei Andor. Bemunkatárs: Polgár Marcel.	
TARTALOMJEGYZÉK: Boleman Géza: A kalickás rotor jövője. — dr. Ortutay-Tiszti Lajos: A községi és törvényhatósági közművek ellenőrzése és a kormányfőügyelet továbbfejlesztése. — Lapszemle és kisebb közlemények. — Személyi és üzleti hírek.		Tagdíj díj: Ugy Budapest-i, mint vidéki tagok részére évi 10 aranykorona. A „Magyar Elektrotechnikai Egyesület” tagjai a lapot díjmentesen kapják. Az egyesület címe: VII. Erzsébet-körút 49.	

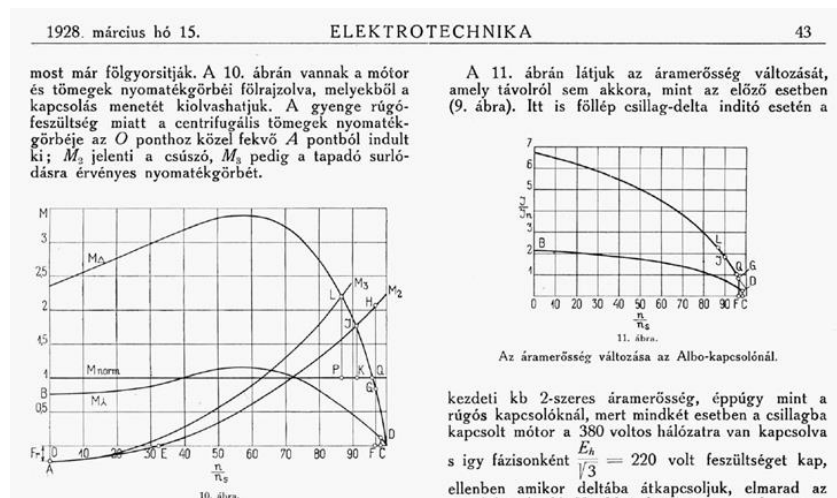
A kalickás rotor jövője.

Irta: Boleman Géza, a Soproni Bányászati és Erdészeti Főiskola

aztán a rotor fölgyorsult, úgy hogy fordulatszáma csak néhány százalékkal kisebb a mezőnél, az áram beáll a legyőzendő tehernek megfelelő normális értékre.

Az indítási áramlökés hat-nyolcszor akkora is lehet, mint a motor normális terhelési árama, más szóval az, amely a teljes terheléssel járó motorba belemegy, amikor az már rendes fordulatszámmal jár.

Emiatt a nagy indítási áram miatt korlátozzák annyira a ma érvényben lévő Németország-i szabályzatok a



3. ábra: Részletek Boleman Géza A kalickás motor jövője c. cikkéből [11]

1927. november 3-án előadást tartott a Magyar Elektrotechnikai Egyesületben az első cikkének témájáról és 1928-ban ezen munkájáért kapta az évi Zipernowsky Károly jubileumi díjat.

Többször végighallgatta a bánya- és kohómérnök képzés előadásait. Így szerzett ismereteket arról, hogy milyen elektrotechnikai tudásra van szükségük a leendő bánya- és kohómérnököknek. Ennek alapján készítette el főművet az Elektrotechnika tankönyvet, amelyet 1917-ben adtak ki Selmezbányán. Hozzá kell tennünk, hogy Zipernowsky Károly előadásairól Zsakula Milán készített könyvműködés kéziratosát a József Műegyetemen már 1914-ben. Viszont keménykötésű kiadásban Boleman Gézáé az első magyar nyelvű Elektrotechnika egyetemi tankönyv, amely 640 oldalt és 599 ábrát tartalmaz.



4. ábra: Boleman Géza Elektrotechnika tankönyvének 2. kiadása [12]

Az ábrákat Boleman Géza saját maga rajzolta meg tussal pauszpapírra, amelyek utólag kerültek beragasztásra a tankönyvbe. A tankönyv további két kiadást élt meg 1919-ben Selmezbányán és 1931-ben Sopronban. A könyv Dr. Wittmann Ferenc műegyetemi professzor úrnak van dedikálva. Elgondolkodtató és megindító a több szerző által is idézett előszó részlet az első kiadásból, amely a szerző szerénységet bizonyítja [12]:

„A könyv megírásánál sem az anyagi siker reménye nem vezetett, sem írói dicsőségre nem vágyódtam; egyedül és csakis azon cél lebegett szemem előtt, hogy a tanuló ifjúságnak, valamint az elektrotechnika iránt érdeklődő mérnök kollégáimnak is némiképpen szolgálatára lehessenek, és hogy nekik nagyobb tankönyvek megértésére a kellő alapot nyújtsam. Ha ezt elértem, úgy az eredménnyel meg vagyok elégedve.”

A könyv elérte a célját, sőt azon túl is mutatott, hiszen évtizedeken át volt a selmezbányai, soproni, sőt a budapesti elektrotechnika iránt érdeklődő hallgatók közkedvelt tankönyve, olyan magyar nyelvű mű, amely részletesen és közérthetően, de ugyanakkor egyetemi szinten tárgyalta a villamos gépek és készülékek felépítését, működési elvét, üzemeltetését. A könyv második kiadást változatlan utánnyomással 1931-ben adta ki a Bányamérnöki és Erdőmérnöki Főiskola Könyvkiadó Alapja. 1933-ra elkészült a harmadik kiadás kézírata, amely 900 oldalt és 913 ábrát tartalmazott, ezt használták fel egy új Elektrotechnika tankönyv megírásához, amely Frigyes Andor szerkesztése alatt Schnell László, Szita Iván és Tuschák Róbert társszerzők közreműködésével jelent meg 1951-ben, 982 oldalt és 1155 ábrát tartalmazott. Verő József megjegyezte: „csak a második kiadásában említették meg nevét és a könyvben szereplő kidolgozott példák szinte kivétel nélkül az ő hagyatékából származtak.” [4] Ez a második kiadás 1959-ben jelent meg 3100 példányban, 1100 oldallal és 1193 ábrával, majd 1961-ben változatlanul a harmadik 6100 példányban. Ezen könyv sikerét Boleman Géza főműve alapozta meg iskolateremtő képességével, hogy az elektrotechnikai ismereteket először a fizikai jelenségekkel magyarázza meg, majd a matematika segítségével jut el a végső képletekig.

4. BOLEMAN GÉZA MÉLTATÁSA

Igaz, hogy ez a cikk az első Elektrotechnika tankönyv centenáriumáról szól, de ezt a művet Boleman Géza készítette, így megkerülhetetlen az ő személyének a méltatása, hiszen ezen kívül számos érdemet szerzett pályafutása során, amelyek közül csak néhány kiemelkedőbbet említek meg a következőkben:

- 43 éven át volt a Fizika-Elektrotechnika Tanszék vezetője 1904 és 1947 között,
- világszínvonalú intézetet hozott létre, ahol világszínvonalú képzést adtak a hallgatóknak,
- 1919-ben a Magyar Mérnök és Építész Egylet a Nagy Aranyéremmel jutalmazta,
- 3 cikluson át volt a főiskola rektora Sopronban 1922-23, majd 1928-30-as időszakban,
- a Magyar Elektrotechnikai Egyesület 1928-ban a Zipernowsky Károly jubileumi díjjal jutalmazta,
- 1952-ben a Magyar Tudományos Akadémia a műszaki tudományok kandidátusa címet adta, annak ellenére, hogy nem készített doktori vagy kandidátusi disszertációt,
- a francia Becsületrend tiszti keresztjét 1931-ben kapta,
- 1956-ban a BME Aranydiplomát adott és megkapta a Munka Érdemrendjét,
- 1961. december 6-án a Magyar Elektrotechnikai Egyesület tiszteletbeli elnökévé választották. Erről a betegágán szerzett tudomást és hozzátartozói szerint az arcára rajzolódó enyhe mosoly jelezte, hogy örül a hírnek.

1961. december 20-án tért végső nyugovóra.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ZSÁMBOKI, L.:** *Selmectől Miskolcig 1735-1985*, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 1985.
- [2] **ERDŐSI, GY., KARLOVITS, J.:** *A Kossuth Díjjal járó jutalmat felosztotta a munkában résztvevők között.* <http://erdsigyula.blogspot.hu/2013/08/karlovits-jozsef-1922-2001-kossuth.html>, 2015.10.07.
- [3] **STAAR, GY.:** *A soproni részecskegyorsító – beszélgetés Simonyi Károllyal.* <http://www.termeszetvilaga.hu/tv2001/tv0112/soproni.html>, 2015,10,07.
- [4] **IFJ. SARKADY, S.:** *Boleman Géza élete és munkássága*, Nyugat-magyarországi Egyetemi Kiadó, Sopron, 2014.
- [5] <http://keptar.oszk.hu/html/kepoldal/index.phtml?id=049268>, 2017.07.06.
- [6] https://hu.wikipedia.org/wiki/Petőfi_Sándor, 2017.07.04.
- [7] https://www.kozterkep.hu/~25884/Boleman_Istvan_Vihnye.html, 2017.07.04.
- [8] **KOLLEGA TARSOLY, I., HORVÁTH, T.:** *Elektrotechnika – Szakoktatás, mérnökképzés, Műszaki és természettudományok*, MAGYARORSZÁG A XX. SZÁZADBAN, IV. kötet, Babits Kiadó, Szekszárd, 1996-2000, <http://mek.oszk.hu/02100/02185/html/731.html>, 2015.06.09.
- [9] <https://www.sztnh.gov.hu/hu/magyar-feltalalok-es-talalmanyaik/zipernowsky-karoly>
- [10] **GOHÉR, M.:** *Boleman Géza*, ELEKTROTECHNIKA szakfolyóirat, 55. évfolyam, 4. szám, 1962., http://elektro.tudomanytortenet.hu/pdf/ET/1946-tol/ET_1962_04t.pdf, 2017.07.04.
- [11] **BLÁGA, CS.:** *111 éves az Elektrotechnikai-Elektronikai Intézeti Tanszék*, Emlékkülés, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2015. augusztus 31., http://www.electro.uni-miskolc.hu/index_EE111.html, 2017.07.06.
- [12] **BOLEMAN, G.:** *Elektrotechnika*, Joerges Ágost Özvegye és Fia Kiadása, Selmecbánya, 1919.

AZ ELMŰ-ÉMÁSZ MÚLTJA ÉS JELENE

THE PAST AND THE PRESENT OF THE ELMŰ-ÉMÁSZ

FODOR József¹, HOLCSIK Péter²

¹ügyvezető igazgató, jozsef.fodor@emasz.hu

¹ÉMÁSZ Hálózati Kft. és ELMŰ Hálózati Kft., 1132 Budapest, Váci út 72-74

²szenior üzemviteli támogató, peter.holcsik@elmu.hu

²ÉMÁSZ Hálózati Kft. és ELMŰ Hálózati Kft., 1132 Budapest, Váci út 72-74

Kivonat: Jelen cikkben bemutatásra kerül az ELMŰ és ÉMÁSZ múltja az áramszolgáltatás kezdetétől a viharos XX. századon át napjainkig. A jelenbe érkezve a cikk elidőzik a vállalat felépítésén, az elosztói engedélyesek egyes szervezeti egységeinek bemutatásán és feladatainak ismertetésén azzal a nem titkol cállal, hogy az olvasóval megismertesse e nagy múltú vállalat belső működését, érdekes és kihívásokkal teli világát és azt a jövő generációi számára csábítóvá tegye. Teszi mind ezt számtalan korabeli és a mai, mindennapokat szemléltető fényképek közlésével.

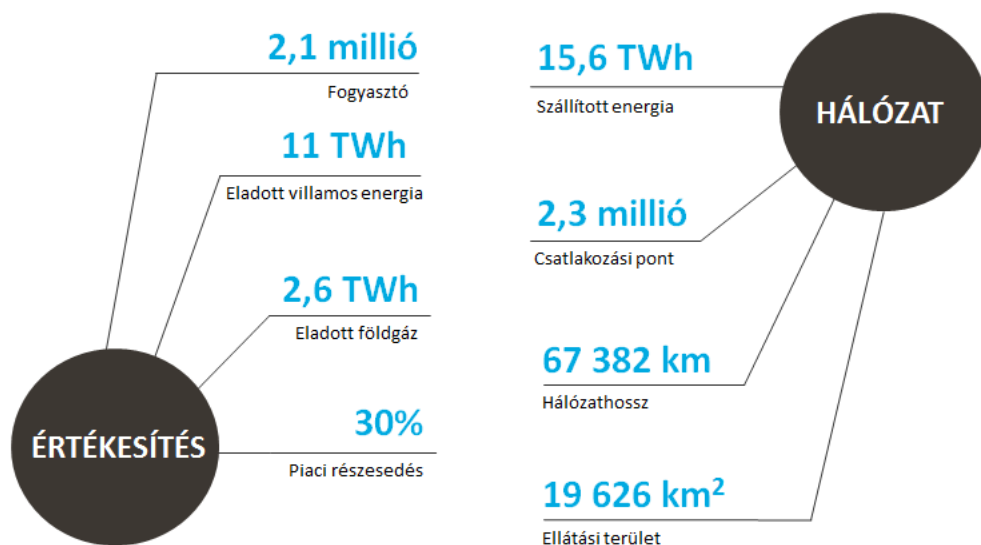
Kulcsszavak: ELMŰ-ÉMÁSZ, jelen és múlt, áramszolgáltatás, szervezeti felépítés

Abstract: This article describes the past of ELMŰ and EMÁSZ group from the beginnings of electricity service through rugged 20th century until nowadays. Arriving into present the article idles over introduction of the structure of the DSOs and description of its tasks and duties. The aim is to familiarize the readers with inner operation of the renowned company and the interesting, challenging world of it furthermore having it seductive for next generation.

Keywords: ELMŰ-ÉMÁSZ, present and past, electricity distribution, organizational structure

1. BEVEZETÉS: A KERZDETEKTŐL NAPJAINKIG

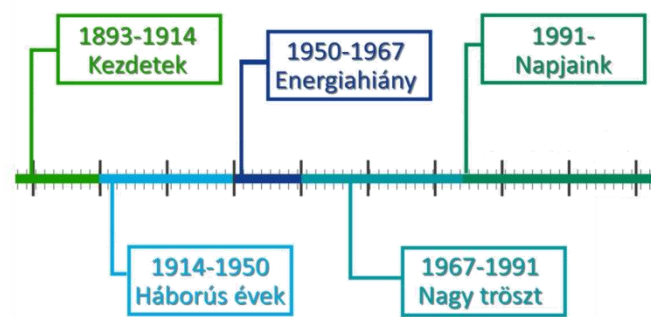
Az ELMŰ-ÉMÁSZ az innogy csoport tagjaként Magyarország egyik legnagyobb energiaszolgáltató vállalatcsoportja, mely mintegy kétmillió ügyfél számára biztosítja a villamos energiát egyetemes szolgáltatóként, hálózati szolgáltatóként, országsszerte több ezer vállalati ügyfél versenypiaci kereskedőpartnereként és 2015 nyara óta gáz kereskedőként is (1. ábra).



1. ábra: Az ELMŰ-ÉMÁSZ 2016-ban

1.1 Az áram története

De hogyan is indult mindez? Az első közcélú áramfejlesztő telep New Yorkban létesült 1882-ben, Európában először 1883-ban, Magyarországon először Temesváron 1884-ben. A XIX. század utolsó évtizedeiben a hazai ipari fejlődés nagyrészt a fővárosra korlátozódott. Öt jellemző korszakra bontható a budapesti szolgáltató vállalat élete:



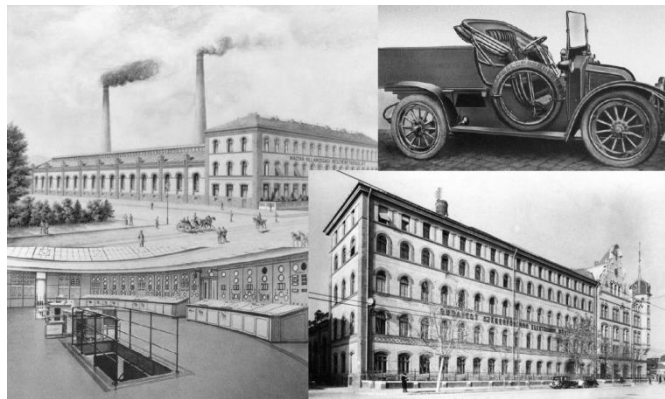
2. ábra: A budapesti szolgáltató vállalat jellemző korszakai

1.2 A kezdetek

A kezdeti időszakban épült ki a magyarországi villamos energia ellátás.



*3. ábra: A Nyugati pályaudvar
1896-ban*



*4. ábra: Fényképek a budapesti
szolgáltató vállalat kezdeti idejéből*

Budapesten 1893-ban megkezdte működését a Budapest Általános Villamossági Részvénytársaság (BÁV Rt.) és a Magyar Villamossági Részvénytársulat (MV Rt.). A BÁV Rt. egyenfeszültséget, az MV Rt. 42 Hz frekvenciájú váltakozó feszültséget szolgáltatott. A rendszeres áramszolgáltatás 1893. október 21.-én indult el hazánkban (3. és 4. ábra).

Észak-Magyarországon először 1894-ben, a Magyar Villamossági Részvénytársaság épített közcélú erőművet Egerben, melynek 48 fogyasztója volt 32 kW terheléssel. 1897-ben megalakul a Miskolci Villamossági Részvénytársaság és ezzel egy időben megindult a városi villamos közlekedés (5. ábra).



5. ábra: Miskolci Villamossági Részvénytársaság tisztviselői a társaság 30 éves fennállásának emlékére

A kezdeti időszakban:

- 1 kW energia árért 5 kg kenyeret lehetett vásárolni,
- az egy háztartásra jutó fogyasztás 60 kWh/év volt,
- körülbelül 78.000 fogyasztó használta a szolgáltatást és
- évente 54,7 GWh villamos energiát értékesítettek.

1.4 A háborús évek

A háborús korszakban a rombolás és az építés volt a jellemző (6. ábra).



6. ábra: Villamos fogyasztók lapjának címlapja (b), kandeláber mosó munkája közben (k), korabeli plakát (j)

Budapesten ebben a korban jelent meg, az akkori csúcstechnológiának megfelelő 50 Hz-es új erőmű építésére az igény. A hálózat papír szigetelésű kábelekből állt. 1918-tól a két áramszolgáltató egyesült Budapest Székesfőváros Elektromos Művei (BSzEM) néven folytatták tevékenységüket.

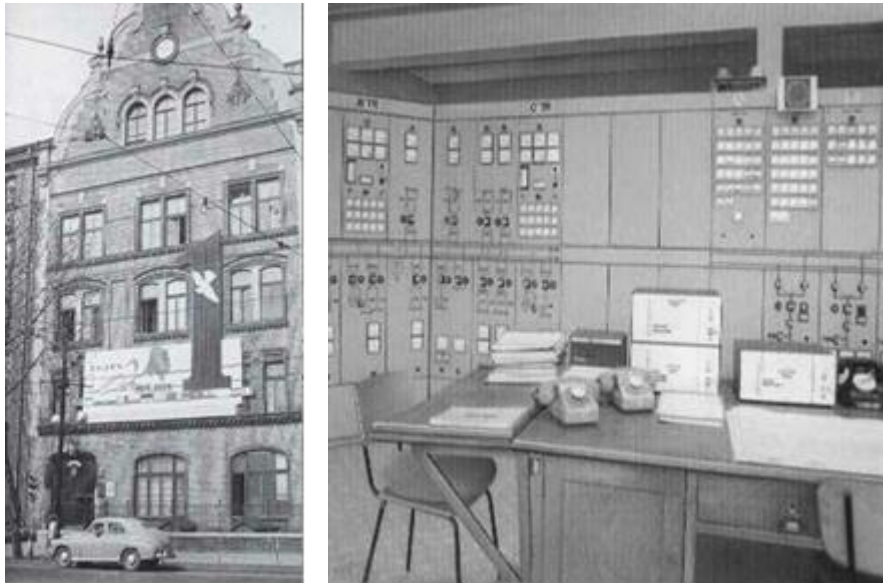
A háborús időszakban:

- 1 kW energia árért 1,6 kg kenyeret lehetett vásárolni,
- az egy háztartásra jutó fogyasztás 218 kWh/év volt,
- körülbelül 524.000 fogyasztó használta a szolgáltatást és
- évente 672 GWh villamos energiát értékesítettek.

1.4 Az energiahiány időszaka

Az 50' évek végére megszűnt a 105 V egyenáramú és 110 V váltakozó áramú hálózat. A budapesti vállalat 1950-ben állami irányítás alá került, új neve Budapest Főváros Elektromos Művei lett. Az ellátási terület a korszak alatt 3.000 km²-re növekedett, azonban az energia hiány miatt a hálózatot naponta többször is kikapcsolták (7. ábra).

Észak-Magyarországon 1949-ben a területi részvénytársaságok államosításával létrejött az ágazat központi szervezete az Állami Villamosenergia Szolgáltató Nemzeti vállalat melynek Észak-Magyarországon három önálló igazgatósága működött: Egerben, Miskolcon és Salgótarjánban. 1951-ben megalakult a három üzemigazgatásból Miskolci központtal megalapult az Észak-Magyarországi Áramszolgáltató vállalat.



7. ábra: A Budapest Főváros Elektromos Művei (b) és vezénylő központ (j) az energiahiány időszakában

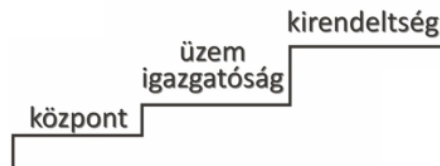
Az energiahiány időszakában:

- 1 kW energia árért 27 dkg kenyeret lehetett vásárolni,
- az egy háztartásra jutó fogyasztás 946 kWh/év volt,
- körülbelül 787.200 fogyasztó használta a szolgáltatást és
- évente 2.990 GWh villamos energiát értékesítettek.

1.5 A nagy tröszt

1962-ben befejeződött a falvak villamosítása, amely azt jelentette, hogy az ÉMÁSZ területén minden községben jelen van a villamos energia.

1963-ban megalakul a Magyar Villamos Művek (MVM), amely 1963-ban az Észak-Magyarországi, 1966-ban pedig Budapesti vállalat irányítását is átvette. A korszakban újabb pest megyei településeket csatoltak az ELMŰ ellátási területéhez, mely 1.054 km²-el lett nagyobb. Az ÉMÁSZ a korszakban (64' és 66' között) az áramszolgáltatók között elsőként létrehozta a három lépcsős felépítésű, fogyasztó centrikus szervezetet (8. ábra).



8. ábra: A háromlépcsős szervezeti felépítés

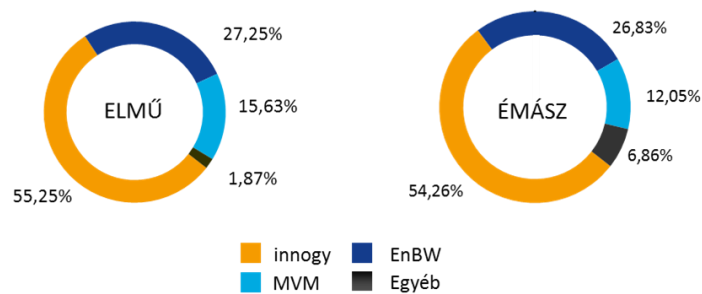
A korszakban:

- 1 kW energia árért az előző korszakhoz képest körülbelül fele annyi, 14 dkg kenyeret lehetett vásárolni,
- az egy háztartásra jutó fogyasztás 2.304 kWh/év volt,
- körülbelül 1.283.300 fogyasztó használta a szolgáltatást és
- évente 8.005 GWh villamos energiát értékesítettek, ami az előző korszak több, mint 2,5 szerese.

1.6 Napjainkban

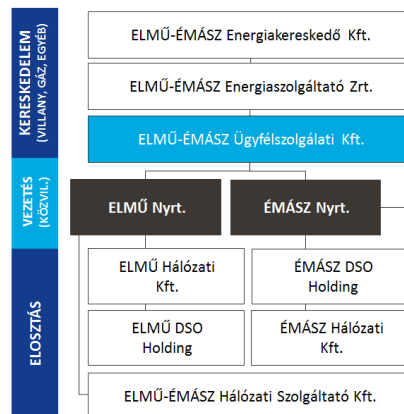
A korszak kihívása a magánvállalként való helytállás melynek részeként 1991-ben az ÉMÁSZ, 1992-ben az ELMŰ is visszatért az eredeti, részvénytársaságban való működéshez.

1995-ben az ÉMÁSZ-nál, 1996 decemberében pedig az ELMŰ-nél is megjelentek a külföldi befektetők a tulajdonosok között. A két legnagyobb befektető a német RWE és EnBW (9. ábra).



9. ábra: Az ELMŰ-ÉMÁSZ mai tulajdonosi szerkezete

2003-ban a villamos energia piac részleges liberalizációja megtörtént, 2007 januárjában a törvényi előírásoknak megfelelően lezajlott a társaságok kereskedelmi és hálózati tevékenységének szervezeti és jogi szétválasztása (10. ábra). 2008-ra a villamos energia piac teljes liberalizációja lezajlott.



10. ábra: Az ELMŰ-ÉMÁSZ mai felépítése

Az ELMŰ-ÉMÁSZ fő tulajdonosa az RWE csoport volt, amelyben szintén átszervezéseket bonyolítottak le. Megalakult, majd tőzsdére került az innogy nevű leányvállalat, amely az RWE-től átvette a hálózatüzemeltetést, a megújuló energiák és kiskereskedelmi üzletágakat. Az RWE és innogy közötti tevékenységelosztás alapján az ELMŰ Nyrt. és ÉMÁSZ Nyrt. az innogy-hoz került, így jelenleg ez a társaság a fő tulajdonos.

Napjainkban:

- 1 kW energia áráért, körülbelül 12 dkg kenyeret lehet vásárolni,
- az egy háztartásra jutó fogyasztás körülbelül 2.112 kWh/év,
- körülbelül 1.989.000 ügyfél használja a szolgáltatást (2017. áprilisi statisztikák alapján),
- a vállalat évente 11.000 GWh (11 TWh) villamos energiát értékesít.

Összehasonlítva ezen adatokat a kezdeti időszakokkal megállapítható, hogy kezdetekben közel 41-szer drágább volt a villamos energia, egy átlagos háztartás több mint 35-ször több villamos energiát használ fel ma, miközben az ügyfélkör a 25-szörösére bővült. Ennek – és az ipar minél szélesebb körű villamosenergia-felhasználásnak következménye, hogy az értékesített villamos energia több mint 200 szorosára bővült (11. ábra).



11. ábra: A szolgáltatás kiterjedtségének kezdeti (b) és mai (j) összehasonlítása

Újra előtérbe kerültek a hálózat korszerűsítési munkálatok és a kor elvárásainak megfelelően az ügyfélszolgálat és a fogyasztókkal való kapcsolattartás módszere is kiemelten sokat fejlődött. Mindemellett innovatív termékek, technológiák, például elektromos autózás, úgynevezett okos eszközök, megújuló zöld megoldások is kiegészítik az energia szolgáltatást (12. ábra).



12. ábra: Az ELMŰ-ÉMÁSZ
Budapest, Váci úti központjának belső homlokzata

2. AZ ELMŰ DSO ÉS ÉMÁSZ DSO MINT ELOSZTÓI ENGEDÉLYES

Az ELMŰ Hálózati Kft. és az ÉMÁSZ Hálózati Kft. úgynevezett elosztói engedélyjel rendelkezik (angol nevén: Distribution System Operator, nemzetközi rövidítése: DSO). Ezt az engedélyt a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) adta ki, melynek alapján területi szolgáltatási jogkörrel és kötelezettséggel felruházta azon jogi személyeket, melyek feladata a hálózatok fejlesztése, üzemeltetése, karbantartása és a villamos energia elosztása. Az elosztói engedélyesek feladata a villamos energia előírt minőségben történő eljuttatása a fogyasztók csatlakozási pontjára. Az átadott energia méréséért szintén az elosztói engedélyesek a felelősek (13. ábra). A DSO-k a közcélú villamos hálózatokon keresztül hatóságilag meghatározott díjak fejében szállítják el a vásárolt villamos energiát a fogyasztók csatlakozási pontjára.

Magyarországon ma hat elosztói engedélyes van:

- E.ON Dél-dunántúli Áramszolgáltató Zrt.
- E.ON Észak-dunántúli Áramszolgáltató Zrt.
- E.ON Tiszántúli Áramszolgáltató Zrt.
- DÉMÁSZ Hálózati Elosztó Kft.
- ÉMÁSZ Hálózati Kft. és
- ELMŰ Hálózati Kft



13. ábra: A magyarországi villamos energia egyetemes szolgáltatók szemléltetése

Jelen cikkben az ELMŰ-ÉMÁSZ DSO-ikhoz kapcsolódó szervezetek munkái kerülnek bemutatásra, melyet szervezetileg három igazgatóság fed le:

1. Gazdasági és szabályozás- menedzsment igazgatóság (GSZI)
2. Hálózat stratégiai igazgatóság (HSI)
3. Üzemviteli Igazgatóság

Az ELMŰ DSO és ÉMÁSZ DSO fő céljai:

1. Hálózati infrastruktúra fejlesztése, megbízható működtetése
 - a hálózati alpinfrastruktúra folyamatos fejlesztésével, megújításával biztosítani a hosszú távú megbízható működést és a minőségi mutatók elvárt szintjének elérését,
 - a havária és üzemzavari helyzetek gyors és fegyelmezett kezelése,
 - a hálózati eszközök, rendszerhasználók adatainak naprakész nyilvántartása és megbízható működtetése, a kapcsolódó folyamatok pontos kiszolgálása, adatfelelősségi rendszer kialakítása,
 - az új innovatív technológiák integrálása a hálózati megoldásokba is,
 - decentralizált energiatermelés és energiahatékonysági elvárások integrálása a hálózati infrastruktúrába.
2. Társadalmi elvárások és ügyféligények korrekt, gyors, megbízható teljesítése
 - a hálózathasználati fogyasztói kapcsolatok, szolgáltatások minőségének elvárt szintre való fejlesztése,
 - a csatlakozási igények (fogyasztói, termelői) elvárt időn belüli teljesítése,
 - az önkormányzati és hatósági kapcsolatok folyamatos fejlesztése, kiemelt kezelése,
 - települések fejlesztési igényeinek összehangolása a hálózatfejlesztésekkel,
 - a piaci folyamatok és szereplők elvárt időn belüli, jó minőségű, korrekt kiszolgálása az előírásoknak megfelelő adatokkal, információkkal.
3. Tulajdonosi elvárások teljesítése
 - a hálózati beruházások, karbantartások minőségi és elismert költségszintet meg nem haladó teljesítése,
 - a hálózati infrastruktúra, hálózati kompetenciák alaptevékenységeken felüli hasznosítása előzetesen elfogadott üzleti tervek alapján,
 - a cégcsoport image magas szinten tartása a belső és külső kapcsolatok kezelése folyamán.

2.1 A hálózat minősége

A hálózat minősége az egyik kiemelten fontos stratégiai tevékenység az ELMŰ-ÉMÁSZ számára, a legtöbb feladat, folyamat ennek a fő célnak van alárendelve.

Ennek a fogyasztói elégedettség növelésén túl azaz oka, hogy a „2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról” alapján a MEKH számára lehetőség van határozatban megállapítani az engedélyesek tevékenységének minimális minőségi követelményeit és elvárt színvonalát. A MEKH határozatában a villamosenergia-elosztói engedélyesek által nyújtandó szolgáltatási színvonal gazdasági ösztönzésének alapját képező nemzetközileg elfogadott mutatókra meghatározott minimális minőségi követelményekben évenkénti százalékos mértékben meghatározott javulást írt elő [1, 2].

A meghatározott minőségi mutatók közül az első az úgynevezett MEH 1 mutató (nemzetközi környezetben: System Average Interruption Frequency Index, SAIFI). A MEH 1 mutató fogalma: egy fogyasztási helyre hány darab nem tervezett áramszünet jut átlagosan az adott időintervallumban (jellemzően adott évben) vagy másképpen „az ellátás nem tervezett megszakadásának gyakorisága egy fogyasztóra vetítve” [3, 4].

Azaz:

$$SAIFI = \frac{\sum_{x=1}^n N_i}{N_T} \quad (1)$$

ahol:

- N_i – az adott i üzemzavarban érintett fogyasztók száma;
 N_T – a T ellátási területen a fogyasztók összesített darabszáma;

A másik ilyen mutató a MEH 2 mutató (nemzetközi környezetben: System Average Interruption Duration Index, SAIDI). A MEH 2 fogalma: egy fogyasztóra hány perc üzemzavari kiesés jut átlagosan vagy másképpen „az ellátás nem tervezett megszakadásának átlagos időtartama” [3, 4].

Azaz:

$$SAIDI = \frac{\sum_{x=1}^n (U_i * N_i)}{N_T} [\text{perc}] \quad (2)$$

ahol:

- U_i – az adott i meghibásodás okozta szolgáltatás kimaradás összegzett ideje (perc);
 N_i – az érintett fogyasztók száma;
 N_T – a T ellátási területen a fogyasztók összesített darabszáma;

3. GAZDASÁGI ÉS SZABÁLYOZÁS- MENEDZSMENT IGAZGATÓSÁG (GSZI)

Az GSZI feladatai két fő témakörből tevődnek össze, melyet két osztályba került kiszervezésre. Az energia- és szabályozás managementtel foglalkozó kollégák készítik el a havi hálózathasználati mérleget, követik nyomon a hazai és nemzetközi jogszabályokat és kezelik a hatósági megkereséseket. A minőségirányítással és kontrollingra foglalkozó kollégák koordinálják a DSO gazdasági feladatait, feltérképezik a cégen belüli folyamatok gyenge pontjait és a hatékony működés érdekében kiküszöbölik azokat. Az ő feladatuk a Minőségirányítással kapcsolatos rendszerek IT koordinációja is (14. ábra).



14. ábra: A Gazdasági és szabályozás- menedzsment igazgatóság főbb feladatainak szemléltetése

4. A HÁLÓZAT STRATÉGIAI IGAZGATÓSÁG (HSI)

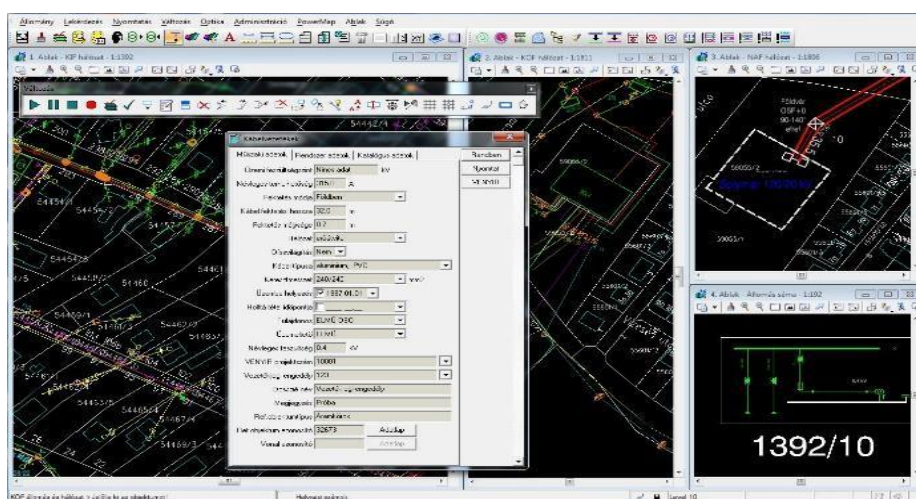
Az igazgatóság tevékenységét - feladataik szerint - nyolc osztályba szervezte:

1. Az Adatelemzési osztály (AEO) feladatai közé tartozik a fogyasztásmérő adatok teljes körű vizsgálata. Ez a folyamat a mérések elvégzésétől az adatok elemzésén át a prognózisok felállításáig tart, valamint a társközművek felé adatszolgáltatási kötelezettségeket teljesíti.
2. A Beruházási osztály (BO) koordinálja beruházási folyamatokat, azaz az új létesítéseket és hálózati rekonstrukciókat (15. ábra).



15. ábra: KÖF elektromos szabadvezetékeinek természetbarát átalakítása a Bükki Nemzeti Parkban, kivitelező: Omexom kft.

3. A Hálózat csatlakozási osztály (HCSO) segít meghatározni a fogyasztók számára a tényleges energia igényüket, amely révén segítik az optimalizált hálózat fejlesztést.
4. A Hálózat dokumentációs osztály (HDO) kezeli a hálózattal kapcsolatos adatokat, információkat. Ma már ezen információk informatikai rendszerekben tárolódnak, melynek kiemelt megjelenítő eszköze az ELMŰ-ÉMÁSZ GIS alapú térképi szoftvere az EÉGIS (16. ábra).



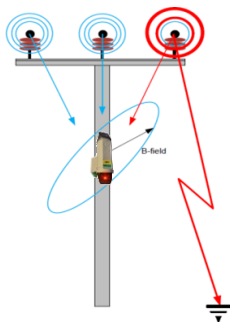
16. ábra: EÉGIS rendszer hálózati megjelenítő

5. A Hálózat irányítási (HIO) feladata a hálózati kikapcsolási igények kezelése, kockázat elemzése, engedélyezése. A 120 kV-os főelosztó- és a közép feszültségű elosztóhálózatok üzemének felügyelete, a teherelosztás befolyásolása, üzemzavarok elhárításának kezelése és kivizsgálása (17. ábra).



17. ábra: HSI, HIO-hoz tartozó miskolci üzemirányítási központ egy munkahelye

6. A Hálózat stratégiai osztály (HSO) feladata a hálózat jövőképének meghatározása, a közép és hosszú távú beruházási tervek előállítása, az üzemeltetési feladatok szabályozása, a beruházási és üzemeltetéshez szükséges anyagok és szolgáltatások biztosítása és a Hatékony folyamatok kialakítása, IT támogatása. A jövőkép kialakítás szerves része az új, innovatív, távjelző és tevénytörző berendezések telepítésének kezdeményezése, koordinálása (18. ábra).



18. ábra: Középfeszültségű zárlatjelző készülék elvi működése

7. Hálózat tervezés osztály (HTO) feladat a hálózattervezési és rekonstrukciós igények teljes körű folyamatának egy szervezetben történő összefogása, a rendelkezésre álló források optimális elosztása. Azaz a feladata, hogy a helyi fejlesztési igényeket központilag összefogva, a hosszú távú célokat figyelembe véve címlistát állítson elő.
8. A Méréstechnikai és mérőellenőrzési osztály (MMO) feladata a villamos fogyasztásmérők jogszabályoknak megfelelő üzemeltetésének koordinálása, ellenőrzése, a vonatkozó jogszabályok és szabványok nyomon követése, szabályzatgazdai feladatok ellátása.

5. AZ ÜZEMVITELI IGAZGATÓSÁG (ÜZEMVITEL)

Az Üzemviteli igazgatóság gondoskodik az alállomások, állomások, szabadvezetékek, kábelek és minden egyéb hálózati elem üzemeltetéséről, felügyeletéről, karbantartásáról, az üzemzavarok megelőzéséről és elhárításáról, az esetleges helyreállítási munkálatokról. (Jelen cikk egyik írója ezen igazgatóság ügyvezető igazgatója, míg másik írója ezen igazgatóság Szolgáltatás koordinációs osztályának dolgozója.)

Az Üzemvitel öt-kettő-kettő felépítésbe szervezte feladatait. Ez azt jelenti, hogy jelenleg:

- öt területi alapon működő régió, Miskolc, Eger, Gyöngyös, Pest és Buda,
- két feladatok szerinti felosztású osztály, a Szakszolgálatok és Távvezetékek osztály és
- két támogató osztály

tartozik hozzá.

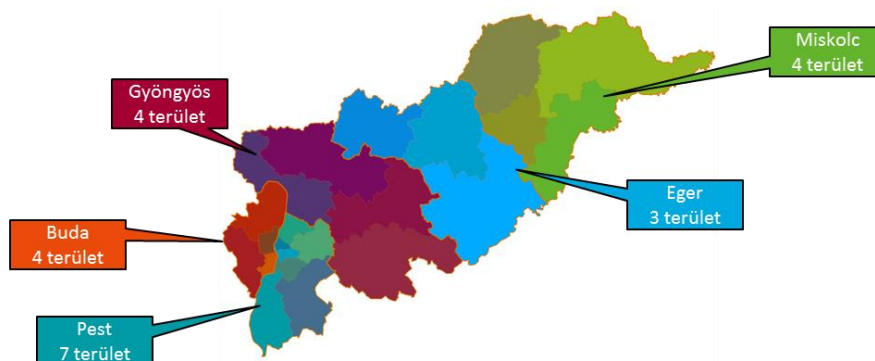
5.1 A régiók

Az ELMŰ-ÉMÁSZ Üzemvitele öt régióból áll, melyek feladatai és működésükben közel teljesen megegyeznek (19. ábra).

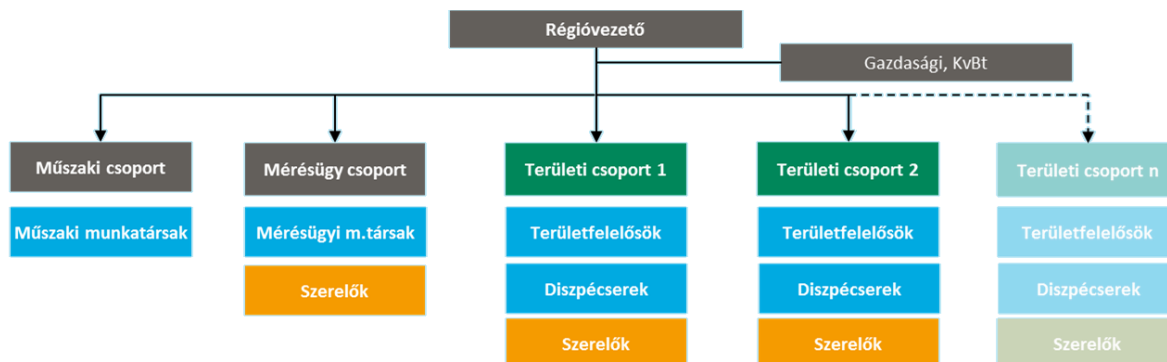


19. ábra: Az ELMŰ-ÉMÁSZ régióközpontjai

A jobb szervezhetőség érdekében a régiók további területekre vannak bontva, melyeket ma pooloknak nevezünk. Ezen poolokhoz tartozik a szelői állomány az őket operatív irányító diszpécser és a területileg illetékes műszaki munkatárs, az ügynevezett terület felelős (20. és 21. ábra).



20. ábra: Az ELMŰ-ÉMÁSZ mai pooljainak területi elhelyezkedése



21. ábra: Az ELMŰ-ÉMÁSZ mai pooljainak szervezeti felépítése

A régiók üzemeltetik a saját területükön a kisfogyasztói mérőket, a nagyfogyasztói mérőket, 0,4 kV-os kisfeszültségű elosztó hálózatot, a 35, 22, 11 / 0,4 kV-os transzformátor állomásokat (KÖF/KIF), a 11, 22, 35 kV-os közepfeszültségű elosztó hálózatot, 132 kV / KÖF alállomásokat az ÉMÁSZ területén (22. ábra).



22. ábra: Képek az ELMŰ-ÉMÁSZ régióinak mindennapjaiból

(Üzemeltetés alatt az alábbi tevékenységeket értjük: felügyeleti, üzemtartási, azaz felmérési, diagnosztikai feladatok, karbantartási, üzemzavar megelőzési munkák, üzemzavar elhárítás és helyreállítás)

5.2 A Távvezeték osztály

A Távvezeték osztály három mérnökökből és szerelőkből álló üzemből épül fel, melynek feladatai igen különbözőek (23. ábra):

- A Szabadvezeték üzem üzemelteti az ELMŰ-ÉMÁSZ 120 kV-os hálózatát, mely 6.191 db oszlopon, 1.527 km nyomvonalon 2.113 km szabadvezetéki rendszert jelent.
- A Kábel üzem évente több mint 2.000 db közepfeszültségű kábelmérést végez el, 500 db közepfeszültségű kábel szerelés mellett és 105,6 km 120 kV-os NAF kábelt üzemeltet.
- A Tervező üzem évente 2.300 db 0,4 kV-os kisfeszültségű csatlakozó vezeték tervez meg, 500 db napelemes rendszer 100 db e-autó töltőoszlop mellett.



23. ábra: A Távvezeték osztály üzemei képekben

5.3 A Szakszolgálatok osztály

A Szakszolgálatok osztálya a Távvezeték osztályhoz hasonlóan üzemből épül fel. Az osztály négy üzeme (24. ábra):



24. ábra: A Szakszolgálat osztály üzemei képekben

- Védelmes üzem, mely az ELMŰ-ÉMÁSZ mind a 89 alállomásának védelemeinek üzemzavar elhárításáért, hibajavításáért, karbantartásáért, beruházásaiért, rekonstrukcióiért, üzembe helyezéséért, a szükséges labor vizsgálatokért, mérésekért és a statisztikák, nyilvántartások, adatszolgáltatásokért felelős.
- Az irányítástechnika és távközlési üzem felel a teljes ELMŰ-ÉMÁSZ távközlési hálózataért, annak üzemeltetéséért, az üzemzavar megelőzéséért, hibaelhárításáért, karbantartásáért, üzemzavar elhárításáért stb.
- A Munkaelőkészítés és irányítás üzem üzemelteti a nagy/középfeszültségű alállomásokat és a középfeszültségű kapcsoló állomásokat. Felelős az üzemirányításért, az üzem ellenőrzéséért, az üzemzavarok elhárításáért, a hálózati beavatkozások kiszolgálásáért (pl. munkaterület adás), karbantartásokért, javításokért, rekonstrukciókért, üzembe helyezésért és üzemben kívül helyezésért, oktatásokért, vizsgáztatásokért stb.

- A karbantartó üzem tartja karban az alállomások primer berendezéseit az elosztóhálózati épített transzformátor állomásait és a PM6 típusú, táv működtethető oszlopkapcsolóit.

5.4 A támogató és koordináló osztályok

Az Üzemvitelen több mint 1.000 munkavállaló dolgozik, melyek központi támogatása és koordinálása kiemelt jelentőségű. Ezt két osztály, egy projekt jelleggel működő, az úgy nevezett NWOW és a Szolgáltatás koordinációs osztály végzi (25. ábra).

A Szolgáltatás koordinációs osztály feladata:

1. a fejlesztés és támogatás, azaz az Üzemviteli terület működésének, szervezetének fejlesztése, az üzemvitel céljainak eléréséhez szükséges koordináló, támogató feladatok ellátása, úgy mint: vezetők, az alkalmazott szoftverek a folyamatok és tevékenységek stb. fejlesztése, szabályozása, egységesítése,
2. a kapcsolatok: az osztály összekötő szerepet vállal a HSI területek és az operatív területek között, azáltal, hogy lehetőséget biztosít arra, hogy a régiók is megfogalmazzanak javaslatokat a mutatók javítására vonatkozólag, illetve az operatív területek koordinálása, konstruktív ellenőrzése,
3. a monitorozás: az Üzemviteli folyamatok elemzése, az érintett folyamatok feltérképezése, vizsgálatok és fejlesztések támogatása, a minőségi mutatók transzparens mérése, az adat minőség folyamatos javítása, KPI-ok fejlesztése.

Az NWoW egy lean és változásmenedzsment alapokon nyugvó szervezeti kultúra transzformációs projekt szervezet.



25. ábra: A támogató osztályok feladatai képekben

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MAGYAR ENERGETIKAI ÉS KÖZMŰ-SZABÁLYOZÁSI HIVATAL,** *Országgyűlési beszámoló 2015*, Elérhetőség: <http://www.parlament.hu/irom40/10190/10190.pdf> [olvasva: 2017.10.10]
- [2] **PÁLFI, J.:** *Big Data módszerek alkalmazsa az áramszolgáltatásban*, Óbudai Egyetem, Alkalmazott matematikai és informatikai Doktori Iskola, disszertáció, pp. 9-11, Budapest, 2018.
- [3] **ZÁVECZ, Á.:** *Az iparági sajátosságok és szabályozás hatásai a villamosenergia-hálózati szolgáltatás áraira és a beruházási döntésekre*, doktori értekezés, Pénzügy és Számvitel Tanszék, Kaposvári Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Kaposvár, 2015
- [4] **IEEE Std, 1366-2012 - IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices**, 2012, DOI:10.1109/IEEESTD.2012.6209381

ÚJ EURÓPAI SZABVÁNYOK HATÁSA A HÁLÓZATOK ÁRAMÜTÉS ELLENI VÉDELME, FEJLESZTÉSÉRE

IMPACT OF THE NEW EUROPEAN STANDARDS ON THE SHOCK PROTECTION AND DEVELOPMENT OF NETWORKS

ORLAY Imre

műszaki szakértő, imre.orlay@emasz.hu
ÉMÁSZ Hálózati Kft 3525 Miskolc Dózsa György u. 13. +36-20-940-3160

Összefoglalás: A villamosenergia rendszer biztonságos működésének és optimalizálásának elengedhetetlen feltétele a vonatkozó szabványoknak való megfelelés. 2011-ben három új európai szabvány jelent meg az 1 kV feletti hálózatok létesítési és földelési követelményeivel kapcsolatban. Erre a három szabványra közösen „új nagyfeszültségű szabványok” megnevezéssel hivatkozhatunk. Az új szabványok jelentős mértékben szigorították az eddigi létesítési, földelési gyakorlatot. Az előadásban ennek a lényegi kérdéseit próbálom összefoglalni.

Kulcsszavak: transzferpotenciál, globális földelés, csillagpont kezelés, tartós földzárlat, admittancia elvű védelem.

Abstract: Compliance with the relevant regulations is an indispensable condition of the secure operation and optimization of the electric energy system. In 2011 three new European standards were published on the installation and earthing requirements of above 1 kV networks. We can refer to these standards collectively as "new high voltage standards". The new standards introduce stricter rules in the existing installation, earthing practice. In the talk I will attempt to sum up the essential points of this issue.

Keywords: transfer potential, global grounding, common junction point, ground fault, admittance protection

1. BEVEZETÉS

Az 1 kV-nál nagyobb feszültségű váltakozóáramú létesítményekre vonatkozóan 2011-ben három, átfogó jellegű nemzetközi (IEC ill. EN) szabvány jelent meg, amelyeknek az EN változata kötelezően bevezetendő szabványként jelent meg MSZ EN szabványként [1]:

- (1) **IEC 61936:2011** 1 kV-nál nagyobb feszültségű váltakozóáramú energetikai létesítmények – 1. rész: közös szabályok. Az MSZ EN 61936-1:2016 szabvány kiadására 2016-ban került sor magyar nyelven.
- (2) **EN 50522: 2011** 1 kV-nál nagyobb váltakozó feszültségű energetikai létesítmények földelése. Magyar nyelvű szabványként bevezetve 2013-ban, mint MSZ EN 50522:2013.
- (3) **EN 50341:2011** 1 kV-nál nagyobb váltakozó feszültségű szabadvezetékek. 1. rész: Általános követelmények. Magyar nyelvű szabványként bevezetve, mint MSZ EN 50341-1:2013. 2014-ben megjelent egy ún. nemzeti kiegészítés MSZE 50341-2:2014, amely a magyarországi sajátosságokat tartalmazza.

Ezek a kötelezően alkalmazandó szabványok a magyar gyakorlatban hosszú ideje alkalmazott szabványok, mint pl. a nagyfeszültségű hálózatokra vonatkozó MSZ 1610 Erősáramú berendezések, az MSZ 172/2 és 172/3 érintésvédelmi, valamint az MSZ 151 szabadvezeték létesítési szabványok visszavonásával jártak. Az új szabványok egymásra épülnek, gyakori kereszthivatkozásokat tartalmaznak, ezért az alkalmazásba vételük sok esetben értelmezési problémákat is jelentenek. Alkalmazásuk szempontjából további nehézséget okoz az új megközelítésű szellemben való megfogalmazásuk, amely inkább az általános szempontokat adja meg, a konkrét követelmények helyett és a tervezőkre, üzemeltetőkre hárítja a konkrétumok meghatározását.

1.1. Szabványváltozások okai

Az új szabványok megjelentetésének legfontosabb okait a következőkkel indokolhatjuk:

- Nemzeti szabványok előírásainak egységesítése iránti igény EU-n belül,
- Szigorították a megengedett érintési feszültség értékét,
- A földelőrendszerek méretezésére a megszűnő szabványok egyszerű ökölszabályokat, rövid egyenleteket közöltek, ezzel az új érintési feszültség értékek nem tarthatók,
- Az EU tagországok az áramütés elleni védekezés részletesebb szabályozását tartották szükségesnek,
- A 132 kV-os és nagyobb feszültségű hálózatok zárlati áramai az utóbbi évtizedekben megnöttek, NAF/KÖF állomások lakóterületek közelében létesülnek, körül öleli a város. Nő az áramütés veszélye.
- A hálózatok időjárásfüggő igénybevétele az időjárás változása miatt jelentősen megnőtt.

1.2. Klímaváltozások hatása

Az utóbbi időben jelentkező klimatikus hatásokra a jelenlegi hálózataink nincsenek megfelelően méretezve. Ennek okai:

- Egyidőben megjelenő hatások jég és szélterhelés, vagy extrém jég- illetve szélterhelés,
- Megnövekedett hálózati kiesések, amelyek időtartama nehezen csökkenthető,
- Fogyasztói kiesések, amelyeket a fogyasztók nehezen tolerálnak.

A kérdés az, hogy valóban klímaváltozásról kell beszélnünk, vagy eddig is voltak ilyen hatások, csak a gyakorisága nőtt meg?

Többlet igénybevételek az új szabványok szerint:

- Szélterhelések számítása: a $V_{b,0}$ alapszélsebesség 23.6 m/s. Vidékenként és esetenként ennél nagyobb alapszélsebességet kell figyelembe venni az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatai, az áramszolgáltató társaságok, a távközlési szolgáltatók üzemeltetői tapasztalata alapján.
- A vezetőkre ható jégterhelés: A jégteher 11 mm jégvastagság a vezetéken, és $\rho_I = 800 \text{ kg/m}^3$ jégsűrűség. Hasonlóan vidékenként és esetenként ennél nagyobb jégterhelést kell figyelembe venni az OMSZ adatai, az áramszolgáltató társaságok, a távközlési szolgáltatók üzemeltetői tapasztalata alapján.
- Szélsebesség és jégterhelés kombinációja.

Ezeket a kérdéseket az MSZ EN 50341-1:2013 szabvány tárgyalja részletesen. Ennek ismertetése egy önálló cikket igényelne. Most azonban alapvetően az érintésvédelem, vagy ahogyan ma nevezzük áramütés elleni védelem kérdésével akarunk foglalkozni.

2. MSZ EN 50522 SZABVÁNY MEGJELENÉSE

Az új szabvány megjelenésével együtt tudomásul kell vennünk, hogy hosszú távon a régi MSZ 172/2 és MSZ 172/3 és az új MSZ-EN 50522:2013 szabványt párhuzamosan kell kezelünk, hiszen a jelenleg üzemelő vezetékekre a régi szabvány előírásai vonatkoznak.

- Ez nyilvántartási problémákat okoz.
- Az érintési feszültség betartásánál problémát okoz a jelenlegi szelektív földzárlat kiválasztási módszer, új védelmi filozófiát kell keresnünk.

Az eddigi szabvány a megengedett érintési feszültség értékét a védelem működési idejétől tette függővé. A szabvány úgy fogalmazott, hogy ha a védelem lekapcsolási ideje kisebb mint 0,5 sec úgy a megengedett érintési feszültség mind külterületen, mind belterületen maximum 1.000 V lehet. Ha a védelem lekapcsolási ideje 0,5 – 1,5 sec közé esik, úgy az érintési feszültség már csak 500 V, 1,5 sec-nál hosszabb védelmi működési idő esetén függetlenül attól, hogy földzárlatos üzem megengedett, vagy nem, az érintési feszültség már csak 65 V lehet. Az oszlopok földelési értékét ennek megfelelően úgy kellett meghatározni, hogy ne lépjen fel nagyobb érintési feszültség. Ha a hálózatokon tömörtestű szigetelőket alkalmazunk, úgy a földelések meghatározására a szabvány engedményeket tett, azaz külterületen függetlenül a védelem működési idejétől elégséges volt az oszlopok természetes földelése, belterületen viszont, ha a 0,5 sec védelmi idő nem volt tartható, úgy 10 Ohm földelési értéket írt elő. Ez akkor is igaz volt, ha az üzemeltetést tartós földzárlatra terveztük. Így látható, hogy a tervezők számára viszonylag egyszerű ökol szabályokat határozott meg a korábbi szabvány.

2.2. Mit jelentett ez a meglévő vonalak esetében

Csökkenthetők voltak a földelés mérés, javítás költségei meglévő vonalaknál, ha:

- a hálózatokon ER szigetelők helyett tömörtestű szigetelőket alkalmazunk,
- földzárlat esetén a védelmi kikapcsolás idejét 1,5 sec-on alá csökkentjük és a tartós földzárlatos üzemeltetést elhagyjuk, bár ez utóbbi esetenként üzemzavar mutatók romlásához vezet,

A földzárlat javítási költségek nem hagyhatóak el teljesen akkor sem, ha nem tartunk földzárlatot, mivel a kezelőhelyeknél, transzformátor állomásoknál, túlfeszültség-levezetőket tartalmazó oszlopoknál továbbra is kell oszlop földelést alkalmazni, ellenőrizni és javítani.

2.3. Javaslat földzárlattartási stratégiára az új szabvány megjelenéséig

- ÉMÁSZ területen továbbra is tartjuk a földzárlatot, mivel a MEKH mutatók jelenleg nem engedik meg ennek elhagyását.
- ELMŰ területen a földzárlattartás megszüntethető.
- ER szigetelők kiváltására stratégia kidolgozása
- Kísérleti projekt az ELMŰ területén, egy kijelölt alállomásban, vizsgálva, hogy a FÁNOE működését és a védelmi időt le tudnánk e szorítani 1,5 sec alá.
- Kísérleti projekt új földzárlat kiválasztási módszerre (admittancia elvű védelem).

Ezt a stratégiát továbbra is tartanunk, illetve alkalmaznunk kell a régi hálózatokon!

2.4. Új fogalmak az MSZ EN 50522 szabvány szerint

Kivitt (transzfer) potenciál

Egy földelő rendszeren a földáram által okozott potenciál-emelkedés, melyet egy vele összekötött vezető (pl. fém kábelköpeny, PEN-vezető, csővezeték, sín) kivisz a referencia földhöz képest csekély, vagy nulla potenciál-emelkedésű övezetekbe, és ezzel potenciál-különbséget hoz létre a vezető és környezete között.

Globális földelő rendszer

A helyi (lokális) földelő rendszerek összekötésével létrehozott eredő földelő rendszer, amely földelő rendszerek közelsége folytán biztosítja azt, hogy nem lépnek fel veszélyes érintési feszültségek.

Földelő elektróda

A talajjal villamos érintkezésben lévő vezetőképes rész, amely be lehet ágyazva a talajba vagy egy speciális vezetőképes közegbe, pl. betonba.

Földelővezető

Olyan vezető, amely egy rendszer vagy egy létesítmény egy adott pontja és egy földelő elektróda között villamos összeköttetést létesít.

2.5. Csillagpont kezelés KÖF hálózatokon

Galvanikusan összefüggő rendszerben csak egy csillagpont földelési mód alkalmazható. A galvanikusan nem összefüggő rendszerekben eltérő csillagpont földelési módok fordulhatnak elő. Ilyen eset lehet, ha egy alállomásban két transzformátoron külön üzemeltetünk kábelhálózatot hosszúföldelten, illetve szabadvezetékes hálózatot kompenzáltan. Ha a normális vagy a rendellenes üzemvitel során egymástól eltérő fajtájú csillagpont földelések fordulhatnak elő, akkor a készülékeket és a védelmi rendszereket ezekre az üzemeltetési feltételekre kell méretezni.

Földzárlat fellépése esetén a lehetséges földzárlati áram amire méretezni kell a földelő elektródát:

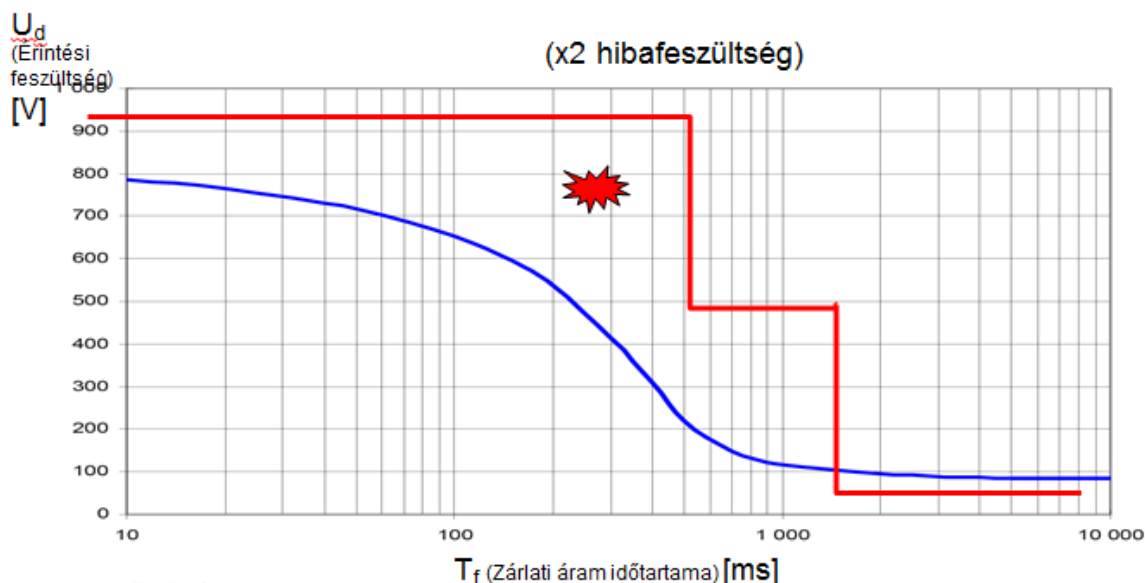
- automatikus lekapcsolás esetén mértékadó zárlati áramként elegendő FN zárlati áramra méretezni
- folyamatos üzemvitel a hibahely behatárolás alatt, azaz földzárlattartás esetén a mértékadó zárlati áram 2 FN, mivel fennáll a kettős földzárlat fellépésnek veszélye az ép fázisok megemelkedett feszültsége miatt.

2.6. Legfontosabb újdonságok az új szabvánnyal kapcsolatban

- Kivitt feszültséggel kell számolni (Transzfer potenciál)!
- Teljes élettartamra kell méretezni a földelő elektródát (figyelembe veszi a korróziót és a mechanikus, illetve zárlati áram igénybevételt).
- A földeléseket nem a védelmek alapidejére, hanem a tartalékvédelem működési idejére kell méretezni. A termikus és mechanikus igénybevételt a tartalék védelem működési ideje alapján kell meghatározni, de a lépés- és érintési feszültséget, valamint a transzfer potenciált az alapvédelem ideje alapján kell figyelembe venni.
- Figyelembe lehet venni a megbízhatóan kapcsolódó egyéb földelő rendszereket is. Globális földelő háló
- Csak a tényleges potenciálemelkedést okozó föld irányú áramokra kell méretezni a földelést (védővezető csökkentő hatása).

2.7. Mi is a probléma az új szabvány miatt?

Az alábbi ábrán összehasonlítottam a régi és az új szabvány érintési feszültségeit. Ebből látható, hogy a régi szabvány (piros vonal) lényegesen magasabb érintési feszültségeket engedett meg és hosszabb ideig.



1. ábra: Érintési feszültségek összehasonlítása

Az érintési feszültséget az $U=I \cdot R$ összefüggés alapján számolhatjuk.

Milyen lehetőségeink vannak a beavatkozásra, az érintési feszültség csökkentésére?

Feszültség csökkentése: Az érintési feszültség értékét szabvány határozza meg. Szabvány alóli felmentés nincs.

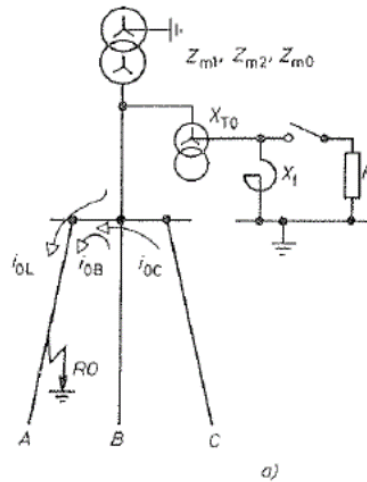
Áram értékének csökkentése: Alállomási védelmi módtól, beállítástól függ. Módosítása: védelmi idő csökkentése, kis áramú védelem, FÁNOE elhagyása.

Földelési ellenállás csökkentése: Hálózaton nagy számban van telepítve. Módosítás: földelési ellenállás csökkentése, kiegészítő intézkedések, pl. szigetelő burkolás, lépésfeszültség csökkentő keretföldelő. Nagy költség és idő szükséglet.

2.8. Földzárlatos vonal kiválasztás lehetőségei

Mai gyakorlat az ún. nagyáramú földzárlat érzékelés. Földzárlat esetén megemelkedik az U_0 feszültség és a védelem egy ívoltási kísérlet után kis időre bekapcsol egy földzárlati áramnövelő ellenállást (FÁNOE). A hibás vonalat a megnövekedett földzárlati áram miatt (ellenállás értékétől függően 125 – 250 A) a vonali védelem szelektíven ki tudja választani. Az automatikus próbakapcsolások után, ha a földzárlat nem szűnt meg, programozástól függően tartós földzárlatos üzem, vagy végleges kioldás történik. Tartós földzárlat esetén kompenzált hálózaton a maradékáram 10 – 15 A.

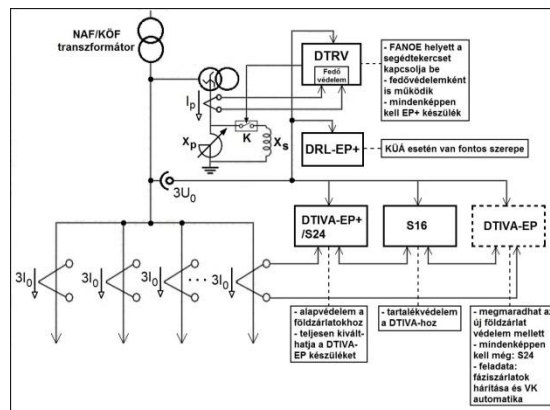
A jelenlegi védelem előnye: jó kiválasztó képesség, egyszerű védelem. Hátránya: hosszú idejű nagy zárlati áram miatt magas potenciálnövekedés, egyedi készülék (FÁNOE), esetenként kettős földzárlat kialakulásának veszélye (2. ábra).



2. ábra: Földzárlatos vonal kiválasztása FÁNOE ellenállás alkalmazásával

2.8.1. Hogyan csökkenthető a földzárlati áram értéke?

A földzárlatos hibák érzékelésére Európában, illetve a világon számtalan védelmi megoldást alkalmaznak. Ezek között szerepelnek az irány érzékeny energia védelmek. Magyarországon a Protecta új admittancia elven működő védelmet készített a földzárlatos vonal kiválasztására.



3. ábra: Admittancia elvű védelem

A védelem legfontosabb előnyei:

- A kiválasztás gyors és megbízható.
- Megszűnik a hibahelyen folyó nagy áramok miatti feszültség-emelkedések veszélye.
- A korábbi földzárlat védelmeknél gyakran előforduló szögbeállítási problémák megszűnnek.
- Nagy impedanciájú földzárlatok esetén is működőképes.
- Lehetőség nyílik a földzárlati hibahely távolságának meghatározására is.
- Megmérhető a zárlati hibahely átmeneti ellenállása.
- Csökkenthető a földelési ellenállások szükséges értéke.

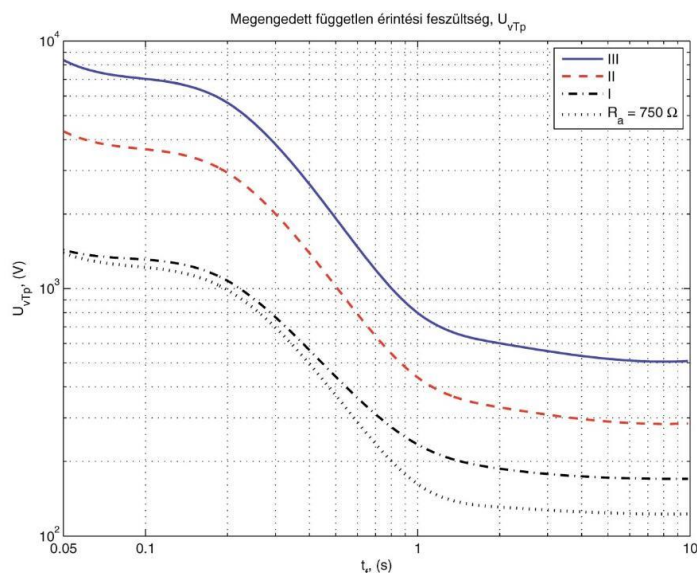
A kisáramú zárlatérzékelésre való áttérés problémái:

- Az egyes gyártók eltérő elvű védelmei nem segítik a versenyt,
- Jelentős költséggel jár és az új rendszer üzemviteli kockázatot jelent,
- Aláosztott védelmek (TMOK, recloser, ipari fogyasztók) védelmét érinti,
- Hosszú ideig együtt él a két rendszer, aminek a problémáját kezelni kell,
- A magyarországi hálózatok nem mindig alkalmasak az érzékenyebb védelmek alkalmazására (nagy hálózati aszimmetria).

2.9. KÖF szabadvezetéki oszlopok érintésvédelme

A közép feszültségű szabadvezetékes hálózatok esetében általában nem állnak fenn a globális földelés feltételei, ezért a földpotenciál emelkedés (EPR) feltételeknek való megfelelést külön kell vizsgálni.

A szabadvezetésekre, amelyek kezelőhelyet nem tartalmaznak, az oszlop-potenciál megengedett független érintési feszültségére az I., II. és III. szintek szerinti határértékek javasolhatók.



4. ábra: Az oszloppotenciál megengedett független érintési feszültség határértékének az I., II. és III. szintjei.

- I. szint (a földelési szabvány (2) szintjének felel meg): játszóterek, uszodák, kempingek, szabadidős létesítmények és hasonló helyek, ahol emberek gyűlhetnek össze meztelen lábbal. Az emberi test ellenállásán kívül járulékos ellenállásként csak a tartózkodási pont minimális ellenállása szerepel (750 Ω földhöz).
- A II. szint (a földelési szabvány (5) és a szabadvezeték szabvány D3 szintjeinek felel meg): olyan beépített helyek, ahol feltételezhető, hogy az emberek cipőt viselnek és ahol nagy fajlagos ellenállású felszíni réteg (aszfalt, kavics stb.) van, mint a közutak, parkolóhelyek stb. (4000 Ω).
- III. Olyan kis látogatottságú külterületi helyek, ahol feltételezhető, hogy az emberek cipőt viselnek és az oszlopföldelés fém részeinek (csatlakozó sín) véletlenszerű közvetlen (fémes) érintése nem lehetséges. Ebben az esetben a feltételezett járulékos ellenállás 8500 Ω . Amelyből 5000 Ω a lábbeli, 750 Ω a tápponti „földelési ellenállás”. 2750 Ω a kézponti ellenállás bele értve az oszlop betontest járulékos ellenállását is.

2.10. Érintésvédelmi szabvány változás hatása az elosztóhálózatok fejlesztésére, üzemeltetésére

Fejlesztés során a következőket kell figyelembe vennünk

- Új előírások szükségesek a földelések kialakítására
- Új ágazati títüsterv és tervezési előírások szükségesek
- Talaj fajlagos ellenállás érték alapján méretezni kell a földeléseket
- Tervezői felelősség megnőtt
- Teljes váltás a védelmi filozófiában

Természetesen az üzemeltetők számára is komoly feladatokat határoznak meg az új szabványok

- Részletesebb nyilvántartás
- Üzemeltetési adatok meghatározása a tervezők számára
- Új előírások a földelések ellenőrzésére
- Mérési módszerek felülvizsgálata.
- Alkalmazási segédlet kidolgozása a hasonló esetek tervezéséhez.

2.11. Transzferpotenciál problémák a KIF hálózatokon [3]

A villamosenergia hálózatok kezelőinek biztosítani kell, hogy közép/kisfeszültségű transzformátorállomásokon egy közép-feszültségű földzárlat esetén a fellépő földzárlati áram ne okozzon a kisfeszültségű hálózatba történő áthatolásával a megengedettnél nagyobb igénybevételi feszültséget (U_1).

A megengedett igénybevételi feszültség: $U_1 = U_0 + \text{EPR}$

- ha a KÖF rendszer tartós földzárlatának időtartama $t > 5\text{s}$, akkor $U_1 = U_0 + 250\text{V}$
- ha a KÖF rendszer tartós földzárlatának időtartama $t \leq 5\text{s}$, akkor $U_1 = U_0 + 1200\text{V}$.

Ahol U_0 = fázisfeszültség, EPR = földpotenciál-emelkedés KÖF oldali hiba esetén.

Ennek eléréséhez szükséges, hogy a kisfeszültségű hálózat nullavezető rendszerének eredő földelési ellenállása általános esetben: $R_e \leq 0,5 \Omega$ legyen. Ezzel biztosítható, hogy a kisfeszültségű hálózaton a nullavezető potenciál emelkedése üzemzavar esetén se lehessen nagyobb, mint 50 V. A fentiekkel összefüggő kérdés ezért a KIF hálózat csillagpont rögzítés helyének megválasztása:

Az általános szabály a közép-feszültségű rendszer (KÖF/KIF állomás) földelésének, és a kisfeszültségű hálózat (csillagpont) nullavezető rendszerének összekapcsolása. [2]

- Minden olyan helyen szükséges a transzformátorállomás földelésének és a kisfeszültségű hálózat üzemi nulla (PEN) vezetője földelésének **szétválasztása, ahol idegen feszültség áthatolása következtében veszélyes transzferpotenciál, érintési és lépésfeszültség megjelenésére lehet számítani.** (Pl. nagyvasúti villamos vontatás esetén.)
- Szét kell választani a transzformátor állomás primer oldali és csillagponti földelését, amikor annak **földelésén az EPR (földpotenciál-emelkedés) meghaladja a megengedett határértéket.** Gyakorlati szabályként kimondható, hogy a különválasztás akkor szükséges, ha a KÖF/KIF transzformátorállomás KIF hálózat nullavezető rendszerének eredő földelési ellenállása $R_e \leq 0,5 \Omega$ nem biztosítható.

- A szétválasztás oly módon történhet, hogy az áramkörök nullavezetőjének a földelése (a csillagpont földelése) a transzformátor állomás utáni első oszlopon, minimum 20 m távolságra legyen.

További fontos kiegészítések a nullavezető rendszer eredő földelési ellenállása $R_e \leq 0,5 \Omega$ alatti értékének elérésére:

- A kisfeszültségű földkábelek fém árnyékolását (ha van) a kábel minden kivezetésénél össze kell kötni – a fő földelő kapcsán keresztül – a nullavezetővel.
- Azokon a helyeken, ahol globális földelési rendszer lehetősége adott, (pl. városi, ipari környezet), ott a kisfeszültségű hálózat üzemi nulla (PEN) vezetőjét egyesíteni kell a globális földelő hálózattal, a lehető legkisebb hibafeszültség kialakulása érdekében. Az egyesítést a fogyasztói csatlakozások PEN, vagy PE sínjén lehet elvégezni a fő földelő-kapcsán keresztül.
- Az épületek alapozásához használt betonba ágyazott, szabványelőírásnak megfelelő alapozásföldelők PEN, illetve a PE sínre való bekötése javasolt.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Az új szabványok megjelenése jelentős feladatot ró a tervezőkre, üzemeltetőkre. Ezért szükségesnek láttuk egy ún. alkalmazási segédlet kidolgozását, amelyet a Budapesti Műszaki egyetem szakembereivel közösen dolgoztunk ki [3].

Az alkalmazási segédlet szükségességének indoklása:

- jelenlegi földzárlat kiválasztási megoldás esetén nem tudjuk tartani az érintési feszültség szabványnak megfelelő értékét,
- a jelenlegi földelésjavításnál alkalmazott földelők anyagukban nem felelnek meg az új szabvány előírásainak,
- nem tisztázott hogyan üzemeltethető együtt egy meglévő (régi szabványnak megfelelő) és egy új létesítésű vezeték,
- nem tisztázott milyen mértékű beavatkozásnál (pl. oszlopcsere, földelésjavítás, új leágazás létesítése egy meglévő állomásból, meglévő vezetéken új leágazás létesítése, stb.) kell áttérni az új szabványnak megfelelő előírásokra.

Legfontosabb előnyök az alkalmazási segédlet bevezetésével:

- tervezési, üzemeltetési segédlet az üzemeltetők, tervezők számára,
- alkalmazásával egyszerűsödik a földelésjavítás, mivel kockázat alapúvá válik az áramütés elleni védelem, azaz olyan helyen, ahol a valószínűsége kicsi annak, hogy valaki ott tartózkodjon, amikor fellép a földzárlat (pl. szántóföld, erdő stb.) nem kell földelést javítani. Ez jelentős élőmunka és költség megtakarítást eredményezhet,
- új anyagú földelőrudak alkalmazásával az ellenőrzés és javítás egyszerűsödhet (ehhez a gyakoriságot és az ellenőrzés módját meg kell határozni),
- új védelmi filozófia bevezetésével elhagyható a földzárlati áramnövelés (FÁNOE ellenállás) az állomásokban, a védelmi idők rövidülésével betarthatók a szabványban előírt érintési feszültségek, csökken a védelemhez szükséges földelési ellenállás értéke,
- földzárlattartási előírások is egyszerűsödnek.

Természetesen fontos feladat mind az üzemeltetők, tervezők, kivitelezők oktatása, az új szabványnak megfelelő gondolkodásmód kialakítása.

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MSZ EN 50522:2013, MSZ EN 50341:2013, MSZE 50341-2:2014, MSZ EN 61936:2016 szabványok
- [2] DU_06-15 Érintésvédelmi szabályzat ELMÜ-ÉMÁSZ
- [3] Útmutató a nagyfeszültségű hálózatokra vonatkozó új szabványok alkalmazására MEE tanulmány 2015.

NAGYFESZÜLTSGŰ ELOSZTÓHÁLÓZATI BERENDEZÉSEK ÖREGEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF THE AGING OF HIGH VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK EQUIPEMENTS

HEGEDŰS Henriett¹, BODNÁR István²

¹BSc villamosmérnök hallgató, heni.hegedus951217@gmail.com

¹Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

²Ph.D., egyetemi adjunktus, kutatócsoport vezető, vegybod@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A tanulmány a nagyfeszültségű hálózatokat mutatja be, azon belül ezek várható élettartamát, öregedési folyamatát kívánja reprezentálni. Bemutatva a számítógépes szimulációk, és a valós adatok közötti eltéréseket, meghibásodások valószínűségét, illetve becsült élettartamukat. Továbbá ezek gazdasági jelentőségét, mikor is lenne célszerű ezen eszközön felújítása, karbantartása, esetleg teljes cseréje.

Kulcsszavak: hálózatok öregedése, élettartam, gazdasági megtérülés

Abstract: The study shows how high voltage systems work, including the duration of their lives and it tries to represent their aging. It represents the differences between the simulations and real data, highlights the possibility of the malfunctions, moreover their estimated lifetime. Furthermore their economic relevance, when they should be improved or replaced completely.

Keywords: aging of networks, lifetime, economic relevance

1. BEVEZETÉS

A villamos energia használata a mai életünk nélkülözhetetlen része lett. A villamos energia előállítása nem túl bonyolult, de felhasználása annál sokrétűbb. A villamos energiát transzformátorok segítségével, tetszőleges feszültség szinten lehet transzformálni, ezzel csökkentve az átviteli, szállítási veszteségeket. Az erőművek által termelt villamos energiát, távvezetékek segítségével juttatják el a fogyasztókhoz. Elhelyezkedésüktől függően, megkülönböztetünk szabadvezetéseket, illetve kábelhálózatokat. Ma világszerte a háromfázisú, háromvezetékes, váltakozó feszültségű rendszer terjedt el. Szabványos nagyfeszültség szintek Magyarországon a 120 (132) kV-os feszültség szintű hálózat, amely a főelosztóhálózatot építi fel. Feladata a közép feszültségű hálózatok táplálása. A 400 (440) kV-os feszültség szint az országos alaphálózatot alkotja. E hálózatra csatlakozik a főelosztóhálózat, továbbá ide táplálnak az alaperőművek. A nemzetközi kooperációs hálózat a főelosztó- és az alaphálózaton keresztül köti össze, az egyes nemzetek villamos energia rendszerét. Legtöbb esetben a 120 kV-os, a 400 kV-os és a 750 kV-os feszültség szintek tartoznak ide. A közép feszültségű hálózatokat a jellemzően 10 (11) kV-os kábelhálózat és a 20 (22) kV-os szabadvezetési hálózat alkotja. Egyes helyeken még ma is üzemelnek a 35 kV-os szabadvezetési hálózatok. A közép feszültségű hálózatok alkotják az elosztóhálózatokat.

1.1. Nagyfeszültségű hálózatokról röviden

A kezdetekben, 1935-ben a városok teljes mértékben, míg a falvak, községek alig 30%-a volt villamosítva. Magyarországon legnagyobb ütemben az 1970-es és 80-as években helyeztek üzembe nagyfeszültségű hálózatokat. Ezen hálózatok hurkolt vezetékrendszerűek, amivel így igen nagyfokú üzembiztonság érhető el, tartós áramszünet nélkül, és a karbantartási munkák is elvégezhetők üzemszünet nélkül. A legtöbb nagyfeszültségű alállomás legalább kétoldalú ellátással van kialakítva, vagyis a táppontok, és a fogyasztói helyek között egyidejűleg több, különböző összeköttetés valósul meg. A villamos hálózatok frekvenciája 50 Hz, de bizonyos országokban ez eltérő lehet. (Az Egyesült Államokban 60 Hz a hálózat frekvenciája.)

2. NAGY- ÉS KÖZÉPFESZÜLTSGŰ HÁLÓZATOK ELEMEI

Mind a nagy-, mind a közép-feszültségű hálózatok tartalmazznak erőátviteli berendezéseket, valamint a működtetésükhöz szükséges kiegészítőket, mint védelmi és mérési eszközöket. Az alábbiakban olvasható egy rövid felsorolás a főbb berendezésekről, eszközökről.

- Transzformátorok: különböző feszültség szinteket kapcsolnak össze.
- Vezetékek: fő feladatuk a villamos erőátvitel.
- Szigetelők: szabadvezetékelnél gyakran használják, a vezetékek földtől és oszlopokon egymástól való elszigetelés a feladata.
- Oszlop: feladata a vezetékek tartása, feszítése, és az oszlopra szerelt egyéb berendezés (szigetelők, oszloptranszformátorok, kapcsolók) tartása.
- Megszakítók: (zárlati)áram vezetése, megszakítása, és visszakapcsolása.
- Szakaszolók: a megszakított áramkörben az átütési szilárdság biztosítása, az áram útjának kijelölése, üzemi áram korlátlan ideig történő vezetése, terhelés ki-be kapcsolása tilos.
- Áramváltók: a hálózaton folyó áramok átalakítása mérhető értékre.
- Feszültségváltók: nagy váltakozófeszültséget alakít át közvetlenül mérhető értékűre.
- Túlfeszültséglevezető: fő feladata a hálózat védelme, pl. villámcsapás ellen.

3. HÁLÓZATOK ÖREGEDÉSÉNEK ELSŐDLEGES OKAI

A kábelek folyamatos igénybevétele, az egyre nagyobb terhelés hatása, illetve a környezeti tényezők nagymértékben befolyásolják a vezetékek élettartamát. Az öregedés számos formában észlelhető, ennek foka függ az időtartamtól, anyagminőségtől, használatától, és a karbantartás gyakoriságától, illetve az eredeti eszköz állapotától és minőségétől. Az 1. ábrán látható, hogy ezen tulajdonságok a legmeghatározóbbak az öregedésnél. Ha az eszközünk újonnan lett beszerezve egy megbízható gyártótól, akkor akár tíz évvel hosszabb élettartamot is elérhetünk, mintha egy olcsóbb anyag/gyártásminőségű, vagy kevésbé ismert forrástól szereznenk be a szükséges eszközöket. Látható, hogy a karbantartás minősége is befolyásolhatja az eszközünk élettartamát. Célunk, hogy minőségi karbantartással, az eszközök eredeti funkcióit továbbra is képesek legyünk fenntartani.

Nem elhanyagolható annak kiküszöbölése, hogy se a gyártás se a telepítés során ne kerüljön víz a szigetelés belsejébe, ami zárlatot eredményez. Tilos a vezetékeket a megengedett szabványnál kisebb ívben hajlítani, ugyanis ez a vezetékszakító szilárdságát nagymértékben csökkenti. A hálózatokat öregedését csekély mértékben mi is tudjuk befolyásolni, rendszeres karbantartással megelőzhető a korrózió kialakulása, vagyis a kültéri eszközök rozsdásodása. Ritkább esetekben előfordul hirtelen öregedés, pl. extrém időjárás változás, hirtelen túlterhelés.



1. ábra: Öregedést befolyásoló főbb tényezők

4. ÖREGEDÉS KIKÜSZÖBÖLÉSÉNEK LEHETSÉGES MÓDJAI

Ha egy öregedő eszközt hosszútávon nem tartunk karban, vagy ha nem cseréljük ki a meghibásodott eszközt, akkor annak súlyos anyagi és gazdasági következményei lehetnek. A legköltségghatékonyabb megoldás az élettartam-hosszabbítás, vagyis a rendszeres karbantartás.

A leggyakrabban alkalmazott eljárás a megújítás, melynél lehetőség van a teljes berendezés cseréjére, vagy a berendezés néhány alkatrészének kicserélésére.

Legnagyobb beruházást a teljes felújítás igényel, ugyanis műszaki és gazdasági szempontokat is figyelembe kell venni. A túl korai csere pénz pazarlással jár, hiszen nem lett kihasználva az alkatrész teljes élettartama, a túlkésői csere magas költségekkel járhat, a hálózati meghibásodások és kimaradások miatt, illetve további hálózatok teljesítménycsökkenése várható.

5. WEIBULL ELOSZLÁS

Az élettartam előrejelzésére alkalmazott leggyakoribb módszer, a Weibull valószínűségi eloszlás, melyet Waloddi Weibullról dolgozott ki az 1950-es évek elején. Ezt a módszert alkalmazzák legtöbbször előrejelzések szimulálására, előfordulási hibák becslésére.

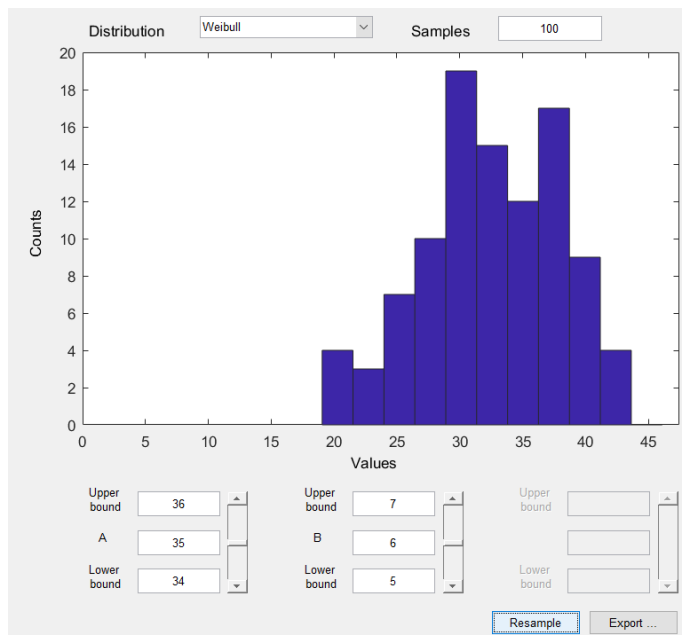
A weibulli sűrűségfüggvény általános alakja:

$$f(x; \lambda; k) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} \quad x \geq 0 \quad (1)$$

ahol:

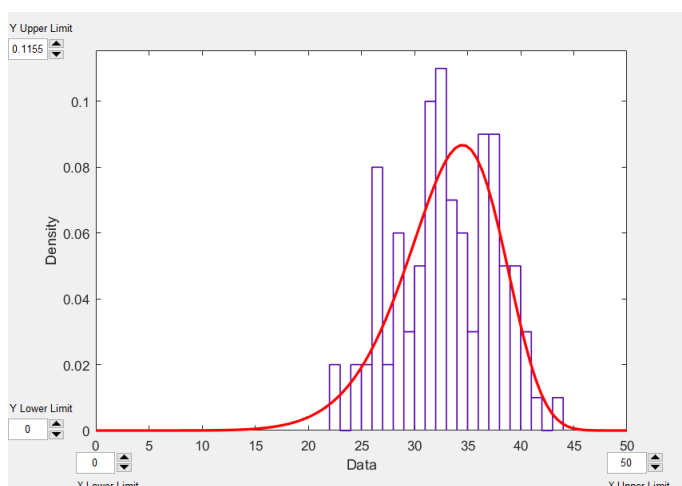
- $k > 0$ alakparaméter (leírja az adatok eloszlásának módját) és $\lambda > 0$ skálaparaméter (megmutatja, hogyan terjednek ki az adatok),
- $k < 1$, akkor a meghibásodások gyakorisága csökken,
- $k = 1$, a meghibásodások gyakorisága időben állandó,
- $k > 1$, a meghibásodások gyakorisága időben növekszik.

A 2. ábra a weibulli eloszlást szemlélteti Matlab szimuláció segítségével a megadott képlet alapján. Random függvény generátor segítségével 100 különböző adatot hoztunk létre, majd λ -nak beállítottunk alsó és felső határt, vagyis az ábrából leolvasható 34, és 36 értéket adtunk neki. Majd megadtuk a k értéknek is felső és alsó határt, azaz az 5, és a 7 értéket. Így az ábrából leolvashatóvá válik, hogy a berendezések, kiugró magasságban 30 év múlva mennek tönkre, és legkésőbb 45 év múlva az általunk generált 100. „berendezés” is tönkremegy.



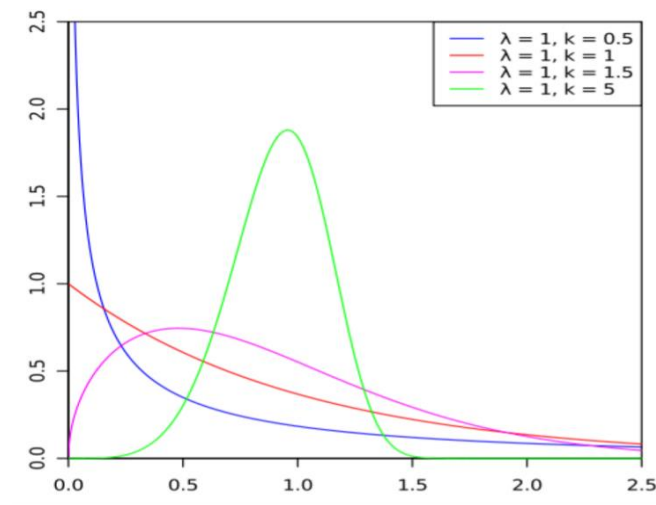
2. ábra: Weibull eloszlásfüggvény különböző adatokkal

A 3. ábrán szintén Matlab környezetben újból generáltunk 100 különböző adatot, ugyanúgy a λ értékének 35-öt adtunk, és a k értékét 6-nak vettük. Itt is megfigyelhető, hogy a legtöbb meghibásodás 32 év körül várható, illetve kiemelkedően nagy meghibásodás várható 27 év környékén. Az ábrára később ráillesztettük a normális weibull-i eloszlásfüggvényt.



3. ábra .: Weibull eloszlásfüggvény, és normális görbe illesztéssel

A 4. ábra szemlélteti, a weibulli sűrűségfüggvényt, melyen látható, hogy ha a $k < 1$ értéket vesz fel (kék vonal), akkor az eszköz meghibásodásának a valószínűsége az idő előrehaladtával csökken. Az öregedések szimulálásával a $k > 1$ értéket használjuk, ugyanis ilyenkor az idő függvényében nő a meghibásodások száma.



4.ábra: Weibull sűrűségfüggvény különböző paraméterek estén

A Weibull-i eloszlásfüggvény képlete:

$$F(x; \alpha; \beta) = 1 - e^{-(x/\beta)^\alpha} \quad (2)$$

ahol:

- x – az az érték, amire a függvény értékét ki kell számolni. Megadása kötelező.
- α – az eloszlás paramétere. Kötelező megadni az értékét.
- β – az eloszlás paramétere. Kötelező megadni.

A 5. ábrán látható az eloszlásfüggvény, amely megmutatja, hogy adott érték mellett, mekkora a valószínűsége annak, hogy az elem már meghibásodott. Itt is látható, hogy ha a $k > 1$ akkor a legnagyobb annak a valószínűsége, hogy az adott eszköz meghibásodik.

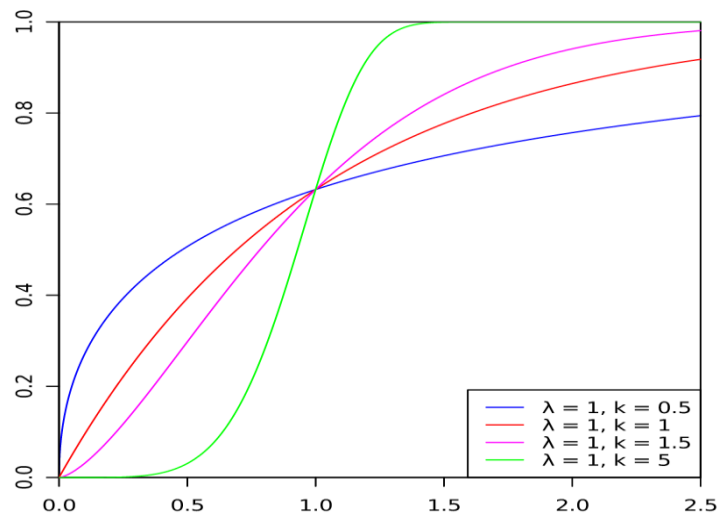
A Weibull hibaráta függvény képlete:

$$h(x, [\lambda, k]) = \frac{f(x)}{1 - F(x)} \quad (3)$$

ahol:

- $f(x)$ – az eloszláshoz tartozó sűrűségfüggvény,
- $F(x)$ – eloszlásfüggvény.

Hibaráta függvénnyel szemléltethetjük, hogy adott érték mellett, az elemek hány százaléka hibásodik meg.



5. ábra: Weibull eloszlásfüggvény különböző alakparaméterek esetén

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Magyarországon a legtöbb hálózati oszlop telepítése az 1900-as évek közepe, vége felé történt meg. Ezek élettartama lassan a vége felé jár, így komoly stratégiát kell kidolgoznunk, hogy mikor is válik szükségessé ezek felújítása, illetve, hogy gazdaságosan megoldható-e a karbantartása, esetlegesen a cseréje. Pontosan azonban nem tudjuk megbecsülni, hiszen látható volt, hogy számos külső, vagy akár hirtelen hatás érheti a rendszert. Úgy gondoljuk, hogy legpontosabb közelítéssel a Weibull eloszlás adja meg a hálózati eszközök, és az oszlopok életkorát. Matlab környezetbe illesztve a megadott paramétereket, pontosan közelítve megkapjuk a várható élettartamot. Véleményünk szerint a leghasznosabb felújítási forma a megújítás, mellyel nem cserélünk le mindent új egységre, így a működőképes berendezésen tudunk spórolni, a hibás eszközöket pedig megfelelő karbantartással, javítással, vagy szükségyszerű kicserélésével javítjuk.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **PÁL, GY.:** *A Magyar villamosenergia-rendszer.*
- [2] **FAZEKAS, T.:** *Elosztóhálózati berendezések szimulációjának vizsgálata (TDK).* 2010.
- [3] *ENERGIAPEDIA.HU/hogyan-jut-el-az-aram-a-lakossaghoz.*
- [4] *EN.WIKIPEDIA.ORG/wiki/Weibull_distribution.*
(Weboldalak megtekintésének dátuma: 2018. január)

DECENTRALIZÁLT ENERGIATERMELÉS HATÁSA AZ ENERGIARENDSZEREKRE, KÜLÖNÖSEN AZ ELOSZTÓHÁLÓZATRA

THE IMPACT OF DECENTRALIZED POWER PRODUCTION ON THE ENERGY SYSTEMS, IN PARTICULAR THE DISTRIBUTION NETWORK

ORLAY Imre

műszaki szakértő, imre.orlay@emasz.hu
ÉMÁSZ Hálózati Kft 3525 Miskolc Dózsa György u. 13. +36-20-940-3160

Kivonat: Az elmúlt időszak hálózati kihívásainak egyik oka, hogy napjainkban egyre nagyobb teret hódítanak a háztartási méretű kiserőművek, valamint a villamos autók. "A háztartási méretű kiserőmű olyan, a kisfeszültségű hálózatra csatlakozó erőmű, melynek csatlakozási teljesítménye egy csatlakozási ponton sem haladja meg az 50 kVA-t." [1] Hazánkban a legelterjedtebb háztartási méretű kiserőmű (HMKE) a fotóvoltaikus termelő egység, vagyis a napelem. Az elmúlt évek adatai alapján a HMKE-k száma évről évre megduplázódott. Az elterjedésüket az okozza, hogy a fogyasztók ettől várják energiaellátási költségük csökkentését, másrészt az ellátás biztonságát.

Kulcsszavak: napelem, háztartási méretű kiserőmű (HMKE). VER, KÁT, METÁR, Network kód.

Abstract: One of the reasons of the network challenges of the recent period is that the number of small household power stations and electric cars is growing. "Small household power station is a power plant connected to a low-voltage power supply with a connection power not exceeding 50 kVA at a connection point." „Household-size power plant is such power plant connected to the low voltage network, the connection capacity of which does not exceed 50 kVA on any connection point. [1] In Hungary, the most widely used household power plant (HMKE) is the photovoltaic production unit, or solar cell. Based on data from recent years, the number of HMKEs has doubled from year to year. The reasons for their growth include that the consumers expect them to reduce their energy costs, and secondly, the security of supply.

Keywords: solar panel, household scale small power plant, VER, KÁT, METÁR, Network code

1. BEVEZETÉS

A háztartási méretű kiserőművek hálózati csatlakoztatása inverteren keresztül valósul meg. Csatlakoztatásuk számos feltételhez kötött: ezek között szerepelnek szükséges védelmi megoldások, a csatlakoztatható maximális teljesítmény (egyfázisú csatlakozás esetén max. 3 kVA lehet), az inverter típusa, a hálózattal együtt szigetüzemben nem működhet, a berendezés csak fixen csatlakoztatható a mért fogyasztói hálózathoz. A háztartási méretű kiserőművek hálózati visszahatásai közé tartoznak a feszültségviszonyok változása, a harmonikus zavar szint növekedése, valamint az aszimmetria növekedése. A megengedett feszültség emelkedés induláskor max. 5 % lehet. A növekvő penetráció következményeképpen egyre nagyobb hatást gyakorolnak a közcélú villamos elosztóhálózatra. A szükséges védelmi megoldásokat ma már UCTE szintű szabályozás határozza meg. Az előírásokat ún. Network Kód -ok tartalmazzák. Az utóbbi időben megjelentek a nagyobb egységteljesítményű napelemes kiserőművek a közpfeszültségű elosztóhálózatokon is, ami újabb komoly kihívást jelent a hálózat üzemeltetők számára.

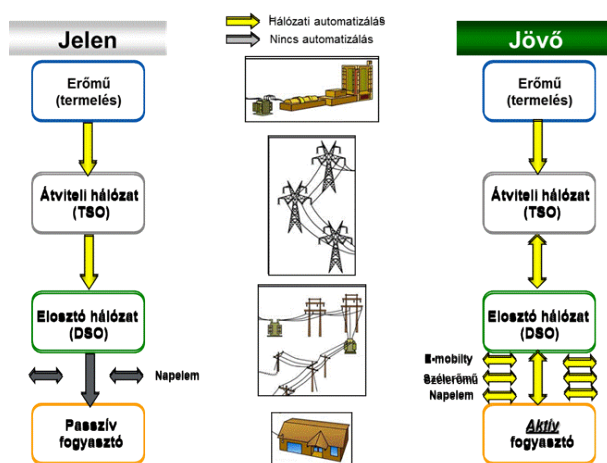
Az elosztott, megújuló alapú áramtermelés az értéklánc minden szereplőjére hatással van. Az elosztóhálózatokra telepített napelemes rendszer penetráció növekedése világszerte indokoltá tette a napelemes rendszerek által a hálózatra gyakorolt negatív hatások vizsgálatát és különböző megoldások keresését ezeknek a hatásoknak a csökkentésére.

2. A VILLAMOSENERGIA RENDSZER JELENE ÉS JÖVŐJE

A villamosenergia-termelésben az elmúlt évszázadot a központosított energiatermelés jellemezte. Ez változott meg napjainkban azzal, hogy egyre nagyobb arányban jelenik meg az elosztott energiatermelés. A vertikálisan működő villamosenergia-rendszereket a centralizált energiatermelés jellemezte. A megtermelt energia négy feszültség szinten (alap-, főelosztó-, KÖF és KIF elosztóhálózat) került szállításra, elosztásra. Ez a szállítás természetesen a hálózat veszteségben is megjelent. A fogyasztók passzív magatartást tanúsítottak, a rendszer irányítása jól szabályozottan, három szinten történik napjainkban is (MAVIR, KDSZ, ÜIK).

A villamosenergia-rendszer struktúrája az említett vertikális elrendezésből kezd átalakulni horizontális elrendezésűvé amiatt, hogy az energiatermelés nem csak centralizált energiatermelő egységekben valósul meg. A villamosenergia-hálózat átalakulását az 1. ábra szemlélteti. A változás legfontosabb jellemzői, aktív fogyasztók, a rendszerirányítás kaotikus. Ez természetesen még inkább szükségessé teszi a jól működő rendszerirányítást.

Komoly feladat a rendszerirányítás szempontjából a megújuló energiából termelt villamosenergia becslése, ami erősen függ az időjárási hatásoktól.



1. ábra: Villamosenergia rendszer jelene és jövője

3. MEGÚJULÓ ENERGIAFELHASZNÁLÁS TÁMOGATÁSA

Milyen ösztönzők hatnak a megújuló energiafelhasználás növekedésére? Nyilván szerepet játszik a klímahatástól való félelem, a CO₂ gázok kibocsátásának csökkentési igénye, azonban támogatások nélkül nem várható el tömeges elterjedés, a megújuló energiából történő villamosenergia termelés, támogatási rendszer nélkül nem versenyképes. Milyen támogatási rendszerek működnek Magyarországon:

3.1. Kötelező átvételi rendszer

A megújuló energiaforrásból és hulladékból történő villamosenergia-termelés ösztönzésének egyik hazai eszköze volt a kötelező átvételi (a továbbiakban: KÁT) rendszer, amelyben a villamos energia a piaci árnál magasabb, jogszabályban meghatározott átvételi áron értékesíthető. A támogatott átvételi ár különbözik a megújuló energiaforrásból, illetve hulladékból termelt villamos energia esetében. Az átvételi árak differenciáltak a méret, a jogosultság megszerzésének időpontja, a zónaidő, valamint részben a technológia alapján.

A KÁT rendszer keretében átvehető villamos energia mennyiségének és az átvétel időtartamának meghatározása biztosítja, hogy a termelő legfeljebb a befektetés megtérüléséig kaphasson támogatást. Jogszabályi változások miatt 2016. december 31-ét követően benyújtott kérelemre új KÁT támogatási jogosultság már nem állapítható meg.

3.2. Új támogatási rendszer 2017-től

2017. január 1-jével elindult a megújuló energiaforrásból előállított villamosenergia támogatására szolgáló METÁR rendszer. A METÁR keretében a villamos energiát megújuló energiaforrásból előállító erőművek támogathatóak. A vegyes tüzelésű, illetve hulladékot égető erőművek csak a megújuló energiaforrásnak minősülő részre kaphatnak támogatást.

Támogatási kategóriák:

- Kötelező átvételi jogosultság (METÁR KÁT) 0,5 MW alatti erőművek részére igényelhető,
- Az 1 MW alatti erőművek esetén (a szélerőműveket kivéve) prémium típusú támogatásra való jogosultságot lehet igényelni.
- A METÁR keretében a legalább 1 MW villamos teljesítőképességű erőműben vagy szélerőműben termelt villamos energiára pályázati eljárás keretében lehet támogatást elnyerni.

3.3. Szaldó elszámolás

A legkisebb méretű termelő berendezések az ún. háztartási méretű kiserőművek (HMKE), esetében az elszámolás a közcélú hálózathoz vételezett és a hálózatba betáplált energiamennyiségek szaldója alapján, egy speciális mérőberendezés (ad-vesz mérő) segítségével történik. Ezeknek az erőműveknek a támogatása a „szaldó” elszámoláson keresztül érvényesül. A fogyasztó csak a termeltet meghaladó vételezésért fizet.

4. ELOSZTOTT ENERGIATERMELÉS

Az IEEE definíciója szerint: „Az elosztott energiatermelés az energiatermelés egy olyan formáját képviseli, melynek során az energia előállítása a központosított energiatermelő egységekhez viszonyítva számottevően kisebb létesítményekben valósul meg. Ezeknek az erőműveknek a villamos energia rendszer bármely pontjához való csatlakoztatása megvalósítható” [2].

Az elosztott energiatermelő egységek felosztása az energiaforrásuk szerint:

- megújuló energiaforrással rendelkezők: ide sorolhatók a szélturbinák, napelemes cellák, üzemanyagcellák, kis vízerőművek, biomassza és geotermikus forrású kiserőművek;
- nem megújuló energiaforrással rendelkezők: belsőégésű motorok, mikro gázturbinák.

Az International Energy Agency (IEA) megállapítása szerint 5 fő tényező határozza meg az elosztott energiatermelés fejlődését [2]:

- az elosztott energiatermelő technológiák fejlődése
- új átviteli vezetékhálózatok építése iránti kényszer
- növekvő fogyasztói igény a megbízható villamosenergia-szolgáltatásra
- az villamosenergia-piac liberalizációja
- klímaváltozással kapcsolatos aggodalmak

Az elosztott energiatermelő egységek felosztása szabályozhatóságuk alapján:

- kontrollálható energiaforrással működő egységek, ide tartoznak az olyan berendezések, amelyek működtetése üzemanyaggal, illetve primer energiaforrással történik, mint például: fosszilis üzemanyag alapú generátorok, üzemanyag cellák, mikro turbinák, geotermikus hővel, illetve biomasszával működő kiserőművek;
- nem kontrollálható energiaforrással működő egységek, mint például a napelemes cellák, szélturbinák, illetve a kis vízerőművek.

A hálózatra csatlakoztatás alapján is különböző típusokba sorolhatók az elosztott energiatermelő egységek:

- közvetlenül hálózatra kapcsolhatók szinkrongenerátorok segítségével, ide sorolhatók például a gőz-, illetve a gázturbinák is,
- nem közvetlenül csatlakoztathatók a hálózatra. Ezek között vannak azok, amelyek DC áramot állítanak elő ilyenek például a napelemes cellák, illetve a hálózati AC 50 Hz-es áramtól eltérő frekvenciájú áramot előállító mikro turbinák és számos szélturbina típus. Ezeknek a típusoknak a konstans frekvenciájú 50 Hz-es hálózatra való csatlakoztatását teljesítményelektronika segítségével valósítják meg.

A napelemes rendszerek méretük alapján három különböző kategóriába sorolhatók:

- kis napelemes rendszerek, amelyeknek a teljesítménye 10 kW, vagy kevesebb
- közepes napelemes rendszerek, amelyeknek a teljesítménye 10 kW és 500 kW közé sorolható
- nagy napelemes rendszerek, amelyeknek a teljesítménye meghaladja az 500 kW-ot

Az első két kategóriát általában a kis- és középfeszültségű elosztóhálózatokra, míg az 500 kW teljesítményt meghaladó rendszereket általában a 132 kV-os főelosztó hálózatra csatlakoztatják.

4.1. A megújuló energiatermelés hatása a rendszerirányításra

Az igazi problémát a valósidejű adatszolgáltatás hiánya okozza. A nyári csúcsterhelésben ez ma mintegy 100 MW bizonytalanságot jelenten a magyar energiarendszerben [3].

Az időjárástól függő termelés a magyar villamosenergia-rendszer üzemirányítása szempontjából több kihívást tartogat, ezért fel kell készülni az időjárásfüggő menetrendezésre.

A fotóvoltaikus termelők elterjedése kapcsán felmerülő alapvető kérdések a magyar villamosenergia-rendszerre vonatkozóan:

- Szabályozhatóság és tartalékigény biztosítása;
- Fotóvoltaikus termelők csatlakozási feltételeinek rendezése.
- Bizonytalanságok, ingadozások kezelése.
- Tárolások kérdése

Német tapasztalatok a megújuló alapú termelés hálózatra gyakorolt hatásáról [5].

- A nagymennyiségű hely- és időfüggő termelésre a hálózat nem volt felkészülve
- A volatilitás nem csak a német, de a környező országok rendszerirányítói számára is problémát jelentettek, a rendszer megbízhatósága csökkent.
- A megújuló termelők jelentős százaléka az elosztóhálózatok szintjén található!

Ez utóbbi állítás miatt külön kell vizsgálni az elosztóhálózati hatásokat, hiszen a problémák itt fokozottan jelentkeznek.

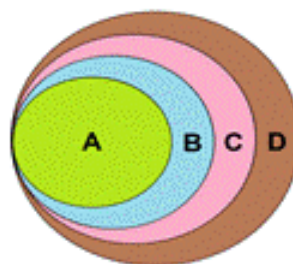
4.2. Network Kód

A Network Kód -okat megalapozó európai energiapolitikai célok [4]:

- Villamosenergia-ellátás biztonságának biztosítása
- Belső versenyképes villamosenergia-piac kialakítása
- Károsanyag kibocsátás csökkentése

A Network Kód -ok közül az RfG Network Kód a különböző típusú és teljesítményű (A,B,C,D) villamosenergia-termelő berendezések (PGM, VTB) számára fogalmaz meg követelményeket:

- Frekvenciastabilitás,
- Rendszer megbízhatóság,
- Rendszer-helyreállítás,
- Általános rendszerszintű követelmények:
 - Szabályozó rendszerek
 - Relévédelmi rendszerek kialakítása, beállítása
 - Információcsere,
 - Eseményrögzítés, zavarírás
 - Feszültség stabilitás
 - Robosztusság



A típus teljesítménye > 0,8 kW
B típus teljesítménye > 1 MW
C típus teljesítménye > 50 MW
D típus teljesítménye > 75 MW

A követelmények egyre bővülő, addicionális jelleggel vannak meghatározva: a bonyolultabb típusoknak a megelőző típusok általános műszaki követelményeit teljesítenie kell a számára megadott további követelményekkel együtt. A kategorizálásban az alábbi szempontokat vették figyelembe:

- A VER megbízható stabil üzeme
- Rendszerszintű követelmények megvalósítása
- Jövőbeni kihívások és a VER szabályozhatósága

A következő években – előre láthatólag – számításba kell vennünk a megújuló, időjárásfüggő termelő berendezések különös tekintettel a kisfeszültségű és közép-feszültségű elosztó hálózatokra csatlakozó kiserőművek nagymértékben növekvő részarányát.

4.3. Hálózatra csatlakozó napelemes rendszerek elosztóhálózatra kifejtett hatása

A napelemes rendszereknek pozitív hatásuk (megújuló energiafelhasználás) mellett számos negatív hatásuk lehet a villamosenergia-elosztóhálózatra, ezek a negatív hatások kifejezetten érezhetőek a napelemes rendszerek nagyarányú elterjedése esetén. Ezek a hatások általában a rendszerek elhelyezkedésétől, illetve a méretüktől is függenek [2]. Röviden tekintsük át ezeket a hatásokat.

4.3.1. Fordított teljesítményáramlás

A teljesítményáramlás alapján véve egyirányú folyamat, amely a nagyobb feszültségszintől áramlik a kisebb feszültség szint felé, nagyfeszültségű hálózatról a közép feszültségű elosztóhálózat felé. A nagyarányú napelemes termelés elterjedése alapján véve megváltoztathatja ezt az eddig ismert teljesítményáramlási folyamatot. Fennáll a lehetősége olyan eseteknek, amikor a nettó teljesítmény-kibocsátás meghaladja a nettó fogyasztási igényeket, ilyen esetekben a teljesítményáramlás megfordul és a közép feszültségű oldalról áramlik a nagyfeszültségű oldal felé. Ez a teljesítményáramlás a fogyasztókat ellátó szabadvezetékek, kábelek túlterhelését és nagymértékű veszteségeket okozhatnak. Változtatásokra lesz továbbá szükség az elosztóhálózaton található védelmi eszközök beállításában is. A fordított teljesítményáramlás hatással lehet továbbá az elosztóhálózatokon található automatikus fokozatszabályozással rendelkező transzformátorok működésére is.

4.3.2. Feszültség-emelkedés

A ma hagyományosnak mondott villamosenergia-rendszerben a közép feszültségű hálózatot sugarasnak tekinthetjük, a csomóponti feszültségek szabályozására kidolgozott módszerek is e tulajdonság figyelembe vételén alapulnak. A hálózatra tápláló elosztott termelőegységek megjelenése és elterjedése azonban alapjaiban változtatja meg a feszültség szabályozási elveket, hiszen a betáplálás hatására a termelőegységhez közeli csomópontok feszültsége akár nagyobb is lehet, mint a tápponti feszültség. Hasonlóan gondokat okozhat a tápponti feszültség szabályozásban a gyakoribb szabályozási kényszer, amely a szabályozók karbantartási ciklusidejét jelentősen lecsökkentheti. A napelemes rendszerek által okozott feszültségemelkedés a sugaras közép feszültségű elosztóhálózaton, az egyik legfontosabb hatások közé tartozik. A közép feszültségű elosztóhálózaton létrejövő feszültségemelkedés korlátozhatja a napelemes rendszerek elterjedését.

4.3.3. Feszültség szabályozási nehézségek

Nagyarányú napelemes rendszerek jelenléte nagymértékben megnehezíti a feszültség szabályozási feladatokat, abból kifolyólag, hogy az elosztott energiatermelő egységeknek köszönhetően több energia betápláló egység is található a hálózaton. Az elosztóhálózaton található feszültség szabályozó eszközök, mint például a söntkondenzátorok alapján véve egyirányú teljesítményáramlásra lettek tervezve és az alapfeladatuk a lecsökkent feszültség megemelése a megengedett tartományon belülre, ebből kifolyólag a fordított teljesítményáramlás szabályozási problémákat okoz.

4.3.4. Veszteségek növekedése

Az elosztott energiatermelő egységek alapján véve csökkentik a villamosenergia-rendszeren fellépő veszteségeket azáltal, hogy a termelőegységeket közelebb hozzák a fogyasztókhoz. Ez a veszteségcsökkenés mindaddig fennáll, amíg a rendszer normál teljesítményáramlással működik. Amennyiben a teljesítményáramlás megfordul a hálózaton, nagymértékű veszteségnövekedés következik be.

4.3.5. Aszimmetria, energiaminőségi problémák

Az energiaminőségi problémák az egyik legfőbb hatásai közé tartozik a nagyarányú napelemes rendszerek elterjedésének. A napelemes rendszerek villamosenergia-hálózathoz csatlakoztatásához használt inverterek feszültség aszimmetriát okozhatnak, harmonikus áramokat is bocsátanak ki a hálózatra, ezzel növelhetik a hálózat teljes harmonikus torzítását (THD).

4.3.6. Megnövekedett meddő teljesítményáramlás a hálózaton

Teljesítményelektronikával rendelkező elosztott energiatermelő egységek általában egységesen $\cos \varphi=1$ teljesítménytényezővel működnek, annak érdekében, hogy az előállított hatásos teljesítmény értékét maximalizálják. A napelemes rendszerek által előállított hatásos teljesítmény részben fedezi a fogyasztók hatásos teljesítmény igényét, de ezzel szemben a fogyasztók meddő teljesítmény igényét teljes egészében a hálózatnak kell biztosítania. A hálózaton továbbítandó hatásos teljesítmény értéke lecsökken, de a meddő teljesítmény igény továbbra is fennáll.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekből látható, hogy a növekvő decentralizált áramtermelés pozitív hatása mellett számos negatív hatással hat az energiarendszerre. Ezeket a negatív hatásokat Network Kód –ok bevezetésével igyekeznek csökkenteni. Az elosztóhálózati hatásokkal most szembesülünk. Ezért fontos az, hogy ezeket a hatásokat meghatározzuk, és különböző eszközökkel igyekezzünk minimalizálni. Ennek érdekében meg kell határoznunk azt a maximális teljesítményt, amelyet képes a hálózat „kiszabályozni”. El kell kezdenünk egy újabb üzemirányítási szint – Kisfeszültségű üzemirányítás- megfogalmazását annak érdekében, hogy a megtermelt energia akkor és ott kerüljön felhasználásra, amikor és ahol megtermeltük, csökkentve ezzel a hálózat veszteséget.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Villamosenergia törvény 2007.
- [2] **TÓTH, A.:** *Feszültség szabályozási lehetőségek a közép- és nagyfeszültségű elosztóhálózaton nagymértékű napelemes energiatermelés elterjedtsége esetén.* Önálló labor dolgozat 2017
- [3] **FEHÉR, I.:** *PV termelésbecslés Üzemelő készítési főmunkatárs.* MAVIR-FTSZ KDSZ értekezlet Hernádvécse 2017.
- [4] **ZERÉNYI, J.:** *Villamosenergia-termelő berendezések hálózati csatlakozási követelményei.* ny. rendszerirányítási főmunkatárs előadása 2017.
- [5] **JÁSZAI, T.:** *Decentralizált áramtermelés hatásai az energiarendszerekre* METÁR Konferencia. Budapest, 2016. június 9.

VILLAMOS HÁLÓZATOK VÉDELMI MÓDJAI

PROTECTION METHODS OF ELECTRICAL NETWORKS

EGÉSZ Dávid¹, BODNÁR István²

¹Villamosmérnök BSc hallgató, egesz.david@gmail.com
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

²Ph.D., egyetemi adjunktus, kutatócsoport vezető, vegybod@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A tanulmány az alapvető villamos hálózati védelmeket mutatja be, a védelmek elméleti összefoglalásán keresztül. A villamos hálózatok védelmének célja, a nem megfelelő üzemállapotok észlelése, és megszüntetése a megfelelő beavatkozás használatával. Zárlat esetén hatalmas áramok lépnek fel a hálózaton, és a hálózati elemek hőmérséklete az átfolyó áramok négyzetével arányosan nő, ez a vezeték, illetve a hálózatra kapcsolt eszköz meghibásodásához, leolvadásához vezethet, amely súlyos anyagi károkat von maga után. Ezen problémák megelőzéséhez használják a cikkben leírt módszereket.

Kulcsszavak: védelmek, hálózat, áram, gyorsaság

Abstract: The study presents basic electrical network protection, through a theoretical summary of protection. The aim of the protection of electricity networks is to detect and eliminate inappropriate operating conditions by using appropriate intervention. In the event of a short circuit, large currents occur on the network and the temperature of the network elements increases in proportion to the flow currents, this may lead to failure or melting of the networked device causing serious financial damage. In the paper such methods are presented which are used to prevent these events.

Keywords: protection, electricity, network

1. BEVEZETÉS

Európa teljes villamos hálózata összeköttetésben áll, amely a mindennapjainkban létfontosságú szerepet játszik. Lényeges szempont tehát hogy mit teszünk ennek védelme érdekében. Védelem nélkül egy esetleges meghibásodás esetén egy ország maradhat villamos áram nélkül, de akár egész Európa hálózatát üzemképtelenné teheti. Védelem használata esetén viszont (helyesen megoldott védelemnél) nincsenek súlyosabb következmények, illetve anyagi károk.

2. A VÉDELMEKRŐL RÖVIDEN

A védelem alapfeladata a villamos hálózatok rendellenes üzemállapotának észlelése, illetve megszüntetése, amely üzemállapotok közül a rövidzárlat jelenti a legnagyobb fenyegetést, ezért a védelmek döntő többsége a rövidzárlatok megszüntetésére irányul. A megfelelően kivitelezett védelmi rendszer figyelembe veszi a probléma súlyosságát és ennek megfelelően cselekszik. Ezek mellett fontos a tartalék, és a fedővédelmek használata is. A tartalékvédelem az alapvédelmet pótolja, ha az alapvédelem működése meghibásodás miatt elmaradna. A fedővédelmek a védendő hálózatrész szomszédos védelmeit jelentik, amely akkor lép működésbe, ha az alap és a tartalék védelem nem működik. Ekkor egy nagyobb hálózatrész válik feszültségmentessé.

2.1 A szelektivitás és a gyorsaság

Valamely zárlat következtében létrejövő védelmi működés akkor szelektív, ha a védelem eredményeként a lehető legkisebb hálózatrész válik feszültségmentessé. A zárlat megszakításának gyorsasága döntő jelentőségű, mivel a zárlat fennállása alatt a hálózati hibahely roncsolódik. A zárlatok döntő többsége villamos íven át jön létre. Villamos ív esetén fellépő hőenergiát az (1) egyenlet írja le [1, 2]:

$$Q = I_z^2 R_{iv} t \text{ [Ws]}, \quad (1)$$

ahol:

Q	- a villamos hőteljesítmény [Ws]
I_z	- a zárlati hatására fellépő áramerősség [A]
R_{iv}	- a fellépő ív ellenállása [Ω]
t	- a zárlat fennállásának ideje [s]

Mivel az ív ellenállása függ a zárlati áram nagyságától ezért a következő összefüggés jelenik meg [1, 2]:

$$R_{iv} = \frac{K}{I_z^{1.4}} [\Omega], \quad (2)$$

ahol:

K - egy az ív hosszát is magában foglaló állandó.

A (2) egyenlet behelyettesítése után (1) egyenlet az alábbi alakot ölti

$$Q = K I_z^{0.6} t \text{ [Ws]}. \quad (3)$$

Az összefüggés rámutat a zárlati idő fontos szerepére, az ív hosszának függvényében. A képletekből kikövetkeztethető, hogy minél tovább fennáll a zárlat, annál nagyobb hőteljesítmény keletkezik a zárlatos szakaszon, mely hőteljesítmény roncsolja az adott szakaszt. Amikor a zárlat következtében a lehető legkisebb hálózati rész válik feszültségmentessé akkor szelektív működésről beszélünk, azaz lekapcsoljuk a zárlatos szakaszt a rendeltetésszerűen működő hálózati részekről. A szelektivitás és a gyorsaság egymásnak ellentmondó követelményekkel rendelkeznek, tehát az a védelmi rendszer, ami inkább gyors, az kevésbé szelektív, illetve, ami inkább szelektív, az lassú [2].

2.2 A védelmek érzékenysége, a relék

A relék olyan kapcsolókészülékek, amelyek egy előre megadott fizikai, többnyire villamos mennyiség meghaladására, túllépésére reagálnak. A működést jelentő elmozdulást két érintkező zárása, vagy nyitása okozza, ami befolyásolja az adott áramkör működését. Feladatuk az érzékelés és a parancsadás. Ennek értelmében minden relének legalább két, egymástól galvanikusan elválasztott áramköre, azaz 4 kapcsa van, melyből az egyik pár magába az áramkörbe kapcsolódó rész, míg a másik pár az adott mennyiséget érzékelő rész.

A relék fontos tulajdonsága a tartóviszony és az elengedési viszony. Tételezzük fel, hogy egy adott áramrelé 3A hatására szólal meg, és 2,5A esetében enged el, akkor a tartóviszonya 3/2,5, az elengedési viszonya pedig 2,5/3 [1].

Csoportosításuk szerint a relék lehetnek hagyományosak, illetve elektromechanikusak, azaz mozgó részt nem tartalmazó relék. Emellett csoportosíthatjuk őket működési elv (elektromágneses, indukciós, hőhatáson alapuló), illetve az érzékelt mennyiség szerint is (áramrelé, feszültségrelé, impedanciarelé).

3. VÉDELMI ALAPKAPCSOLÁSOK

3.1 Túláram-idő védelmek

A túláram védelem, ahogy a nevében is benne van, a túl nagy áramok elleni védelem, akár üzemszerű akár nem. Ha túláram lép fel, a relé tekercsén átfolyó áram olyan mágneses teret hoz létre, ami meghúzza a relé érintkezőjét, ezáltal zárja az áramkört, ami jelet ad az időrelé indító tekercsére, és kimegy a „ki” parancs [1, 2].

A túláram-idő védelmek késleltetése a következő lehet:

- az áram nagyságától függő,
- az áram nagyságától független,
- az áram nagyságától korlátoltan függő, azaz egy mértékig függő, azon túl független.

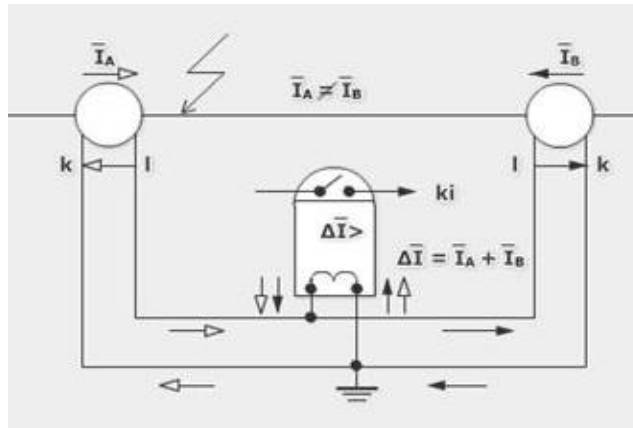
A védelem jellegzetessége, hogy egy adott I_n beállítható határáram értéke alatt a védelem nyugalmi helyzetbe marad. Túlterhelés hatására így a védelem nem szólal meg, ezzel elkerülve a téves működést, viszont az I_n értéket meghaladva a védelem megszólal, és lekapcsolja a hálózatot [1].

3.2.1 Különbözeti védelmek

A különbözeti védelem a védelemtechnika legszabatosabb módszere. Működési elve Kirchhoff I. törvényén alapul, miszerint az egy csomópontba befolyó és onnan elfolyó áramok előjeles összege zérus. A különbözeti védelmek célja két ellenőrzött pont közötti hálózatszakasz adott villamos jellemzőjének figyelemmel kísérése, és eltérés esetén a védelem működtetése.

Az 1. ábra megmutatja a kialakuló árameloszlásokat belső zárlat esetén. Ez esetben a zárlatot mindkét oldalról tápláljuk. A két oldalról befolyó, de ellentétes irányú, különböző nagyságú áramok nincsenek egyensúlyban, így a különbözeti áramrelé tekercsén áram fog átfolyani, amely meghúzza a relé érintkezőit és végül a védett szakasz mindkét végén „ki” parancsod ad a megszakítóknak [1].

A védelem abban az esetben is kialakítható, ha hibamentes állapotban a hibahelyeken folyó áramok fázishelyzete, és nagysága nem megegyező, ez a helyzet transzformátorok differenciálvédelménél.



1. ábra: Különbözeti védelem elve egy távvezeték egy fázisára, belső zárlat esetén

3.2.2 Nagyfrekvenciás szakaszvédelem

A különbözeti védelem hátránya, hogy nagy távolságokban nem használható, de nemzetközi szinten kialakítottak olyan védelmi eszközöket, amelyek információt kapnak a vezeték túlsó végén lévő értékeiről, ilyen a nagyfrekvenciás szakaszvédelem. Ez is egyfajta differenciálvédelem, melyet hosszú, akár több száz kilométeres vezetékszakaszokra alakítottak ki. Ha a szakaszon belül zárlat lép fel, megváltozik az áram jelalakja a két ellenőrző ponton, amely lekapcsolást eredményez [1, 2].

3.3 Impedanciaelvű védelmek

Olyan távolsági védelem, amely méri a hibahelyig terjedő hálózatrész impedanciáját, ezáltal a távolságot is. A működését a távolságból meghatározott impedancia határozza meg, ezt a távolsági védelem időlépcsős karakterisztikájával ábrázoljuk. Csak akkor történik védekezés, ha a zárlati áram a védelem fele folyik. Zárlat esetén az impedancia relé alaphelyzete (1. fokozat) megvizsgálja, hogy a mért impedancia az alaphelyzet alatt van-e. Ha igen, akkor ki parancsot ad, ha nem akkor a következő fokozatba kapcsol, végül az utolsó fokozatba direkt ki parancsot ad [2].

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Hogyan építsünk fel egy védelmi rendszert? Ez függ az adott hálózat topológiájától, elrendezéséről, vagy attól, hogy például egy generátort akarunk-e védeni. Függsz a távolságoktól, az áram, feszültség szintektől, mellékelt rendszerek alkalmazásától, (pl. visszakapcsoló automatika) miután a számítások elvégzésével megválasztottuk a nekünk megfelelő védelmet, be kell állítani a műszerek helyes értékeit, hogy elkerüljük a téves kapcsolásokat, és fokozottan ügyelni kell arra, hogy a védelmek működésképesek legyenek. Ezért érdemes próbakapcsolásokat végezni, esetlegesen szemrevételezni az adott eszközöket.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KEMÉNY J., MORVA GY., NOVOTHNY F.:** *Villamos Művek*, Nagy és társa nyomda és kiadó KFT, Budapest, 2006.
- [2] **BENDES T., BOROMISZA GY., KOVÁCS F., PÓKA GY.:** *Villamos energiarendszerek védelme és automatikája*, Műszaki könyvkiadó 1971.

NAPELEM VILLAMOS PARAMÉTEREINEK ALAKULÁSA HŰTÖTT ÉS HŰTÉS NÉLKÜLI ESETBEN

EXAMINATION OF SOLAR CELLS TEMPERATURE DEPENDENT BASED ON EXPERIMENTAL AND SIMULATION

BODNÁR István

Ph.D., egyetemi adjunktus, kutatócsoport vezető, vegybod@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport,
H-3515 Miskolc- Egyetemváros

Kivonat: A tanulmány a napelem-karakterisztikák hőmérsékletfüggését mutatja be, hűtött és hűtés nélküli napelemek laboratóriumi és szimulációs vizsgálatán keresztül. A napelemek által leadott villamos energia feszültségét és áramának erősségét a hőmérsékletváltozás jelentős mértékben befolyásolja. A hőmérséklet növekedésének eredményeként az üresjáratú és a terhelte napelem kapcsolófeszültsége egyaránt csökken, amely közvetlenül teljesítménycsökkenést és hatásfokromlást eredményez. A besugárzó fény intenzitásának növekedése lineárisan növeli a napelem által leadott áramot, aminek következtében a napelem hőmérséklete az átfolyó áramok négyzetével arányosan nő, amely végeredménye a feszültség csökkenés, azaz a hatásfok romlása. Mindezek kiküszöbölése érdekében szükséges a napelem hőmérsékletének csökkentése. A dolgozatban különböző hőmérsékleten végzett mérésekhez tartozó jellegzőgörbék kerülnek bemutatásra.

Kulcsszavak: napelem, hőmérsékletfüggés, karakterisztika, napszimulátor

Abstract: This paper presents the temperature dependence of solar cell characteristics by laboratory measurements and numerical simulation in case of cooled and non-cooled solar cells. The voltage and current level of electricity, provided by solar cells are highly influenced by the temperature change. The output voltage level of both an idle and a loaded solar cell is decreased by the temperature increase which also leads to power decrease and efficiency deterioration. The intensity increase of the irradiating light linearly increase the current, provided by the power cell which highly increase the temperature of the solar cell and that leads to voltage decrease and efficiency deterioration too. To prevent these processes it is required to reduce the temperature of the solar cells. The measured characteristic curves at different temperatures are presented in this paper.

Keywords: photovoltaic, solar cell, temperature dependence, characteristic, solar simulator

1. BEVEZETÉS

A napenergia hasznosításának két fő irányvonalát különböztetjük meg. Ezek az úgynevezett passzív és aktív hasznosítási formák. A passzív napenergia felhasználás lényegében az épületek energiamérlegének, az energiateljesítmény szempontjából a legkedvezőbb irányba történő befolyásolása. Már az ókori időktől fogva megfigyelhető a tudatosság az épületek tájolásában és kialakításában, azzal a céllal, hogy a napsugárzás pozitív hatásait kihasználják.

Az aktív napenergia-hasznosítás eszköztára széles skálán mozog. Az erőművi célokra kifejlesztett módszerektől kezdve az egészen kicsi, lakossági felhasználókat kiszolgáló berendezésekig lehetőség van a Nap energiájának hasznosítására. Az energia-átalakítási folyamat végeredménye alapján a napenergia-átalakító berendezések két típusát különböztetjük meg. A napkollektorok használati meleg-vizet állítanak elő, valamilyen technológiai vagy lakossági célú felhasználásra; ellentétben a napelemek, amelyek villamos energiát termelnek. E berendezések közül a napelem az, amely energiatermelését a legnagyobb mértékben befolyásolja a sugárzás típusa és összetétele. Míg a napkollektorok a szórt sugárzást is kedvező hatásfokkal, addig a napelemek jellemzően csak a direkt sugárzást tudják hasznosítani. Mindemellett az infravörös tartományú fény a napelemet melegíti, ezzel is rontva a működési hatékonyságát, ezért vált szükségessé a napelemek hőmérséklet- és intenzitásfüggő vizsgálata.

2. A NAPELEMEK MŰKÖDÉSE, HELYETTESÍTŐ KAPCSOLÁSA ÉS KARAKTERISZTIKÁJA

A napelemek olyan berendezések, amelyek a napenergiából közvetlenül villamos energiát képesek előállítani, működésük alapja a fényelektromos hatás. Lakossági és ipari felhasználásban is egyre nagyobb számban alkalmazzák őket. Fejlődésük következményeként hatásfokuk egyre növekszik, míg előállítási költségük csökken.

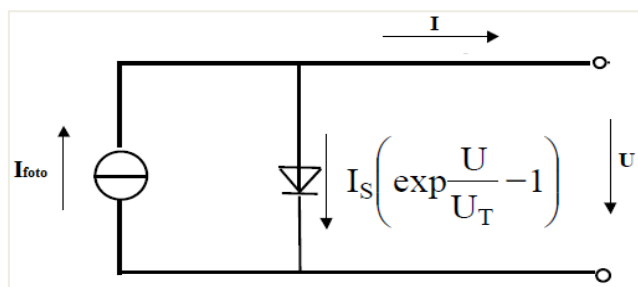
A típusától függően a napelem hatásfoka elérheti a 22%-ot is. A jelenleg használt napelemek döntő többsége szilícium félvezetőkön alapszik, de folyamatos kutatások irányulnak új technológiák fejlesztésére, amelyekkel az eddigi maximális hatásfokok javíthatók. A napelemeknek három típusa terjedt el: az amorf, amely átlagos hatásfoka 5–8%, a polikristályos, ami 8–13% hatásfokkal működik és a monokristályos, amely hatásfoka meghaladhatja a 13–18%-ot [1, 8].

2.1. Napelem áramerősségének és feszültségének hőmérsékletfüggése

A megvilágítás hatására a napelem kivezetésein $U_{\text{ü}}$ üresjárási feszültséget és I_r rövidzárási áramot mérhetünk. Ha terhelést kötünk a napelem sarkaira, akkor U feszültséget és I áramot tapasztalhatunk, amelyek rendre kisebbek, mint a terhelés nélküli esetben tapasztalt értékek. A kivezetéseken mérhető I áram az I_{foto} fotoáram és az $I_{\text{sötét}}$ sötétáram különbségéből adódik, a sötétáram a napelem félvezető jellegéből adódóan exponenciálisan függ a hőmérséklettől és lineárisan az I_s telítési áramtól, ezt a (1)-es képlet írja le [3, 4]:

$$I = I_{\text{foto}} - I_{\text{sötét}} = I_{\text{foto}} - I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right]. \quad (1)$$

A napelem egyszerűsített, elektronikai modellje, minden ohmikus és kapacitív jellegű elemet elhanyagolva egy diódából és egy vele párhuzamosan kötött áramgenerátorból áll, amely által előállított áram áramerőssége a megvilágítás mértékétől függ. Ezt a modellt és a korábbiakban említett I , $I_{\text{sötét}}$, I_{foto} áramirányokat a 1. ábra tartalmazza.



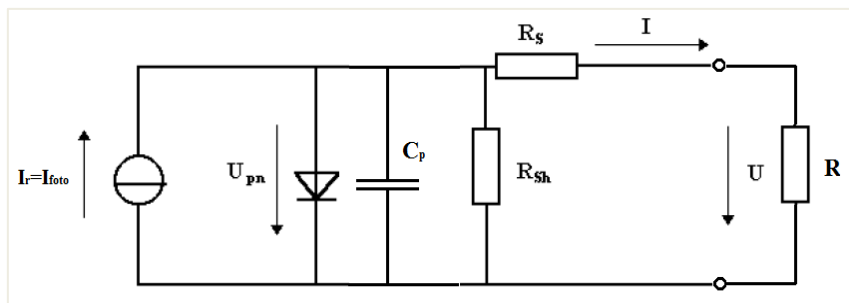
1. ábra: Ideális, terheletlen napelem modellje [1, 7]

Az $U=0$, illetve az $I=0$ behelyettesítéssel könnyen kifejezhető a rövidzárási áram (2) és az üresjárási feszültség (3). Az üresjárási feszültség logaritmikusan függ az áramviszonyoktól és lineárisan az U_T hőmérsékletfüggő termikus feszültségtől. Ennek megfelelően [5]:

$$I_r = I_{\text{foto}}, \quad (2)$$

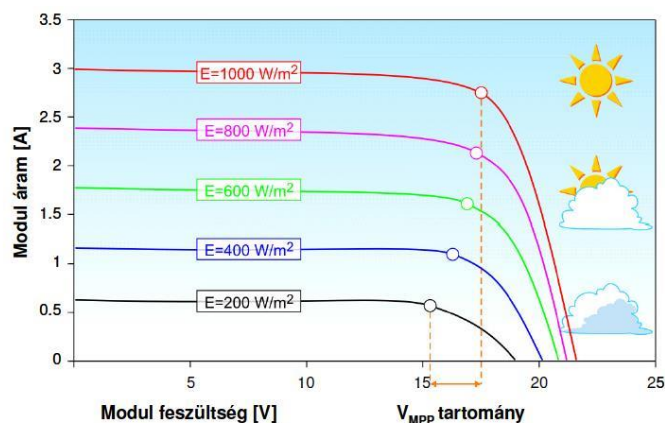
$$U_{\text{ü}} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_{\text{foto}}}{I_s} + 1\right) = U_T \ln\left(\frac{I_{\text{foto}}}{I_s} + 1\right). \quad (3)$$

Amennyiben a napelem valóságos elektronikai modelljét tekintjük, akkor a veszteségek nem hanyagolhatók el. Ekkor a diódák parazitakapacitását jelképezvén egy kondenzátort kötünk párhuzamosan a diódával. A belső ellenállás és a vezetékek ellenállását egy-egy soros és párhuzamos ohmos ellenállás jelképezi. A napelem valós elektronikai modellje a 2. ábrán látható.



2. ábra: Napelem valóságos elektronikai modellje [1, 7]

Az 3. ábrán megfigyelhetők az U - I karakterisztikák eltérő fényintenzitások esetén. Látható, hogy a rövidzárási áram egyenesen arányos a megvilágítás erősségével, hisz a fotoáram nagysága a fényintenzitással nő és a (2) képlet kimondja, hogy a fotoáram megegyezik a rövidzárási árammal. A (3) összefüggésből láthatjuk, hogy a kivezetéseken mérhető üresjárási feszültség pedig logaritmikusan függ a felületre érkező fényintenzitás nagyságától.



3. ábra: Napelem feszültség-áramerősség jelleggörbéi különböző fényintenzitások esetén [6]

2.2. Teljesítmény és hatásfok függése a hőmérséklettől

A napelem kapcsaira kapcsolt R ellenállással modellezhető terhelésen átfolyó I áramerősség és a rajta eső U feszültség szorzataként számolható a napelem hasznos P teljesítménye:

$$P = IU = I_r U - I_s U \exp\left(\frac{U}{U_T} - 1\right). \quad (4)$$

A napelemről az adott megvilágítás mellett a maximális teljesítmény levétele terhelésillesztési feladattal oldható meg. A (4) összefüggés szélsőértékének megkereséséhez parciálisan deriváljuk a függvényt U szerint és keressük a $\frac{\partial P}{\partial U} = 0$ egyenlet megoldását. Ebből kifejezhető a maximális teljesítményhez tartozó munkaponti- I_m áramerősség (5) és U_m feszültség (6) [3]:

$$I_m = -\frac{U_m}{U_T} I_s \exp \frac{U_m}{U_T} \approx -I_r \left(1 - \frac{U_T}{U_m}\right), \quad (5)$$

$$U_m = U_0 - U_T \ln \left(1 + \frac{U_m}{U_T}\right). \quad (6)$$

Az Ohm törvény alapján az (5) egyenletből kifejezhető az optimális R_m terhelés értéke [3]:

$$R_m = -\frac{U_m}{I_m} = \frac{U_T}{I_s \exp \left(\frac{U_m}{U_T}\right)} = \frac{U_T}{I_m + I_s + I_r}. \quad (6)$$

A terhelő ellenállás értéke ideális esetben megegyezik a napelem belső ellenállásának az értékével. Az úgynevezett φ térkitöltési tényező mutatja meg azt, hogy a munkaponti feszültség- és áramerősség szorzata hogyan viszonyul az üresjáratú feszültség- és a rövidzárlati áramerősség szorzatához:

$$\varphi = \frac{U_m I_m}{U_0 I_r}. \quad (7)$$

A térkitöltési tényező, vagy más néven forma tényező (fill factor) értéke függ a napelem megvalósításától és a megválasztott munkaponttól. A φ értéke a gyakorlatban használt napelemek esetén 0,75 és 0,85 értékek között mozog. A térkitöltési tényező megmutatja, hogyan aránylik egymáshoz a maximálisan levehető teljesítmény az $I_r \cdot U_0$ szorzat által meghatározott elméleti teljesítményhez.

A napelem modul η_{max} maximális hatásfoka a napelem által leadott maximális teljesítmény és a hasznos felületre eső $P_{fénv}$ fénytelsítmény hányadosából számítható ki [3]:

$$\eta_{max} = \frac{I_m U_m}{P_{fénv}} = \frac{\varphi I_r U_0}{P_{fénv}}. \quad (8)$$

2.3. Hőmérséklet és intenzitás hatása az áramerősségre és feszültségre

A napelem T_0 üzemi hőmérséklete az alábbi (9) összefüggéssel határozható meg:

$$T_0 = (T_N - T_K) \cdot \frac{E_{int}}{E_{STC}} + T_K, \quad (9)$$

ahol:

- T_N – a napelem névleges hőmérséklete (K),
- T_K – a környezeti hőmérséklet (K),
- E_{int} – a megvilágítás intenzitása (W/m^2),
- E_{STC} – a standard méréshez tartozó intenzitás ($1.000 W/m^2$).

Ezek figyelembevételével meghatározható a fotóáram a hőmérséklet függvényében [4, 5]:

$$I_{foto} = I_{SCN} \cdot [1 + \mu_{ISC} \cdot (T_0 - T_K)] = I_{SCN} + K_{ISC} \cdot (T_0 - T_K), \quad (10)$$

ahol:

- I_{SCN} – a standard méréshez tartozó rövidzárlati áramerősség (A),
- μ_{Ir} – a rövidzárlati áram százalékos hőmérsékleti együtthatója (%/K),
- K_{ISC} – a rövidzárlati áram hőmérsékleti együtthatója (A/K).

Amennyiben az intenzitás is változik, a fotóáram értéke az alábbiak szerint írható le [5]:

$$I_{foto} = \frac{E_{int}}{E_{STC}} \cdot I_{SCN} \cdot [1 + \mu_{Ir} \cdot (T_{\bar{U}} - T_K)] = \frac{E_{int}}{E_{STC}} \cdot I_{SCN} + K_{ISC} \cdot (T_{\bar{U}} - T_K). \quad (11)$$

A (11) összefüggés alapján elmondható, hogy a megvilágítás intenzitása és a hőmérséklet változása is lineárisan befolyásolja a napelemen átfolyó áram erősségét, amiről arra lehet következtetni, hogy ha nő a megvilágítás intenzitása, és/vagy a napelem hőmérséklete, akkor a feszültség csökken, így a napelem hatásfoka is csökken.

A telítési áram értéke a hőmérséklet függvényében a két dióda modell alapján írható fel (12) [3].

$$I_s = \frac{I_{foto}}{\left[\exp\left(\left(\frac{e \cdot U_{OC}}{n \cdot k \cdot T \cdot N_s}\right) \cdot (1 + \mu_{UOC} \cdot (T_{\bar{U}} - T_K))\right) \right] - 1}, \quad (12)$$

ahol:

- μ_{UOC} – az üresjáratú feszültség százalékos hőmérsékleti együtthatója (%/K),
- e – az elektron töltése ($1,60 \cdot 10^{-19}$ C),
- n – Dióda idealizáltsági faktor, a 2-dióda modell alapján értéke 2,
- k – Boltzmann állandó ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K),
- N_s – Sorosan kapcsolt cellák száma (18 db).

Az üresjáratú feszültség hőmérsékletfüggése [2]:

$$U_{OCT} = U_{OCN} \cdot [1 + \mu_{UOC} \cdot (T_S - T_A)] = U_{OCN} + K_{UOC} \cdot (T_S - T_A), \quad (13)$$

ahol:

- K_{UOC} – az üresjáratú feszültség hőmérsékleti együtthatója (V/K).

3. A MÉRÉSI ÖSSZEÁLLÍTÁS

A napelem egy vele megegyező méretű asztalon lett elhelyezve úgy, hogy a napelem két rövidebb széle alá egy-egy 50 mm vastagságú falecet helyeztem, ezzel kialakítva egy áramlási csatornát a napelem hátlapja és az asztallap között. A hűtésre szolgáló hideglevegőt egy *Orion CSHP 9001 C4* típusú mobil klíma biztosította. A klímából kiáramló hideg levegőt a már korábban említett áramlási csatornához műanyag fólia segítségével vezettem, amelyek pufferként is viselkedve kellően egyenletessé tették az áramlást.

Előzetes hőmérsékletvizsgálatok azt mutatták, hogy a napelem hátlapja hasonló mértékben felmelegszik, mint az abszorber felülete. E tapasztalat alapján elmondható, hogy a napelem hátlapján is lehetőség van hőenergia elvonására, tehát a hűtési eljárás működőképessége megalapozott volt. A megvalósított berendezés az 4. ábrán látható.

A napelem felületének hőmérsékletét egy *YC-747D* típusú négycsatornás digitális hőmérővel mértem. A négy érzékelőt a napelem négy különböző pontjára helyeztem el. A továbbiakban a négy vizsgált pont átlagából képzett hőmérsékletet tekintettem a napelem hőmérsékletének. Az érzékelőket az eredmények pontossága miatt jó hővezető tulajdonságú alumínium szalaggal rögzítettem a napelem felületéhez, ügyelve arra, hogy a kitakart felület nagysága elhanyagolhatóan kicsi legyen.



4. ábra: Mérési elrendezés

A megvilágított napelem átlaghőmérséklete hűtés nélkül elérte a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot. Ezzel az eljárással a napelem hőmérsékletét $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal sikerült lecsökkentenem. A további hűtés érdekében a napelem abszorber felületén próbáltam hőt elvonni, amihez egy *TT 150* típusú csőventilátort használtam fel. A reflektortartó állványhoz rögzített drótkeret (mint kivezető nyílás) és a ventilátor közt az áramlási csatornát a már korábban is használt műanyag fólia segítségével alakítottam ki. E megoldás kiszélesítette az áramlási teret, így a napelem nagyobb felületén érvényesült a hűtő hatás, viszont hátrányként meg kell említeni, hogy kis mértékben lelassította az áramlást. A klíma és a ventilátor együttes használata esetén a napelem átlaghőmérséklete $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal csökkent.

Ezután a ventilátor kivezetésén kiáramló levegőt közvetlenül a napelem felületére irányítottam, tehát nem alkalmaztam a korábbiakban bemutatott terelőt. Ez esetben az áramlás sebessége nem csökkent és további $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletcsökkenést sikerült elérni. Tehát a klíma és a ventilátor ilyen módú együttes használata $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékletcsökkenést eredményezett. Ekkor a napelem átlaghőmérséklete $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt.

A napelem terhelését egy nagyteljesítményű tolóellenállással modelleztük, amelynek ellenállása mérések alapján $0,7\text{--}7,2\text{ }\Omega$ értékek közt volt változtatható. A napelem által előállított feszültség és áramerősség egyidejű méréséhez egy *Protek DM-301* és egy *METEX M-365OD* típusú digitális multimétert használtam.

4. A SZIMULÁCIÓ ALAPVETÉSEI AZ ELHANYAGOLÁSOKKAL

A numerikus szimuláció az előző fejezetekben említett két-dióda modell egyenletrendszerének felhasználásával készült. A szimuláció során a napelem egyszerűsített áramköri modelljéből indultam ki.

A szimuláció során az alábbi megfontolásokkal és elhanyagolásokkal éltem:

- a napelem-modult egy cellára redukáltam,
- elhanyagoltam a soros és a párhuzamos ellenállást,
- a megvilágítás intenzitásának integrált középértékét vettem,
- a gyártó által megadott üresjáratú feszültséggel, rövidzárlati áramerősséggel, valamint hőmérsékleti állandókkal számoltam,
- a Napfényhez viszonyítva a halogén reflektor fényének spektrális összetételbeli különbségét (spektrális energiasűrűségét) egy konstanssal vettem figyelembe.

Mind a szimulációk, mind pedig a mérések során a hőmérsékleti tranziens hatására bekövetkező paraméterváltozásokat vizsgáltam. Terheletlen napelemes esetben, a mért és szimulált jellemző a rövidzárlati áramerősség, az üresjáratú feszültség, valamint az elméleti teljesítmény.

A vizsgált napelem alapadatait és a fontosabb paramétereket az *1. táblázat* tartalmazza.

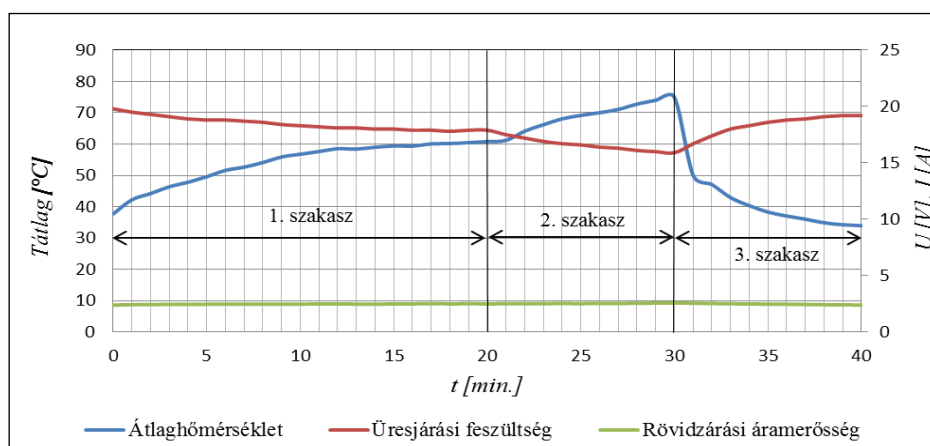
1. táblázat: A vizsgált napelem alapadatai

Paraméter	Jelölés és mértékegység	Érték
Gyártási év	-	2008
Csúcsteljesítmény	$P_{\max}$ [W]	85
Munkaponti áramerősség	I_M [A]	4,88
Munkaponti feszültség	U_M [V]	17,45
Rövidzárási áramerősség	I_{SC} [A]	5,40
Üresjáráti feszültség	U_{OC} [V]	21,20
Formatényező	ϕ [-]	0,74
Soros ellenállás	R_s [Ω]	0,0035
Párhuzamos ellenállás	R_p [Ω]	10.000
Sorosan kapcsolt cellák száma	N_s [db]	18
Párhuzamosan kapcsolt cellák száma	N_p [db]	2
Teljesítmény hőmérsékleti együttható	K_{PM} [W/°C]	-0,391
Rövidzárási áram hőmérsékleti együttható	K_{ISC} [A/°C]	0,001674
Üresjáráti feszültség hőmérsékleti együttható	K_{UOC} [V/°C]	-0,073776
Csúshatásfok	η [%]	12,75
Normál működési körülményekre vonatkozó hőmérséklet	T_N [°C]	25
A megvilágítás intenzitása	E_{int} [W/m ²]	861

5. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

A tranziens vizsgálatot terheletlen napelemen végeztem el, mégpedig úgy, hogy a megvilágítás bekapcsolásával egyidejűleg működésbe hoztam a mobil klímás hűtési rendszert. 20 percen keresztül mértem percenként a napelem négy pontján tapasztalható hőmérsékletet, a cellák által generált üresjáráti feszültséget és rövidzárási áramot (1. szakasz). Ezután kikapcsoltam a hűtési rendszert és 10 percen keresztül 10 mérési pontban ismételtam a mintavételezést (2. szakasz).

Miután a napelem hőmérséklete állandósult a korábbiakban ismertetett csőventilátoros hűtés beiktatása segítségével a napelemet visszahűtöttem a kiindulási hőmérsékletre (3. szakasz). A hőmérséklet-idő, a feszültség-idő és az áramerősség-idő grafikonokat az 5. ábra tartalmazza.

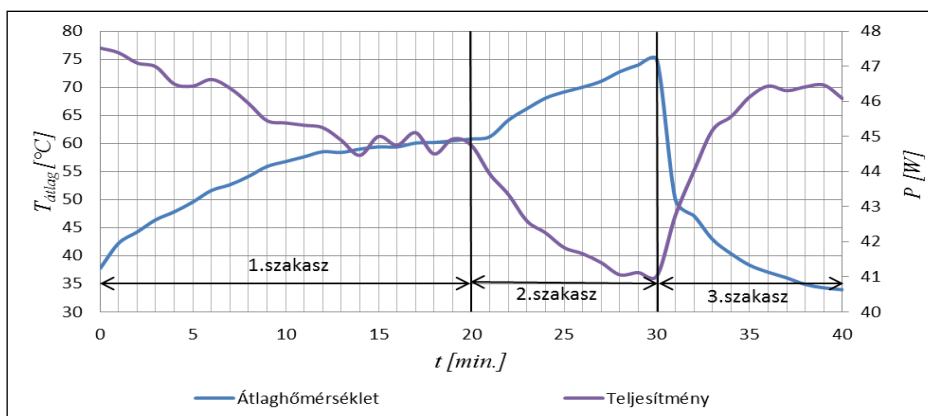


5. ábra: A hőmérséklet, az üresjáráti feszültség és a rövidzárlati áramerősség megjelenítése az idő függvényében

Látható, hogy a hőmérséklet növekedésének hatására az üresjáratú feszültség csökkent, míg az áramerősség csak kismértékben növekedett. Fordított esetben, mikor a napelem lehűlt a feszültség nőtt, az áramerősség pedig csökkent, hasonló mértékben. Tehát e kísérlet során igazolni tudtam a szakirodalom által leírt jelenséget.

A vizsgálat során a hőmérséklet változására bekövetkező elméleti teljesítményváltozást a 6. ábrán figyelhetjük meg. Az tapasztalható, hogy az elméleti teljesítmény a hőmérséklet változásával ellentétesen alakul. E jelenség az 5. ábrán bemutatott üresjáratú feszültség és rövidzárási áramerősség hőmérséklet-függése és az elméleti teljesítmény számítási módja (4) alapján feltételezhető volt.

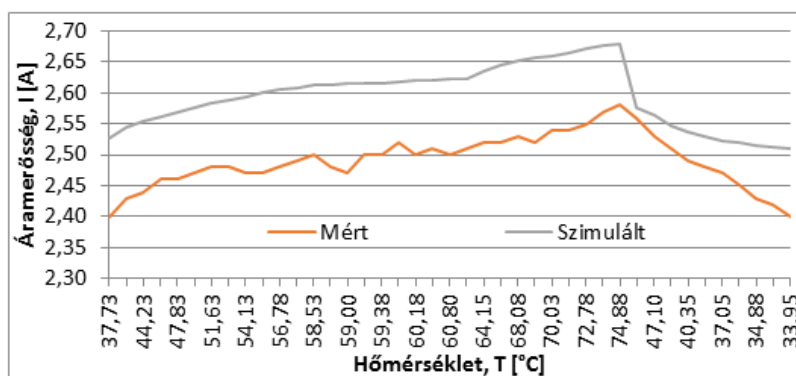
Az ábra alapján az a következtetés vonható le, hogy a hőmérséklet növekedésével a napelem hatásfoka, és ezen keresztül a teljesítménye is csökken. A természetben előforduló 1.000 W/m^2 napsugárzás-intenzitás mellett a napelem felületi hőmérséklete meghaladhatja a 80°C hőmérsékletet, így a hatásfokromlás jelentős teljesítmény-csökkenést eredményez. A téli időszakban a napelem hűtése biztosított, így télen jobb hatásfokkal képes működni, mint a nyári nagy melegben.



6. ábra: Az elméleti teljesítmény és a hőmérséklet megjelenítése az idő függvényében

6. A MÉRÉSI- ÉS A SZIMULÁCIÓBÓL SZÁRMAZÓ EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

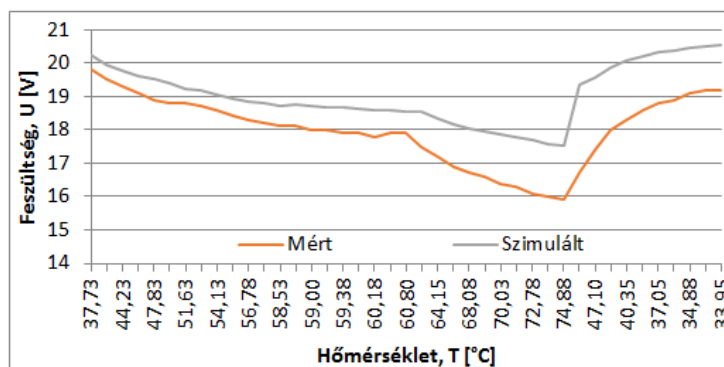
A következő ábrákon rendre összehasonlítom a mért és a szimulált eredményeket. A 7. ábrán a rövidzárlati áramerősség látható a hőmérséklet (idő) függvényében. Minden egyes lépték egyben egy perc elteltét is jelenti, így a görbéken időbeli lefutás is értelmezhető.



7. ábra: A napelem rövidzárlati áramerőssége a hőmérséklet (idő) függvényében

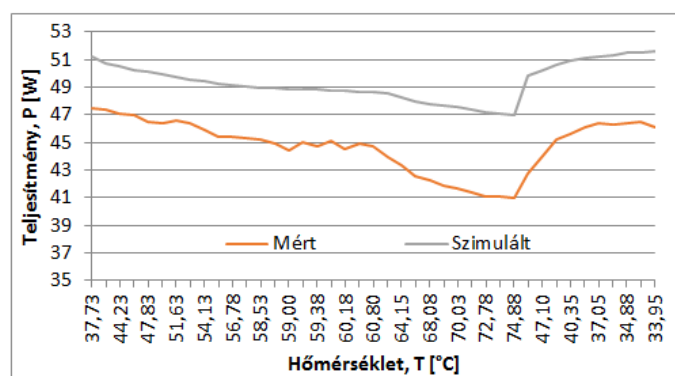
Megfigyelhető, hogy a mérési eredmények alapján vázolt áramerősség-hőmérséklet (idő) görbe jelleghelyesen követi a katalógusadatok felhasználásával készült numerikus szimuláció alapján vázolt görbét. A szimulált és a mért adatok közötti időátlagolt eltérés 4,14% a szimuláció javára. Mindkét görbe esetében elmondható, hogy a hőmérséklet függvényében a vártaknak megfelelő áramerősség-változás következett be. A napelem hűtése nélkül az áramerősség nőtt, hűtéssel csökkent.

Az üresjáratú feszültség hőmérsékletfüggése a 8. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a mért értékekre fektetett trendvonal a napelem hűtése nélküli esetben, illetve az erős hűtés alkalmazásánál a modell görbéjéhez simul. Gyenge hűtés esetében a két görbe között nagyobb eltérés tapasztalható. A modell időátlagban 5,98%-kal becsüli túl a mért eredményeket.



8. ábra: A napelem üresjáratú feszültsége a hőmérséklet (idő) függvényében

Az elméleti teljesítmény grafikonok a 9. ábrán láthatók. Egyértelműen megállapítható, hogy az elméleti teljesítmény a napelem felületi hőmérsékletének növekedése következtében csökken. E jelenség az elméleti teljesítmény számítási módja (4) alapján feltételezhető volt. A csökkenés oka, hogy a napelem feszültsége nagyobb mértékben csökken, mint amilyen mértékben az áramerőssége nő nagyobb hőmérsékleten üzemelő rendszer esetében. A szimulációs alapmodell 10,34%-kal becsülte túl az elméleti teljesítményt a mérthez képest. A túlbecslés oka a mérési pontatlanságok mellett arra is visszavezethető, hogy a napelem a vizsgálatok során 7 éves volt, azaz az évek során a kristályszerkezete öregedett, degradálódott.



9. ábra: A napelem elméleti teljesítménye a hőmérséklet (idő) függvényében

A 2. táblázat összefoglalja a statisztikai adatokat a szimulációs és mért eredmények közötti eltérésekre vonatkozóan, terheletlen napelem tranziensteszte során. Megfigyelhető, hogy a szimuláció és a mérés közötti legnagyobb eltérés az üresjáratú feszültség és az elméleti teljesítmény esetében meghaladja a 10%-ot. Az eltérésekben ismétlődés nem tapasztalható.

5. táblázat: Statisztikai adatok a szimulációs és mért eredmények közötti eltérésre

	MIN	MAX	MEDIÁN	ÁTLAG
I _{sc}	0,66%	5,84%	4,59%	4,14%
U _{oc}	2,20%	15,92%	4,52%	5,98%
P	6,60%	16,68%	9,91%	10,34%

6. KÖVETKEZTETÉSEK, ÖSSZEGZÉS

A szimuláció és a mérés célja a hőmérsékleti tranzienst során lejátszódó folyamatok feltárása volt. A szakirodalom által leírtak alapján az mondható el, hogy a napelem üresjáratú feszültsége jelentősebb mértékben csökken-, a rövidzárási árama kismértékben nő a félvezető anyagának hőmérsékletnövekedése által. A feszültség nagyobb mértékben csökken, mint ahogy az áramerősség nő, így a melegedés hatására a napelem elméleti teljesítménye csökken. A mért és a szimulált eredmények a szakirodalomban tapasztaltakat produkálták.

A mérési eredményeket összehasonlítva a szimulációból származó eredményekkel az a következtetés vonható le, hogy a napelem hatásfoka a gyártáskori értékhez képest csökkent. Azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az eredmények jelentősen függenek a műszerek és a mérési metódus pontatlanságából, a mérési hibáitól, így a kapott százalékos eltérések ezekre is visszavezethetők.

A mért és a számolt adatok közötti eltérésnek pontatlanságok mellett számos oka lehetséges. Az általam használt megvilágítás nem reprodukálja kellő pontossággal a természetben tapasztalható fényviszonyokat (kisebb és nem kellően homogén fényintenzitás, eltérő hullámhossz szerkezet). A spektrális összetételből származó különbségeket a Napszimulátorként használt izzó spektrumának kiméréséből származtatott tényezővel figyelembe tudtam venni, azonban a fényintenzitás inhomogenitását nem, ennek hatása lehet a kisebb teljesítmény. A napelem öregedése során hatásfok degradáció tapasztalható, amely a teljesítmény csökkenését okozza.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KOVÁCS CS.: *Napelemek működése és alkalmazásai*. Budapest, 2008.
- [2] MALIK A.Q., DAMIT S.J.B.H.: *Outdoor testing of single crystal silicon solar cells*. Renewable Energy, 28. pp. 1433–1445. 2003.
- [3] SZÁSZ CS.: *Optimal control of Photovoltaic Modules Energy Efficiency*. Journal of Computer Science and Control Systems, Vol. 10. Nr. 1. pp. 29-34. 2017.
- [4] DUBEY S., SARVAIYA J.N., SESHADRI B.: *Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World-A Review*. Energy Procedia, 33. pp. 311–321. 2013.
- [5] KING L.D., KRATOCHVIL A.J., BOYSON E.W.: *Temperature Coefficients for PV Modules and Arrays: Measurement Methods, Difficulties, and Results*. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, California. 1997.
- [6] ARMIN R.: *Napelem technológiák és jellemzőik*. PSE Projektgesellschaft Solar Energiesysteme mbH. G04 előadás, fordította: SzIE. 2002.
- [7] DR. MIZSEI J.: *Napelemek laboratórium*. Segédlet, Budapest. 2003.
- [8] DR. GÖÖZ L.: *Energetika Jövőidőben*. Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza. 2007.

NAPELEMEK KÖZBEIKTATÁSÁVAL KIALAKÍTOTT SZÜNETMENTES VILLAMOSENERGIA-ELLÁTÓ RENDSZER VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF A SOLAR PANEL POWERED UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEM

SKRIBANEK Ádám

Energetikai mérnök MSc hallgató, kutató hallgató, skribike@gmail.com
Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A publikációban a napenergia-hasznosítás lehetőségeinek rövid ismertetését követően bemutatásra kerülnek a leggyakrabban használt napelem típusok, illetve azok hatásfokai és alkalmazási lehetőségei. A szigetüzemű napelemes rendszerek felépítésének, működésének ismertetése után vizsgáljuk a rendszer szünetmentes energiaellátó rendszerbe történő illesztésének lehetőségeit. Egy ilyen összeállított rendszer bemutatását követően leírásra és magyarázásra kerülnek a különböző terhelések esetében eredményül kapott rendszerhatásfokok, terhelhetőségek, áram, illetve feszültség jelalakok, valamint egyéb mérési eredmények. Bemutatásra kerülnek a rendszer működőképességének vizsgálati eredménye is.

Kulcsszavak: napelem, szigetüzem, szünetmentes, UPS, térkitöltési tényező

Abstract: In this publication after a short description of solar energy utilization, the most common used types of solar panels are presented together with their efficiency and possible applications. After describing the construction and operation of off-grid solar systems we examine the possible ways of suiting it into an uninterruptible power supply system. A compiled system is also presented and the system efficiencies, maximum loads, current and voltage waveforms and other measurement results, we got in case of different load levels are described. The examination of operability of the final system is shown too.

Keywords: solar energy, solar panel, off-grid, UPS, fill factor

1. BEVEZETÉS

A napenergia a földi élet energetikai alapja, mivel a geotermikus energián kívül minden megújuló energiának a Nap a forrása, amelynek magjában lejátszódó magfúziós folyamat szolgáltatja a Nap által kibocsátott, sugárzott energiát. Bár a földi élet szempontjából a legfontosabb a Nap elektromágneses sugárzása (390-1.200 nm), ennek csupán kis részét érzékelhetjük közvetlenül hő (800-1.200 nm) és fény (390-800 nm) formájában. Az emberiség által leggyakrabban használt, fosszilis energiaforrások mennyiségi korlátját figyelembe véve, a megújuló energiák, mint például a napenergia hasznosításának kérdése igen időszerű témának bizonyul napjainkban.

A napenergia hasznosítása történhet aktív, vagy passzív módon. Passzív napenergia hasznosítás esetén épületek energetikailag kedvezőbb irányú tájolásáról beszélünk, amivel csökkenthetjük az épület energiaszükségleteit. A napenergia aktív hasznosításához valamilyen eszközre van szükségünk, amellyel felfogjuk, illetve átalakítjuk a Nap energiáját, így környezetbarát módon állíthatunk elő villamosenergiát, vagy közvetlenül hőenergiát, attól függően, hogy napelemet, napkollektort, vagy napkóhót alkalmazunk. Utóbbi két eszköz a Nap energiáját, hőjét gyűjti össze nagyobb hatékonysággal és hőenergiaként továbbítja azt. Leggyakrabban melegvíz előállításra használják őket olyan területeken, ahol napközben hosszú és intenzív a napsütés, de akár fűtés rásegítő szerepet is betölthetnek [1].

2. NAPELEMEK

A Nap energiájának villamos energiává alakításához napelemre van szükségünk, amely egy igen nagy méretű, félvezető alapú, fényre érzékeny energia átalakító eszköz (dióda), amelyben a fény hatására a töltéshordozók szétválnak, így a kivezetései között egyenfeszültséget mérhetünk. Többnyire szilíciumból készülnek, de vannak olyan technológiák is (főleg űrtechnika), amelyek egyéb anyagokat, például Ga-As (gallium-arszenid) használnak. A napelemekből kinyerhető teljesítmény függ a napsütés intenzitásától, a fény beesési szögétől, a napelem életkorától és a napelem kivezetéseire kapcsolt terheléstől.

2.1. Napelem típusok és hatásfokaik

A szilícium alapú napelemeknek három fő típusa terjedt el, ezek az amorf, mono- és polikristályos napelemek.

Az amorf napelemek rendelkeznek a legalacsonyabb primer hatásfokkal (5-8%), azonban az ilyen típusúak a legolcsóbbak. Előnyük, hogy nagyon vékony napelem készíthető belőlük, de alacsony hatásfokuk miatt azonos teljesítmény kinyeréséhez nagyobb telepítési felületre van szükség, mint kristályos társaik alkalmazása esetén. További hátrányként jelentkezik a viszonylag rövid élettartalmuk, ami mintegy 15 évre tehető.

A kristályos napelemek egyik fajtája a monokristályos (egy kristályos) napelem. Ez a típus rendelkezik a legmagasabb primer hatásfokkal (15-18%), azonban az előállítási költségük is igen magas a bonyolult technológiai folyamatok miatt. Kiválóan hasznosítják a közvetlen, azaz direkt napsugárzást, amely rájuk merőleges fényt jelent, de kisebb hatásfok érhető el szórt fényenél, ebből adódóan leginkább forróövi direkt napsugárzásnál célszerű alkalmazni, de kitűnő napkövető rendszerek is készíthetők monokristályos napelemek felhasználásával. Előnyük a magas hatásfok és az élettartamuk, ami 30 évre tehető. Hátrányuk azonban, hogy nagyon érzékenyek a tájolásra és a dőlésszögre.

A polikristályos napelemek ára magasabb, mint az amorf napelemké, de valamivel olcsóbbak, mint a monokristályosok. Hatásfokuk igen nagy (12-17%), kiválóan hasznosítják a reggeli és esti órákban jelentkező szórt fényt, azonban a direkt fényt kevésbé. Magyarországon a földrajzi adottságok miatt ez a típusú napelem üzemeltethető a legnagyobb primer hatásfokkal. Előnyük a minimum 30 év élettartam és az átlagosan 25 év gyártói garancia. Kevésbé érzékenyek a tájolásra és a dőlésszögre, mint az egykristályosok, aminek köszönhetően alkalmazásuk igen sokrétű lehet.

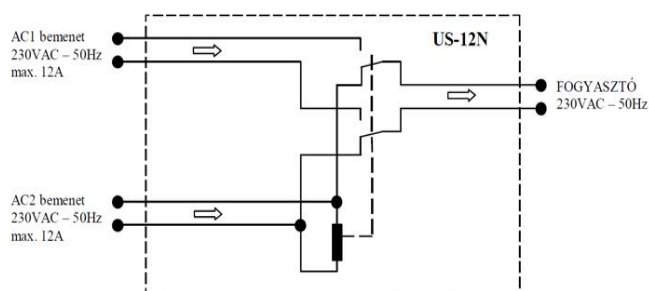
2.2. Szigetüzemű napelemes rendszerek

Szigetüzemű napelemes rendszer (angolul: off-grid) esetén a megtermelt villamos energia teljes egészében helyben kerül felhasználásra vagy tárolásra, azonban a többlépcsős energiaátalakítás és tárolás következtében, az egyes berendezések hatásfokai miatt az eredő hatásfok csökken. Kiválóan alkalmazhatók olyan területeken, ahol a közüzemi villamos hálózat még nem került kiépítésre. Ilyen rendszerek esetében fontos szerepe van az energiatároló akkumulátortelepnek, hiszen az energiatermelés ideje általában nem egyezik meg az energiaigény időszakával.

A rendszer biztonságos működése érdekében szükség van a napelemek után beépített túlfeszültség levezetőre, amely egy esetleges villámcsapás esetén megvédi a további berendezéseket. A töltésvezérlő az aktuális villamosenergia-termelés, villamos terhelés és az akkumulátor töltöttségi állapotának megfelelően határozza meg az energiaáramlás útját. A rendszer képes egyenáramú fogyasztók ellátására, azonban egy inverter alkalmazásával a váltakozó áramú fogyasztóink üzemeltetése is megoldott.

2.3. Szünetmentes hálózat kialakítása

Szünetmentes hálózatok kialakítása napjainkban egyre több helyen nélkülözhetetlen. A hálózat két bemeneti energiaforrással rendelkezik. Elsődleges a közüzemi hálózat, amelyről normál üzemi körülmények esetében a fogyasztók ellátása történik, másodlagos energiaforrásra pedig a közüzemi hálózat kimaradása esetén van szükség. A rendszer kialakításához szükséges egy automata átkapcsoló állomás, amely az üzemzavart érzékeli és képes az energiaforrások közötti automatikus át-, illetve visszakapcsolásra. Fontos, hogy az átkapcsolás minél kevesebb időt vegyen igénybe, a fogyasztók legkisebb mértékű zavarása érdekében. A méréseim során US-12N típusú átkapcsoló állomással dolgoztam (1. ábra).



1. ábra: US-12N mikroprocesszoros átkapcsoló állomás elvi kapcsolási rajza

3. A MÉRÉSI RENDSZER

3.1. A napelemek

A méréseket két darab CFSR-SP250W típusú, polikristályos napelemmel végeztem, amelyeket párhuzamosan kapcsolva üzemeltettem (2. ábra). Ez a típusú napelem egyenként maximum 250 W teljesítmény leadására képes, azonban a napelemek által leadott teljesítmény nagyságát jelentős mértékben befolyásolja a napelemek hőmérsékletfüggése, a napsütés intenzitása, a terhelő ellenállás nagysága, a napelem életkora, a napelemek tájolási-, illetve dőlésszöge és egyéb tényezők. Ennek tudatában a mérések során figyelemmel kísértem a két napelem adott intenzitás melletti maximális teljesítményét is, MPPT, azaz maximális munkapont kereső üzemmóddal rendelkező töltésszabályzó alkalmazása mellett.



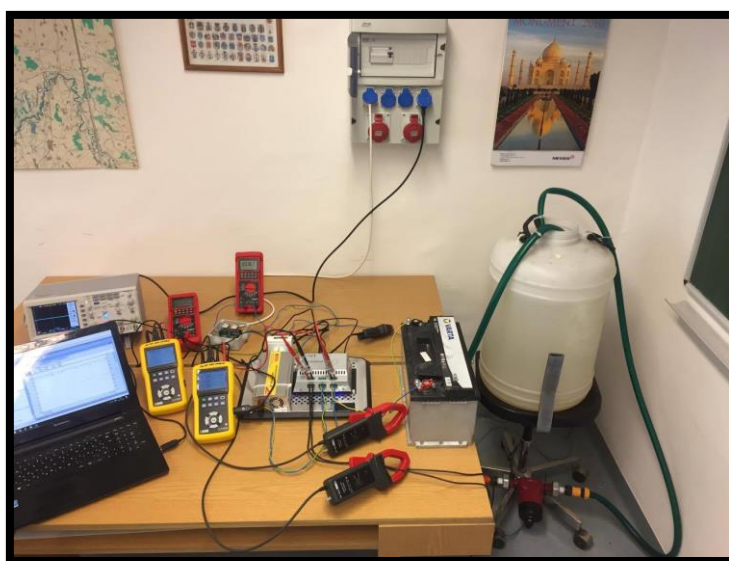
2. ábra: A mérésekhez használt napelemek

3.2. Az összeállított rendszer és a rendszer elemei

A szolárkábelek a töltésszabályzóhoz csatlakoznak, ahogyan az akkumulátortelep és az inverter is. A mérésekhez egy maximálisan 30 A áramú töltésszabályzót használtam, amelyen keresztül a napelemek egy 90 Ah-s, 12 V-os gépkocsi indító akkumulátort töltöttek, melynek maximális indítóárama 720 A. Az egyenfeszültség váltakozó feszültséggé alakítását egy maximálisan 1 kW folyamatos teljesítmény leadására képes, négyyszög jelalakú inverter biztosította. Az átkapcsolásért a két energiaforrás között egy US-12N automata átkapcsoló állomás volt felelős. Villamos fogyasztóként egy keringető szivattyút alkalmaztam, amely három teljesítmény fokozaton képes a működésre és egy tartály vizét keringette.

A megfelelő műszerek segítségével, amelyek CAT gyártmányú hálózati elemző műszerek voltak, mértem a napelemek és az akkumulátor feszültség, illetve áram jelalakját, az egyen oldali és váltakozó oldali teljesítményt, külön-külön a napelem és az akkumulátor teljesítményét, az inverter kimeneti feszültségét, az átkapcsoláskor jelentkező feszültség szinteket, valamint a rendszer hatásfokát különböző terhelések esetében. Az összeállított rendszer a 3. ábrán látható.

Az összeállított rendszer működőképesnek bizonyult. Az áramszünet szimulációját a közüzemi hálózat manuális lekapcsolásával valósítottam meg. A szimulált áramszünet hatására az átkapcsoló állomás rövid időn belül ($<1s$) átkapcsolt az alternatív energiaforrásra és a szivattyú energiaellátását azon keresztül biztosította. A közüzemi hálózat visszakapcsolása esetén a visszakapcsolás is zökkenőmentesen, gyorsan lezajlott.



3. ábra: Az összeállított mérési rendszer

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

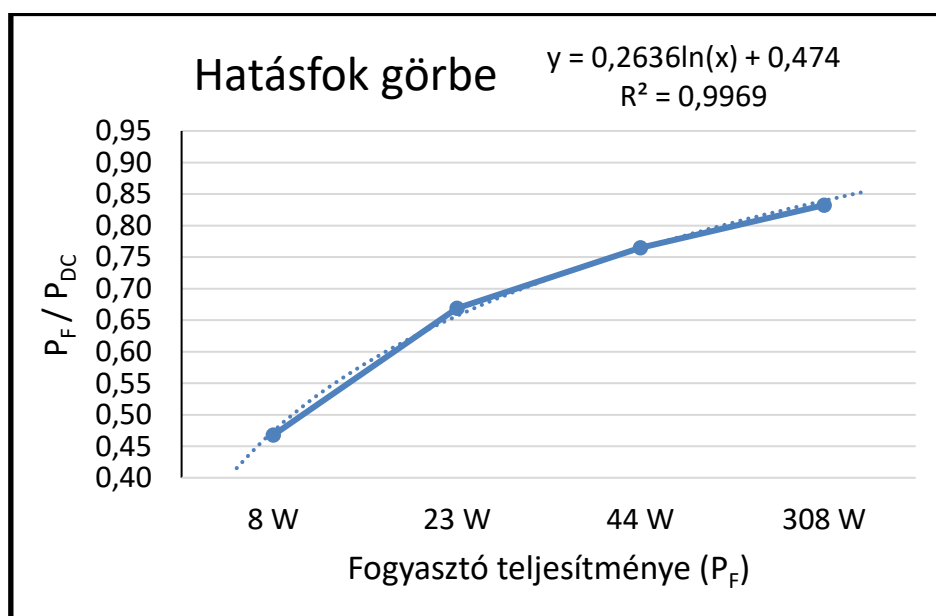
4.1. A rendszer hatásfokának mérése

A rendszer hatásfokának meghatározásához az akkumulátort leválasztottam a rendszertől, így a szükséges villamos energiát kizárólag a napelemek szolgáltatták. Fogyasztóként a keringető szivattyút csatlakoztattuk a rendszerhez, amelyet különböző fokozatokon járattva mértük a napelemek, illetve a szivattyú teljesítményét. A két teljesítmény arányaként számítható a rendszer eredő hatásfoka. Az eredményeket az 1. táblázatban láthatjuk.

1. Táblázat: A napelemes rendszer eredő hatásfoka különböző terhelések esetén

	I. fokozat	II. fokozat	III. fokozat
P_{napelem}	-17,1 W	-34,4 W	-57,5 W
P_{szivattyú}	8 W	23 W	44 W
Hatásfok	46,78%	66,86%	76,50%

Észrevehető, hogy a rendszer hatásfoka a váltakozó oldali teljesítmény növekedésével egyidejűleg növekszik. I. fokozat esetén a kimeneti teljesítmény alacsony értéke nagyságrendekkel elmarad az inverter maximális teljesítményétől, azonban minél nagyobb terheléssel működtetjük a rendszert, annál nagyobb lesz az inverter, azaz a rendszer hatásfoka is. Ez a növekedés mindaddig fennáll, amíg a kimenő teljesítmény el nem éri az inverter maximális teljesítményét, vagy a hatásfoka a maximális hatásfokot. Ezek után nagyobb teljesítményű (308 W) elektromos fűrőt csatlakoztattam a rendszerhez. A további szükséges villamos energiát az újra csatlakoztatott akkumulátor biztosította. Így a rendszer hatásfoka 83,27%-ra növekedett. A 4. ábrán a rendszer teljesítmény-hatásfok görbáját láthatjuk.



4. ábra: A rendszer teljesítmény-hatásfok görbéje

4.2. Térkitöltési tényező meghatározása

A napelemek egyik legfontosabb paramétere a napelemre jellemző, úgynevezett ϕ térkitöltési tényező (*fill factor*), amely megmutatja, hogy a napelem munkaponti teljesítménye (P), azaz a munkaponti feszültség (U_m) és a munkapontban mérhető áramerősség (I_m) szorzata hogyan viszonyul a napelem elméleti teljesítményéhez (P_{th}). Az elméleti teljesítmény az üresjárási feszültség (U_{oc}) és a rövidzárási áramerősség (I_{sc}) szorzataként számítható. A napelem maximális munkaponti teljesítménye az idő múlásával csökken, ezért a méréseket egy 9 éves monokristályos napelemmel végeztem, amelyet laboratóriumi körülmények között, napszimulátorral világítottam meg, amely nyolc darab, egyenként 300 W teljesítményű reflektorból épült fel. Egyértelmű, hogy a napelem munkaponti teljesítménye mindig kisebb lesz, mint az elméleti teljesítmény. A ϕ értéke a gyakorlatban használt napelemek esetén 0.75 és 0.85 értékek között mozog, azonban értéke jelentősen függ a megválasztott munkaponttól és a napelem életkorától.

A napelem katalógus adatait, illetve a vizsgálatok során kapott mérési eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

2. Táblázat: A napelem térkitöltési tényezőjének meghatározásához felhasznált értékek

	Feszültség (U)	Áramerősség (I)	Teljesítmény (P)	$\varphi (P_M / P_{th})$
Munkaponti	13,6 V	2,2 A	29,92 W	0,779
Elméleti	16,7 V	2,3 A	38,41 W	

A vizsgált monokristályos napelem térkitöltési tényezője még 9 éves korában is a szokványos értékek közé esik, így a napelem teljesítménye nem romlott le drasztikusan az évek során, a napelem közel névleges teljesítményén képes működni.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az összeállított rendszer az elvártaknak megfelelően működőképesnek bizonyult, azaz képes az áramkimaradás automatikus észlelésére és önálló át-, illetve visszakapcsolásra, így szünetmentes energiaellátó rendszert kialakítva, amelynek alternatív energiaforrásként szigetüzemű napelemes rendszert alkalmaztam. A rendszer hatásfokváltozásának vizsgálatakor megállapításra jutott, hogy minél közelebbi a váltakozó oldali teljesítmény az inverter maximális teljesítményéhez, annál jobb a rendszer hatásfoka. A vizsgált monokristályos napelem méréseken alapuló térkitöltési tényezője a szokásos értékek közé esett. Az átkapcsolás a szivattyú működésében semmilyen problémát nem okozott, így a felépített rendszer üzembiztos és megbízható működésre képesnek bizonyult.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **VÉGHELY, T.:** *Napelemek és napelemrendszerek szerelése*, Budapest, 2013
- [2] **VÉGHELY, T.:** *Napelemes rendszerek villamos berendezései*, Budapest, 2014
- [3] **BODNÁR I.:** *Transient electrical characteristics of a solar cell in the case of a cooling and non-cooling solar cell*. ANNALS of Faculty Engineering Hunedora- International Journal of Engineering. Vol. XV. No. 4. 2017. pp. 175-178.
- [4] **BODNÁR I.:** *Napelem hőmérsékletfüggésének kísérleten és szimuláción alapuló vizsgálata*. Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok. XII. évfolyam. 4. szám. 2017. pp. 195-206.
- [5] **BODNÁR I.:** *Napelem karakterisztikák hőmérsékletfüggésének meghatározása laboratóriumi körülmények között*. Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017. Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 2017. pp. 32-39.

NAPSZIMULÁTOR FEJLESZTÉSE NAPELEMEK LABORATÓRIUMI MÉRÉSHEZ

DEVELOPMENT OF SOLAR SIMULATOR TO SOLAR CELL TESTING

KOÓS Dániel

Gépészmérnök MSc hallgató, ösztöndíjas kutatóhallgató, daniel.koos1@gmail.com
Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A napelemek laboratóriumi vizsgálata során az egyik legfontosabb tényező a megvilágítás minősége. A napfénysszimulátorok esetében a cél mindig a napsugárzás lehető legpontosabb reprodukálása. Jelen cikk egy halogén-LED hibrid megvilágítással működő napfénysszimulátor tervezési lépéseit mutatja be. A tervezés során az egyik fő cél a vonatkozó szabványnak (ASTM E972) való megfelelés.

Kulcsszavak: napelem, napfénysszimulátor, LED, halogén

Abstract: During the experimental investigation of solar cells the quality of the illumination is essential. In case of the solar simulators the main goal is the accurate reproduction of the sunlight. Design procedure of a halogen-LED hybrid solar simulator is described by this article. One of the main goal is the compliance with the relevant standard (ASTM E972).

Keywords: solar cell, solar simulator, LED, halogen

1. BEVEZETÉS

Az első generációs napfénysszimulátorok halogén-, xenon- vagy egyszerű volfrámszálas fényforrásokon és azok kombinációján alapulnak. E megoldások esetén a megfelelően homogén fényintenzitás eloszlás elérése érdekében komplex optikai rendszer és a megfelelő spektrális egyezés érdekében optikai szűrők használata szükséges [1]. A félvezető technológia fejlődésével új típusú napfénysszimulátorok jelennek meg, amelyek nagyteljesítményű LED egységeken alapulnak. Ezen eszközök működése energiahatékony és jó irányíthatóság jellemzi őket, továbbá nagy előnyük, hogy különböző színű LED egységek kombinációjával a napfény spektrális szerkezete jól közelíthető. Szükséges azonban megemlíteni, hogy tisztán LED egységeket alkalmazva nehéz elérni a szabványos vizsgálatokhoz szükséges 1.000 W/m^2 fényintenzitás értéket [2]. E problémát küszöbölik ki a LED és hagyományos megvilágítást (pl.: halogén) kombináló megoldások [3].

Hosszútávú munkánk során a napelemek hatékonyságának hőmérsékletfüggését vizsgáljuk [4, 5]; a kísérletek megfelelő elvégzéséhez szükséges a cikk témáját adó eszköz megépítése.

1.1. Napfénysszimulátor szabvány

A napfénysszimulátorokra érvényes követelményekkel az *American Standard for Testing and Materials* (ASTM) E972-es szabványa foglalkozik. E szabvány három szempont alapján sorolja három kategóriába a napfénysszimulátorokat (1. táblázat). A szabványos készülékeknek minden kategória esetén biztosítani kell tudniuk a földfelszíni (AM 1,5) maximális 1.000 W/m^2 átlagos fényintenzitás értéket. A szabvány továbbá előírja, hogy AM 1,5 esetén a spektrumegyezést $300 \text{ nm} - 1.100 \text{ nm}$ hullámhossz tartományon kell vizsgálni [6].

1. Táblázat: Szabvány szerinti napfénysszimulátor kategóriák és a besorolás kritériumai [6]

	A osztály	B osztály	C osztály
A megvilágítás spektrumának eltérése a napfényéhez képest (lásd (2) összefüggés)	75-125 %	60-140 %	40-200 %
A megvilágítás térbeli egyenetlensége (lásd (3) összefüggés)	$\leq 2 \%$	$\leq 5 \%$	$\leq 10 \%$
A megvilágítás időbeli egyenetlensége	$\leq 2 \%$	$\leq 5 \%$	$\leq 10 \%$

1.2. Tervezési követelmények

Célunk az említett szabvány szerinti *C osztályú* napfénysszimulátor készítése, amely segítségével maximálisan 150 mm x 150 mm területű vizsgálati tartomány megfelelő megvilágítása kivitelezhető, így adva lehetőséget kisméretű napelemcellák szabványos vizsgálatára. A konstrukció a nagyteljesítményű színes LED egységek és halogén izzók kombinációján alapul. A LED egységek mátrix elrendezése viszonylagos homogén fényintenzitás eloszlást garantál és a megfelelő színek esetén jó egyezés érhető el a napfény spektrális szerkezetével 400 nm – 700 nm hullámhossztartományon. A halogén izzók használata elsődlegesen az 1.000 W/m² fényintenzitás elérése miatt szükséges, ezen túl az általuk kibocsátott fény spektrális szerkezetét tekintve 700 nm – 1.100 nm tartományon jól közelíti a napfényt.

2. TERVEZÉS

2.1. Tervezési paraméterek

A követelményeket kielégítő napszimulátor tervezése során számos paraméter meghatározása szükségessé válik. E változók közül néhányat előzetes mérések és megfontolások alapján rögzítünk. A LED egységek esetén előre meghatározzuk a darabszámot és a színekombinációt, ezentúl a LED mátrix geometriáját és a vizsgálati tartománytól vett távolságát. A felsorolt paramétereket és azok választott értékeit a 2. táblázat mutatja be. A halogén izzók esetén az előre rögzített paraméter a teljesítmény, amely értékét 50 W-nak választjuk.

2. Táblázat: LED egységek esetén előre rögzített paraméterek

LED darabszám	36 db (6x6-os mátrixban)
LED színek	fehér, piros, zöld, kék
LED egységek egymástól mért távolsága a mátrixban	30 mm
LED egységek maximális teljesítménye	3 W
LED panel és a vizsgálati tartomány távolsága	80 mm

A tervezés további szakaszában a LED színcsoportok optimális megtáplálási áramerősségeinek és a halogén izzók megfelelő darabszámának, pozíciójának meghatározása a cél; fő szempontként szem előtt tartva a szabvány által előírt spektrumszerkezetet és fényintenzitás eloszlás homogenitást. Ezen, úgynevezett változó paraméterek meghatározását mutatják be a további alfejezetek.

2.2. Spektrális egyezés tervezése

A spektrum optimalizálásához szükséges tudni az egyes fényforrások abszolút spektrumszerkezetét, amely meghatározása abszolút spektrumvizsgálatra alkalmas spektrométer hiányában közvetett módon történik. A LED egységek esetén a gyártó megadja a sugárzási csúcsához tartozó hullámhossz értékeket az egyes színekre, illetve ismert minden szín esetén azon hullámhossztartomány, amelyben sugárzása még számottevő. E három hullámhossz érték ismeretében a LED egységek spektrumszerkezet Gauss-görbékkel jól közelíthető; azonban az abszolút spektrum görbék meghatározásához további lépések szükségesek. Az említett görbék integrálja megegyezik adott geometria mellett a LED által megvilágított területen vett átlagos fényintenzitással. Mérések alapján ismertek ezen átlagos fényintenzitás értékek különböző megtáplálási áramerősségek esetén, így a kapcsolat megteremthető az adott megtáplálási áramerősség és az aktuális LED abszolút spektrumszerkezete között.

A halogén lámpa spektrumszerkezetét a fekete test sugárzása alapján közelítjük, 3.200 K színhőmérsékletet feltételezve, az (1) összefüggés szerint:

$$E(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)}, \quad (1)$$

ahol:

- E - spektrális intenzitás [$\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$];
- λ - fény hullámhossza [nm];
- T - színhőmérséklet [K];
- h - Boltzmann-állandó [J/K];
- c - fénysebesség vákuumban [m/s].

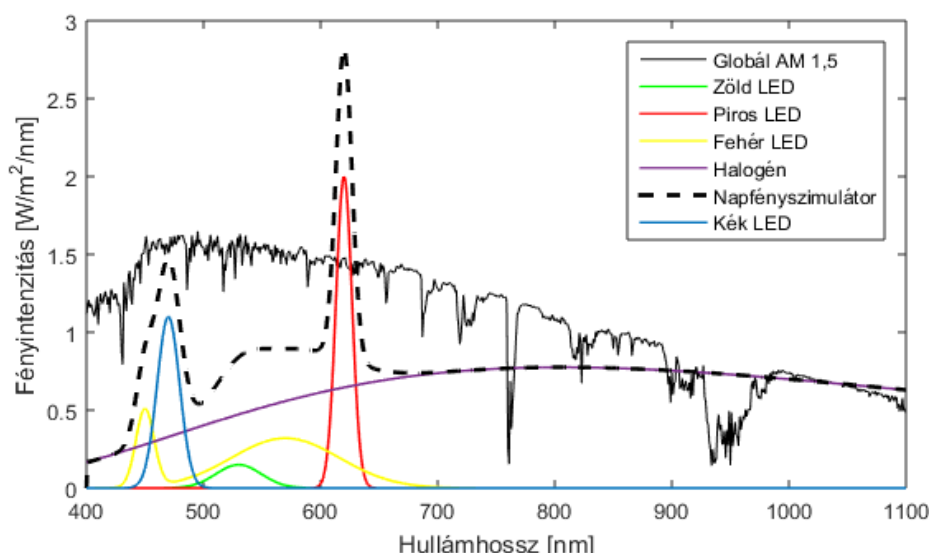
Az egyes fényforrások spektrumgörbéinek szuperpozíciója adja a napfényszimulátorra jellemző spektrumszerkezetet az adott változó paraméterek esetére. A szabvány által előírt spektrumegyezés vizsgálat során adott hullámhossz-tartományokra kell számítani a spektrumeltérést, amely a (2) összefüggés szerint tehető meg:

$$SE(\lambda_a - \lambda_f) = \frac{\int_{\lambda_a}^{\lambda_f} E_{NSz}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_a}^{\lambda_f} E_{AM1,5}(\lambda) d\lambda}, \quad (2)$$

ahol:

- $SE(\lambda_a - \lambda_f)$ - spektrumeltérés az adott hullámhossz-tartományra [-];
- λ_a - hullámhossz-tartomány alsó határa [nm];
- λ_f - hullámhossz-tartomány felső határa [nm];
- E_{NSz} - napszimulátor spektrális intenzitása [$\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$];
- $E_{AM1,5}$ - napsugárzás spektrális intenzitása [$\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$].

A spektrum optimalizálás során a LED színcsoportok azon megvilágítási áramerősség kombinációit keressük (a megengedett áramerősség határok között), amelyek esetére a (2) összefüggés alapján számítható spektrumeltérés minden hullámhossz-tartományra a szabványban foglalt *C osztálynak* megfelelő. Ezt a feladatot *MATLAB* környezetben oldjuk meg, ahol a program 625 áramerősség kombináció esetére végzi el az ismertetett módszert és határozza meg minden iteráció során a spektrumeltérést a vizsgált hullámhossz- tartományokra. Az 1. ábra a legjobb egyezést eredményező áramerősség kombinációk esetén mutatja az egyes fényforrások, a napszimulátor és a napsugárzás (globális napsugárzás AM 1,5) spektrális eloszlását.



1. Ábra: Optimális LED-halogén kombinált spektrális eloszlás

2.3. Fényintenzitás eloszlás tervezése

A megfelelő fényintenzitás eloszlás keresését próbamérések előzik meg. A LED és a halogén megvilágítás által eredményezett fényintenzitás eloszlások számítása külön történik, majd ezek szuperpozíciója adja a napszimulátor által produkált fényintenzitás eloszlást.

A LED egységek esetén a spektrumvizsgálathoz elvégzett fényintenzitás mérések eredményeit használjuk fel. Jelen esetben is 625 áramerősség kombinációra számítjuk *MATLAB* környezetben a kialakult fényintenzitás eloszlást.

A halogén lámpák esetében a változó: a darabszám és a pozíció. A lámpák helye adott (a LED mátrix sarkai és oldalfelező pontjai), azonban a vízszintessel bezárt szög, a vizsgálati síktól-, a LED mátrixtól vett távolság és a lámpák darabszáma (4 db vagy 8 db) változik. Ebben az esetben az ismertetett változók 27 kombinációjának próbája történik.

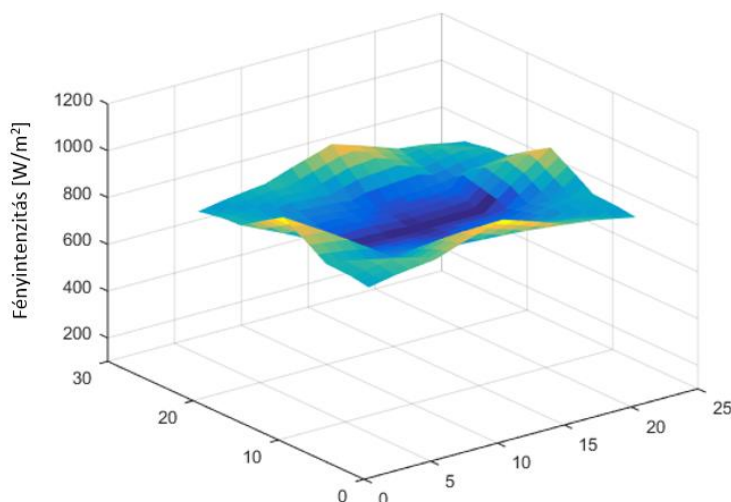
Minden kombináció esetén a program számítja a két megvilágítási típus szuperpozíciójából származó fényintenzitás eloszlást és a (3) összefüggés alapján meghatározza az adott fényintenzitás eloszlás egyenletességét. A cél a legjobb homogenitást produkáló kombináció (LED esetén áramerősségek, halogén esetén pozíció és darabszám) megtalálása.

$$T_{EGy} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}, \quad (3)$$

ahol:

- T_{Egy} - fényintenzitás eloszlás egyenetlensége [-];
 E_{max} - maximális fényintenzitás [W/m^2];
 E_{min} - minimális fényintenzitás [W/m^2].

A 2. ábra szemlélteti a legjobb homogenitást mutató fényintenzitás eloszlást a vizsgálati területen.



2. Ábra: Legegyenletesebb fényintenzitás eloszlás a vizsgálati területen

3. EREDMÉNYEK

3.1. Tervezett konstrukció

Az általunk tervezett napszimulátor konstrukciót 36 db, egyenként 3 W teljesítményű LED egység és 8 db, egyenként 50 W teljesítményű halogénizzó kombinációja és az ezeket kiszolgáló alegységek (tápegységek, hűtőborda, ventilátor és ház) alkotják. A tervezés során meghatározott megváplálási áramerősségeket a LED színcsoportok esetén (1 db LED-re értve) a 3. táblázat mutatja be. A halogén lámpák pozícióját a 4. táblázat írja le.

3. Táblázat: LED egységek megváplálási áramerősség- és feszültség értékei az eltérő színekre

Szín	I [mA]	U [V]	Szín	I [mA]	U [V]
Piros	710	2,5	Zöld	670	3,2
Kék	710	3,4	Fehér	680	4,0

4. Táblázat: A halogén lámpák pozíciója

Vízszintes távolság a LED mátrixtól	Sarkon: 30 mm	Oldalt: 34 mm
Vízszintessel bezárt szög	Sarkon: 15 %	Oldalt: 45 %
Magasság a vizsgálati tartománytól	Sarkon: 75 mm	Oldalt: 60 mm

3.2. Napfénysszimulátor szabvány szerinti megfeleléssége

A napszimulátor átlagos fényintenzitás értéke 910 W/m^2 és a fényintenzitás eloszlás homogenitása 12 % a számítások alapján. A spektrális egyezést az 5. táblázat szemlélteti.

5. Táblázat: Számított spektrális egyezés a vizsgált hullámhossz-tartományokban

Hullámhossz tart. [μm]	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,1
Spektrális egyezés [%]	12,8	67,0	82,3	67,9	81,5	115,3

4. KONKLÚZIÓ

Munkánk során a cél egy, a szabvány szerint *C osztályba* sorolható napszimulátor tervezése, amely alkalmas kisméretű napelemcellák vizsgálatára. Az eredmények alapján elmondható, hogy a fényintenzitás nagysága és homogenitása tekintetében kismértékben elmarad a szabvány szerinti előírástól. Ez a probléma valószínűleg a halogén lámpák pozíciójának további optimalizálásával megoldhatóvá válik. A spektrális egyezés esetén a megvilágítás minden hullámhossz-tartományban megfelel a szabvány szerinti *C osztály* követelményeinek, kivéve a $400 \text{ nm} - 500 \text{ nm}$ intervallumot. Ez az eredmény új, alacsony hullámhosszon domináns LED egység (ultraibolya) beépítésének szükségességét jelzi. Összeségében elmondható, hogy a halogén-LED hibrid megvilágítás segítségével viszonylag költséghatékony módon előállítható szabványos napfénysszimulátor, azonban esetünkben e cél elérése érdekében további vizsgálatok szükségesek.

5. KÖSZÖNETNYILÁVNÍTÁS



Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2-I-ME/28. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült. Szeretnék köszönetet mondani Dr. Bodnár Istvánnak e téma kidolgozásában vállalt közreműködéséért.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **WANG, W.:** *Simulate a 'Sun' for Solar Research: A Literature Review of Solar Simulator Technology*, Royal Institute of Technology, Department of Energy Technology. Swede, Stockholm, 2014.
- [2] **KOHRÁKU, S., KURAKOWA, K.:** *A Fundamental Experiment for Discrete-Wavelength LED Solar Simulator*, Solar Energy Materials & Solar Cells 90. pp. 3364-3370. 2006.
- [3] **BLISS, M., BETTS, R., T., GOTTSCHLAG, R.:** *An LED-based photovoltaic measurement system with variable spectrum and flash speed*, Solar Energy Materials & Solar Cells 93. pp. 825–830. 2009.
- [4] **BODNÁR, I.:** *Transient electrical characteristics of a solar cell in the case of a cooling and non-cooling solar cell*, ANNALS of Faculty Engineering Hunedora- International Journal of Engineering. Vol. XV. No. 4. pp. 175-178. 2017.
- [5] **BODNÁR, I.:** *Napelem hőmérsékletfüggésének kísérleten és szimuláción alapuló vizsgálata*, Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok. XII. évfolyam. 4. szám. pp. 195-206. 2017.
- [6] **ASTM International:** *E927-05, Standard Specification for Solar Imulation for Photovoltaic Testing*, United States, 2005.

MAGYARORSZÁGI VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS VÁLTOZÁSA

CHANGES IN THE ELECTRICITY PRODUCTION OF HUNGARY

BAJUSZ Patrik¹, BODNÁR István²

¹BSc. Villamosmérnök hallgató, bajusz.patrik@gmail.com

¹Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros

²Ph.D., egyetemi adjunktus, kutatócsoport vezető, vegybod@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetemi, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport, H-3515, Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A tanulmány a magyar villamosenergia-rendszert vizsgálva mutatja be a legfontosabb erőművek termelését és ütemezését. Kifejti a magyarországi atomerőmű által termelt villamosenergia meglétének szükségességét, a fejlesztések fontosságát. Betekintést nyújt a villamos energiafogyasztás és előállítás eddigi, valamint várható alakulásába. Áttekinti továbbá erőművi fejlesztéseket és tervezett leszereléseket, melyek hatást gyakorolnak mind a gazdaságra, mind a szomszédos országokkal való energia megosztási kapcsolatokra.

Kulcsszavak: erőmű, termelés, fejlesztés

Abstract: This study aims to showcase the production and scheduling of the major power plants by investigating the Hungarian electricity system. It elaborates on the necessity of the electricity generated by the Hungarian power plant and the importance of its development. It gives an insight to the state of electricity consumption and production as of now, and to its expected evolution. Furthermore, the study overviews the development of the power plant and the planned dismantles, all of them affect both the economy and the relations with the neighbouring countries regarding shared electricity.

Keywords: power plant, production, development

1. BEVEZETÉS

Az energia a legfontosabb eleme a modernkori életnek. Elképzelhetetlen nélküle életünk, mert mindennapjaink szerves részét képezik az elektromos eszközök. Ha bedugunk egy kenyérpírtót a konnektorba, akkor természetesnek vesszük, hogy az működni is fog. Mivel az elektromos áram már a háztartások többségében megtalálható és az ezzel működő eszközök száma rohamosan nő, ezért a fogyasztás mértéke is arányosan emelkedik.

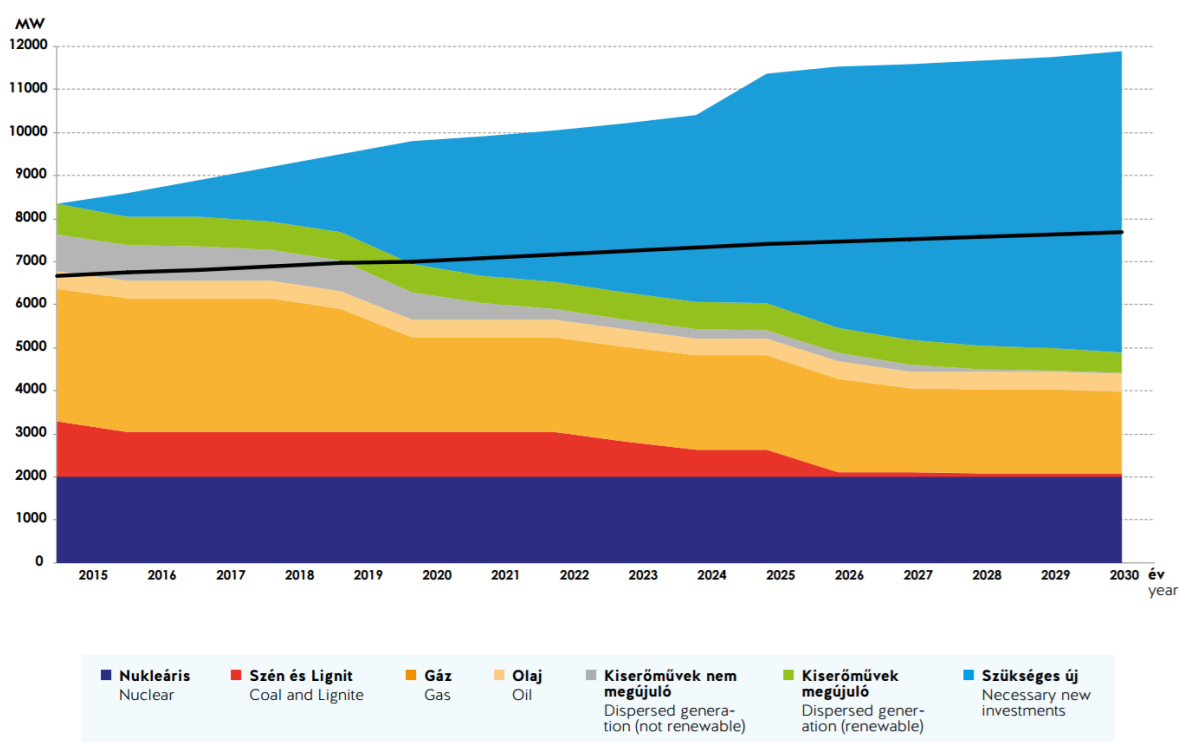
A szüntelen növekvő energiaigény az energiapiac folyamatos változását okozza. Az összenergia felhasználásból a villamos energia részarányának növekedését az mutatja, hogy míg 1920-ban 7%, 1980-ban 30%-ot is meghaladta. Előreláthatóan a továbbiakban is hasonló növekedés várható.

2. VILLAMOSENERGIA FOGYASZTÁS/ELŐÁLLÍTÁS EDDIGI ÉS VÁRHATÓ ALAKULÁSA

A hazai termelésben a villamos energiát erőművekben állítjuk elő, a legnagyobb mértékben atomenergiát használunk. A gyakorlatban ismerjük a megújuló energiaforrásokból származó energiatermelést is, azonban ez hazánkban meglehetősen alacsony mértékben terjedt el. Amíg 2014-ben Svédország 53, Finnország 39%-ban használt megújuló energiaforrásokat, addig ez Magyarországon 7%-ot sem érte el. Hazánkban a villamos energiatermelés még mindig nem

képes kielégíteni a növekvő igényeket. A következő adatok a 2016-ra vonatkoztatott erőművek energia-előállítását mutatják be [1].

Az országban lévő, rendelkezésre álló kis- és nagyerőművek bruttó beépített teljesítőképessége 8.576 MW volt, a rendelkezésre álló állandó teljesítőképesség pedig 7.020 MW. Ebből a Paksi Atomerőmű dúsított uránizotópok maghasadása során felszabaduló energiából állít elő összesen 2.000 MW-ot, a Mátrai Erőmű 920 MW-ot lignit elégetésével éri el. A teljes hazai villamosenergia-termelés 30 TWh volt, amiből a Paksi Atomerőmű 53%-ot, a Mátrai Erőmű termelése 21%-ot tett ki. Ez a két erőmű adja az összes megtermelt energia közel háromnegyed részét. A maradék ¼-et további 35 erőmű szolgáltatja, melyek nagy része földgáz felhasználásával nyerik villamos energiát. A megtermelt energia mennyisége azonban közel sem fedezi a felhasznált energia mennyiségét. Éves szinten a teljes bruttó villamosenergia-felhasználás ~30%-át az import teszi ki [1]. Ebből adódik, hogy a hazai erőműpark fejlesztésre szorul.



1. ábra: Termelői engedéllyel rendelkező erőművi kapacitások alakulása (MAVIR VER adatok 2015)

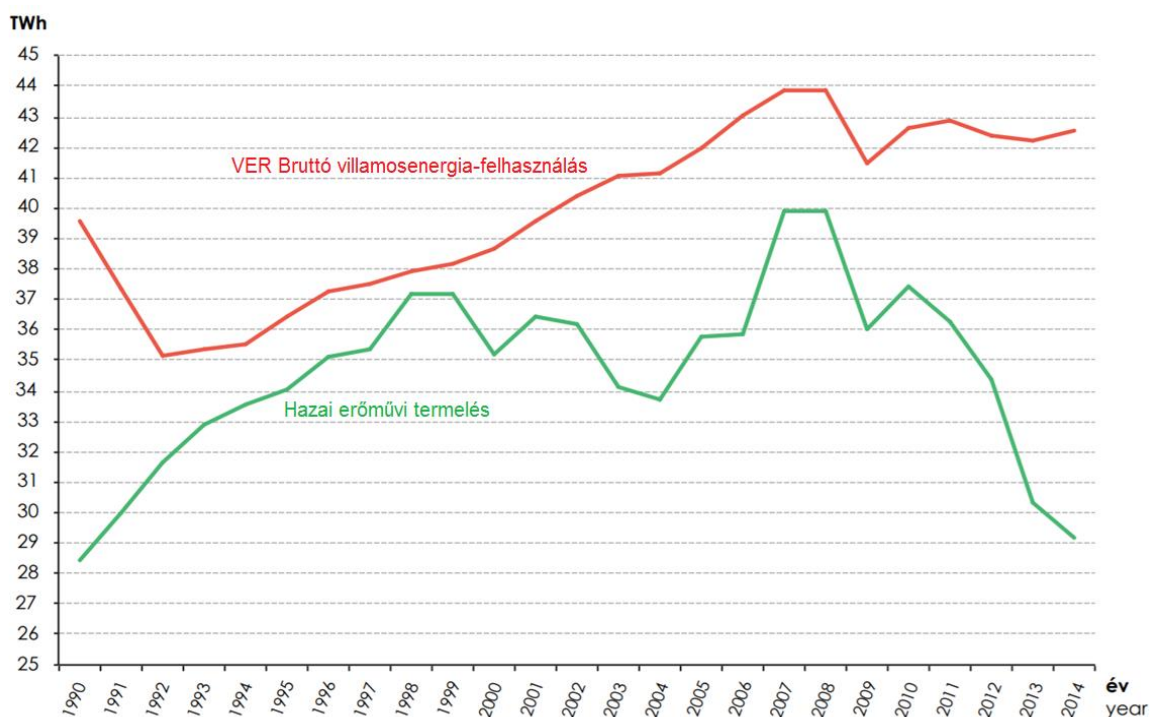
A közeljövőben több termelő egység is leállításra fog kerülni. A MAVIR előrejelzése szerint a 2020-as évek közepére 5.500 MW-ra fog csökkenni a jelenlegi 8.576 MW villamos teljesítőképesség. Az ország második legnagyobb áramtermelője, a Mátrai erőmű üzemideje 2025-ben lejár, amelyből egyedül a napelem-park üzemelhet tovább. A szén-erőművi termelés 10 éven belül teljesen megszűnhet az országban. A későbbiekben pedig a Paksi atomerőmű négy blokkjának tervezett leállítására fog sor kerülni 2032 és 2037 között. A Paksi Atomerőmű blokkjainak leállítása mellett az olyan kiserőművek 2/3-ának termelése is megszűnik, amelyek kisebb szerepet képviselnek a villamosenergia-termelésben. Ezen leállítások után több mint 3.000 MW teljesítmény kiesését fogja jelenteni a villamos termelésből, amit csak kétféleképpen tudunk kompenzálni. Az egyik megoldást jelentheti Paks II és további erőművek megépítése. A másik hiánypótló lehetőség a további nemzetközi kooperáció, azaz az import növelése. 2027-

től a Paks I és II blokkjainak közös működésének köszönhetően 4.400 MW-ra nő az erőmű teljesítménye, ami 2037-es leállítások után 2.400 MW-ra csökkenne [2].

Ez az érték ugyan nagyobb, mint a jelenlegi atomerőművi termelés, viszont a felhasználás is növekedni fog, tehát a mostani helyzethez képest nem jelent jelentős növekedést Paks II megépülése. A hosszú távú fejlesztésekre tehát mindenképp szükség van.

3. ERŐMŰÉPÍTÉSEK ELHALASZTÁSÁNAK ÉS CSÖKKENŐ BEFEKTETÉSEK OKAINAK VIZSGÁLATA

Az elmúlt 35 év adataiból tisztán látható, hogy a hazai villamosenergia-fogyasztás és erőműfejlesztések azonos irányban változtak a GDP-vel. Az ipari termelés alakulása nagymértékben befolyásolja a fogyasztást. Az ábrán megfigyelhető a rendszerváltás utáni 3 évet jellemző erős visszaesés, viszont 1994-től egy enyhén növekvő tendencia figyelhető meg az ország energia felhasználásában, amelyet megszakított a 2008-as világválság [1].



2. ábra: Bruttó villamosenergia-felhasználás 1990-2014

A 2014-ben beinduló gazdasági növekedés, ipari termelés és villamos fogyasztás növekedését eredményezte. 2015-ben pedig az előző évhez képest 3%-kal nagyobb volt a villamos-energia felhasználás. Megfigyelhető tehát egy lassú, de folyamatos növekedés, ugyanakkor az erőművek bruttó villamos-energia termelése csökkent, ezzel egy időben pedig az import mértéke jelentősen megnövekedett [1].

Erőműpark fejlesztését tekintve hazai viszonylatban leginkább két primerenergia-hordozóra lehet alapozni: hasadóanyagra és földgázra. Az olaj, szén és megújuló energia alapú erőművek gyakorlatilag elhanyagolhatók. Az elkövetkezendő 15 évben megújuló energiaforrásokra épülő nagyerőmű építése nem várható. A már korábban tervezett, de elhalasztott vízerőművek megépítése, vagy a meglévő erőművek üzemidejének meghosszabbítása részben megoldást jelenthetne a hiányzó kapacitás csökkentésére. Azonban a vízerőművek realizálódásában nem

lehet bízni. Ugyan tározós erőművek energiatermelésére szükség lenne, viszont annak esélye, hogy az országban ilyen erőművek fognak üzemelni, csekély.

Optimista becslés szerint, ha az összes erőmű-építési szándékot figyelembe vesszük, akkor 2031-re 9.399 MW-ra nő a kiszolgálható csúcsterhelés [2]. Ebben az időben kalkulálni lehet Tisza II. Erőmű bővítésével és a paksi új blokkok elindulásával. Az új teljesítőképességgel számolva jelentős exportálható többletteljesítménnyel rendelkezünk a jövőben. Az ilyen nagymértékű növekedés befolyásolhatja a Paksi Atomerőmű kihasználhatóságát. Befektetői oldalról tekintve ez a növekedés befolyásolja a tervezett erőművek megépítését azok megtérülése miatt. A további fejlesztésekben közbe játszhatnak a szomszédos országokban települő atomerőművek. Amennyiben az atomerőmű által termelt többlet exportálására nincs lehetőség, úgy a hazai beruházások megvalósulása is kétségesse válik. A több mint 10 évre való előre tekintés nehéz, és lehet, hogy pontatlan. Ezért már a hosszú távú becslések sem említik Paks I sorsát és az az után kialakuló energiaviszonyokat.

A negatív forgatókönyv alapján csak Paks II egyik blokkja épülne meg az elkövetkezendő 15 évben és a kiserőművek kapacitása is csak 35% lenne. Ebben az esetben az import szükségességét nem lehet kizárni a tervezésből. Azt is figyelembe kell venni, hogy hogyan változik a szomszédos országok energiatermelése, milyen mértékben követik a fogyasztói igények változását. Szomszédjaink esetében közép, valamint hosszú távon az erőművi beruházások elmaradása milyen kapacitáshiány okoz. Most még nem tudjuk megítélni, hogy ez Magyarországra milyen hatással lesz. A megújuló energiaforrások általi villamosenergia-termelés egyre jobban fejlődik a szomszédos országokban. Viszont ezek hagyományos tartalék kapacitások csökkenését jelenthetik a hő- és atomerőművek háttérbe szorításával.

4. ATOMERŐMŰVEKRŐL RÖVIDEN

Az eddigi elmondottakból látható, hogy volt, van és lesz jövője az atomenergia termelésnek Magyarországon. Az atomerőmű egy olyan hőerőmű, amely nem energiahordozók elégetésével nyeri az energiát, hanem a reaktorban történő nukleáris láncreakcióval. Típusa szerint megkülönböztetünk termikus és gyors reaktort. A termikus reaktor esetében a neutron nagy energiaszintről lassítják termikus sebességre. Ehhez neutron lassító anyagot, valamilyen moderátort használnak. A gyors reaktor esetében, ellentétben a termikussal, nincs moderátor, a hasítást gyors neutronok végzik.

4.1. Paksi atomerőmű

Pakson 1982 óta üzemel nyomottvizes reaktor, melynek hatásfoka megközelítőleg 32-33%. Itt a hasadóanyag 2,5%-os dúsított urán. Vagyis 97,5%-ban Urán 238-as, 2,5%-ban pedig 235 izotópot tartalmaz. A forralóvizes reaktorról szemben itt két egymástól jól elszigetelt hűtőkör van. A primer körben lévő víz felmelegszik a reaktorban, majd a gőzfejlesztőbe jutva a hőenergiát átadja a szekunder körben lévő víznek, majd lehűlve visszajut a reaktorba. A nagynyomású primer körű víz 300 fokon sem forr fel. A szekunder körben viszont alacsonyabb a nyomás, így a víz fel tud forrni és az így keletkező gőzt vezetik a turbinába, ahol meghajtja a turbinalapátokat. Ezt követően kondenzátoron átvezetve lecsapódik a gőz, majd előmelegítést követően visszavezetik a gőzfejlesztőbe.

Paks II fejlesztésében az ún. VVER-1200 típusú blokkot építik be [3]. Ezen blokkok építéskor a hangsúlyt a hatásfok és a biztonság növelése fogják kapni. Ezek a reaktorok a meglévő blokkokhoz hasonlóan nyomottvizes technológián alapulnak. A reaktorban a víz 162 bar nyomású és 330°C-ra melegszik fel. Paks II mind tervezési, mind kivitelezési szempontból jóval meg fogja haladni elődjét, Paks I-et. Sok éves mérnöki munka és fejlesztés eredményeként

kerül megépítésre és várhatóan 35% feletti hatásfokkal fog üzembe állni [4].

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Átlagosan körülbelül 1%-os éves villamosenergia-felhasználási növekedéssel számolva 2035-ig az ország teljes felhasználása elérheti az 50 TWh-t. Az említett 2031-ig előretékintő becslés után a többlet-termelést követően megint egy import növekedés várható. A jövő sok szempontból kiszámíthatatlan. Egy biztos, az ember nem élhet villamos energia nélkül. Azért, hogy a világon mindenki számára elérhető legyen ez a technológia, folyamatos innovációra van szükség.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MAVIR VER adatok 2006-2016 <https://www.mavir.hu/web/mavir/ver>
- [2] A Magyar Villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2014-2016, <https://www.mavir.hu/web/mavir/kapacitaselemzes>
- [3] HÓZER Z., PÁZMÁNDI T.: Új blokkok a paksi atomerőműben, MTA Energiatudományi Kutatóközpont, 2014.
- [4] <http://www.paks2.hu/hu/Atomenergia/AtomeromuTipusok/Lapok/default.aspx>
(Letöltés dátuma 2017. november)

VÍZERŐMŰVEK SZEREPE A VILLAMOSENERGIA-RENDSZERBEN, TÁROZÓ ERŐMŰVEK

THE ROLE OF THE HYDROPOWER PLANTS IN ELECTRICITY SYSTEMS, RESERVOIR POWER PLANTS

HODOSÁN Imre¹, BODNÁR István²

¹Villamosmérnök BSc hallgató, binyi96@gmail.com

¹Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

²Ph.D., egyetemi adjunktus, kutatócsoport vezető, vegybod@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A tanulmány a vízerőműveket mutatja be, azon belül kitérve energiatermelésük felhasználási arányára (földrészekre bontva, illetve Magyarországon), a Három-szurdok gátra (a világ legnagyobb erőművére), fajtaikra és működésükre. Bemutatjuk egy hazai tározós erőműnek lehetőségét, amely az éjszakai minimum terhelésnél többlet terhelést generál a hálózaton, majd a nappali csúcsidőszakban a tárolt vízenergia felszabadításával segíti pár ezer háztartás villamos energia igényének kiszolgálását.

Kulcsszavak: Vízerőmű, Energiatermelés, Tárolás

Abstract: The study presents hydroelectric power plants, including how the use of their power generation divided proportionally between the continents. The study shows the data of types and working conditions in Hungary, and the Three-Gorges dam which is the world's biggest dam. It shows the possibility of operating a reservoir power plant in Hungary which would be able to produce more load in the electricity system than the night shift minimum load and after during the daylight peak period helps a few thousand household to get enough energy by using the stored water energy.

Keywords: Hydroelectric powerplants, Power generation, Storage

1. BEVEZETÉS

A víz energiájának hasznosítása azért volt korlátozott a kezdeti időkben, mivel csak helyben tudták felhasználni azt. Fejlődésének óriási lendületet adott a villamos energia termelésének lehetősége, amely az energia nagyobb távolságra való szállítását biztosította, illetve amikor egy francia mérnök feltalált egy új és sokkal hatékonyabb vízikereket, amely az első sikeres turbina volt. A feltaláló Benoit Fourneyron volt. Turbinája magában foglalt több, addig nem alkalmazott újítást. Az egyik legfontosabb, hogy a vízbe merülő turbina vezetőlapátokkal rendelkezett, amely a vizet pontosan a lapátokra irányította. Ez biztosította a víz egyenletes eloszlását, ezáltal megnövelte a hatékonyságot.

A fejlődés azonban nem állt meg, újabb turbinatípusok jelentek meg. Ilyen volt a magyar Bánki Donát által kifejlesztett és róla elnevezett Bánki-turbina. További típusok is megjelentek, Francis-, Pelton-, Kaplan-turbinák. Ezek eltérő vízhozamú és esésmagasságú vizeknek az energiáját próbálták a leghatékonyabban kihasználni.

2. VÍZENERGIA TERMELÉS ARÁNYA MAGYARORSZÁGON ÉS A FÖLDÖN

Az 1. táblázatból jól kivehető, hogy Észak-Amerika termeli a világon a legtöbb elektromos áramot vízenergia hasznosításával. A vízenergia termelés és az összes villamos energiatermelést összehasonlítva Latin-Amerika termeli a legtöbbet.

Magyarországon nagyon kevés vízenergiát termelünk, mindössze 0,27 TWh-t. Ez nagyjából 1%-át teszi ki az összes villamos energiatermelésünknek.

1. Táblázat: Vízenergia termelés összehasonlítása

	Vízenergia- termelés [TWh]	Összes villamosenergia- termelés [TWh]	Vízenergia aránya [%]
Európa	453	2599	18
Észak-Amerika	642	3202	20
Latin-Amerika	281	370	76
Afrika	49	234	21
Ázsia	564	3475	16
Óceánia	39	161	24
Magyarország	0,27	29	1
összes	2028	9962	20

Magyarországon a megújuló energiaforrásokat tekintve, a vízenergia elég kis részt teszi ki.

3. A VILÁG LEGNAGYOBB ERŐMŰVE, A HÁROM-SZURDOK GÁT

A három-szurdok gát Kína Hupej tartományában, a Jangce folyón épített vízerőmű. Ez az erőmű állítja elő éves energiatermelés szempontjából a legtöbb energiát. Névleges beépített teljesítményét tekintve, ami 22,5 GW a világ legnagyobb erőműve. Ez a teljesítmény nagyjából 11 paksi atomerőművet tenne ki. Az erőműben 32 generátor van, 30 főgenerátor, amelyek egyenként 700 MW-osak, és kettő, magát az erőművet ellátó 50 MW-os generátor. Az erőműbe Francis turbinákat építettek. A generátorok 20 kV-on állítanak elő elektromos energiát [4].

4. VÍZERŐMŰVEK FAJTÁI

4.1. Ár-apály erőmű

Az ár-apály energia kiaknázásához egy árapálymedence nyíláshoz gátat kell építeni. Az alkalmas tölcseértorkolatba épített ár-apály erőművet úgy tervezik meg, hogy a dagály és az apály vízszint különbségét felhasználva energiát tudjanak előállítani, turbinák segítségével. A potenciális energia a gát két oldala közötti vízszint különbségből fakad, ami kinematikus energiává alakul, ahogy a víz átfolyik a turbinán. A turbina meghajtja a generátort, ami elektromos áramot termel [1].

4.2. Völgyzárógátas vízerőmű

Gáttal elrekesztenek egy folyót vagy egy patakot. A gát mögött felgyűlt víznek a helyzeti energiáját hasznosítjuk. A vizet ráengedjük a turbina lapátokra, ami meghajt egy generátort és elektromos energiát termel [1].

Ez az energia függ az átömlő víznek a mennyiségétől, illetve a belépő és kilépő víznek a szintkülönbségétől, amit esésmagasságnak nevezünk [1].

4.3. Üzemvíz csatornás vízerőmű

Az üzemvíz csatornás vízerőmű, a duzzasztómű duzzasztásán kívül a vízelvezetéssel nyert esést is hasznosítja. Lényege, hogy a természetes folyómederből a vizet egy mesterségesen épített üzemvíz csatornában vezetik az erőműhöz. A vizet energiájának hasznosítása után visszaterelik a természetes medrébe [1].

5. HAZAI LEHETŐSÉGEK

5.1. Tározós erőmű

Elsősorban hegyvidéken építhetők, természetes tavak, illetve folyók völgyzárógátas elrekesztésével. Ezek az erőművek energia tárolására alkalmasak. Két különböző szintmagasságú víztározóra van szükségünk, az egyik a felvíz tározó, a másik az alvíz tározó. A magasabban fekvőből (felvíz tározóból) az alacsonyabban fekvőbe (alvíz tározóba) engedik a vizet egy nyomócsövön keresztül, amit a turbina lapátokra vezetnek. A turbinák meghajtanak egy generátort és elektromos áramot termelnek [1, 3].

Ezek a tározós erőművek azért jók, mert éjszaka a két alaperőművünk, a paksi, illetve a mátrai erőmű több energiát termel, mint amennyire az országnak szüksége van. Az éjszakai többletenergiát kénytelenek vagyunk eladni olcsón valamely szomszédos országnak (Ausztria, vagy Szlovákia) akik rendelkeznek ilyen tározós erőművekkel. Nappal mikor csúcsfogyasztás van, akkor ezt az energiát drágábban visszavesszük [1, 3].

Itthon is lehetne építeni ilyen tározós erőműveket, bár az ország földrajzi viszonyai miatt kevés a lehetőség, de például a Badacsonyi tetejére lehetne építeni egy 100 m sugarú henger alakú felvíz tározót. Magassága 11 m lenne, de ezt csak 10 m-ig engednénk vízzel akkor a térfogata 314.160 m³ lenne. Alvíz tározót nem kellene építeni, ott lenne a Balaton. Az esésmagassága 150 m lenne. A térfogatárama 21,81 m³/s lenne, ha az erőmű 4 órán át üzemelne (körülbelül ilyen időtartamú a csúcsfogyasztás).

Az (1) egyenlethől kiszámítva az erőműnek a teljesítménye a veszteségek elhagyásával 16,07 MW lenne.

$$P_o = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot Q, \quad (1)$$

ahol:

- P_o - Összes teljesítmény [W];
- ρ - A víz sűrűsége [kg/m³];
- g - Nehézségi gyorsulás ($g = 9,822 \text{ m/s}^2$);
- h - A víz esésmagassága ($h = 150 \text{ m}$);
- Q - Térfogatáram [m³/s];

Ahhoz, hogy a vizet elvezessük a felvízről az erőműig, illetve fordítva, az alvízről a felvízre, szükségünk van egy nyomócsőre. A nyomócső átmérőjének viszonylag nagynak kell lennie, hogy megfelelő mennyiségű vizet szállítson a turbina lapátokra.

A cső átmérője, ha 2 m lenne, akkor a cső keresztmetszetére vonatkozó (2) egyenlet alapján kiszámítva, keresztmetszete 3,14 m².

$$A = \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot \Pi , \quad (2)$$

ahol:

- A - A csőnek a keresztmetszete [m^2];
 d - A csőnek az átmérője [m];

A csőben levő víznek a térfogatárama és a keresztmetszete alapján meg tudjuk határozni a benne folyó víznek a sebességét a (3) egyenlet segítségével.

$$v = \frac{Q}{A} . \quad (3)$$

Számítás után a víz sebessége a csőben 6,95 m/s.

5.2. Veszteségek

Ahhoz, hogy meghatározzuk az erőműnek a hasznos teljesítményét, ismernünk kell a veszteségeket. A csőben folyó víznek van súrlódási vesztesége, be-és kilépési vesztesége, illetve a szelepnak is van vesztesége, ami azért kell, hogy a csőben folyó vizet el lehessen zárni, ha leállítjuk az erőművet. A veszteségi tényezők katalógus adatok, dimenzió nélküli számok.

$$H'_{\text{szer}} = \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot (\zeta_{\text{kő}} + \zeta_{\text{sze}} + \zeta_{\text{be}} + \zeta_{\text{ki}}) , \quad (4)$$

ahol:

- H'_{szer} - A csőnek a veszteségmagassága [m];
 $\zeta_{\text{kő}}$ - A cső két könyökének töréséből származó veszteség (1,6);
 ζ_{sze} - Az elzáró szelep vesztesége (0,3);
 ζ_{be} - A víznek a belépési vesztesége (0,5);
 ζ_{ki} - A víznek a kilépési vesztesége (1);

A (4) egyenlet alapján, a szerelvény veszteségmagassága 8,36 m. A cső súrlódásának a veszteségmagasságát, ha meg akarjuk határozni, előbb ismernünk kell a Reynolds számot. A szám ismeretében meghatározható, hogy egy adott átmérőjű csőben meghatározott áramlási sebesség mellett lamináris-e, vagy turbulens-e az áramlási jelleg. A szám, ha kisebb, mint 2320, akkor lamináris, ha nagyobb, akkor turbulens áramlásról beszélünk.

A Reynolds számot kiszámolva az (5) Reynolds egyenlet alapján 1383,2. Ez a szám kisebb, mint 2320, így egyértelműen lamináris áramlásról beszélünk.

$$R_e = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} , \quad (5)$$

ahol:

R_e - Reynolds szám;

μ - A víz dinamikus viszkozitása ($10,049 \text{ Ns} / \text{m}^2$);

A csőben a súrlódási veszteségmagasság meghatározásához, tudnunk kell a cső hosszát. Ez Pitagorasz-tétele alapján kiszámítható. Az egyik befogó az esésmagasság, ami 150 m , a másik befogó az erőmű és a tározó közötti távolság légvonalban, ami 100 m . Ezek alapján a cső hossza $180,3 \text{ m}$. Így már minden adat ismeretében, meg lehet határozni a csősúrlódási veszteséget. Kiszámítva (6) egyenlet alapján a csősúrlódási veszteségmagasságot, $10,2 \text{ m}$ adódik.

$$H'_{cső} = \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{64}{R_e}, \quad (6)$$

ahol:

$H'_{cső}$ - A cső súrlódási magasságvesztesége [m];

l - A cső hossza [m];

Összeadva a szerelvénynek és a csősúrlódásnak a veszteségmagasságát, az eredő veszteségmagasság $18,56 \text{ m}$, amit H'_e -vel jelöltünk.

A veszteségekbe beletartozik a generátornak, illetve a turbinának is a vesztesége. Az erőműbe Pelton turbinát érdemes tenni. Ezeket elsősorban a kaliforniai nagy esésű és kis vízhozamú folyókra tervezte Pelton. A nyomócsövön érkező víz a szabályozótűvel ellátott sugárcsőből nagy nyomáson lép ki a járókerék kettős kanalaiba. A vízhozamot a szabályozótű előre és hátra mozgatásával, illetve a sugárlevágóval lehet szabályozni. E kettős szabályozással elkerülhetők a hosszú nyomóvezetékben kialakult nyomáslengések. Hatásfoka 90% is lehet.

Ezek ismeretében meg lehet határozni a hasznos teljesítményt (Ph):

$$Ph = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot (h - H'_e) \cdot Q \cdot \eta_t \cdot \eta_g, \quad (7)$$

ahol:

H'_e - Eredő magasságveszteség [m];

η_t - Turbina hatásfoka (0,85);

η_g - Generátor hatásfoka (0,9);

A (7) egyenlet alapján a hasznos teljesítmény $10,77 \text{ MW}$. Ez a teljesítmény nagyjából 3700 háztartás energiaigényét tudná ellátni 4 órán keresztül.

5.3. Hatásfoka

Ugyanilyen veszteségek mellett a visszaszivattyúzási teljesítmény $16,07 \text{ MW}$ lenne. Ennek

ismeretében meg lehet határozni a rendszer hatásfokát a (8) egyenlet alapján.

$$\eta = \frac{P_h}{P_{\dot{o}}} \cdot 100\% . \quad (8)$$

Kiszámítva ezt, a rendszer hatásfoka 64,4%.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, ÖSSZEFOGLALÓ

Belátható, hogy Magyarországon nagyon kevés a vízenergia felhasználása. Területi adottságok miatt se lehetne jó, nagy teljesítménnyel rendelkező tározós erőműveket építeni. Nincsenek magas hegyeink, mint Ausztriának vagy Szlovákiának, amely egy nagy teljesítményű tározós erőműhöz elengedhetetlen.

Az általunk tervezett erőmű mintegy 3.700 háztartás energiaigényét tudná fedezni 4 órán keresztül. Tehát egy közepes teljesítményű csúcserőmű lenne.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **NOVOTHNY F.:** *Villamosenergia-ellátás I.* KKMF, 1994.
- [2] **LAJOS T.:** *Áramlástan alapjai*, jegyzet, Budapest, 1992.
- [3] **GÖÖZ L. – KOVÁCS T.:** *Vízenergia.*
- [4] <https://www.britannica.com/topic/Three-Gorges-Dam>
(Letöltés dátuma 2017. november)

BIOMASSZA GÁZOSÍTÁSA SORÁN FELSZABADULÓ SZINTÉZISGÁZ ÖSSZETÉTELÉNEK SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATA

SIMULATION AND THEORETICAL ANALYSIS OF BIOMASS SYNTHESIS GAS

BOLDIZSÁR Csongor

Energetikai mérnök MSc hallgató, ösztöndíjas kutatóhallgató, boldizsar.csongor.balint@gmail.com
Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: Napjainkban a biomasszából történő energiahasznosítás igencsak nagy érdeklődésre tart számot, de még mindig számos a kiaknázatlan lehetőség. Például megemlíthető a mezőgazdasági és erdészeti melléktermékek, valamint a települési szilárdhulladék lerakókban termelődő gázok hasznosítása. A biomassza-gázosítással előállított szintézisgáz alkalmas kombinált ciklusú erőműben történő hő- és villamosenergia-termelésre. A szintézisgáz összetételének és fűtőértékének meghatározására termokinetikai modellt használtam. A tanulmány során különböző összetételű és nedvességtartalmú biomasszát vizsgáltam.

Kulcsszavak: biomassza, gázosítás, szimuláció

Abstract: Nowadays, biomass has become of great interest, but there are still many unexploited possibilities for the utilization of biomass for energy purposes. For example, the utilization of agricultural and forest industry by-products and gases produced in the landfills can be mentioned. The synthesis gas generated by biomass gasification is suitable for utilize in heat and power generation in a combined-cycle power plant. I have used thermokinetic modeling to determinate the compositions and the heating value of the synthesis gas. I have executed analysis for different compositions and moisture content of biomass

Keywords: biomass, gasification process, simulation

1. BEVEZETÉS

Magyarország köztudottan mezőgazdasági ország, ez természetesen a megújuló energiaforrások felhasználását tekintve is igaz, a hazai biomassza-potenciál körülbelül 328 PJ-ra tehető, amiből jelenleg 49,2 PJ kerül hasznosítása [1].

A biomassza a benne rejlő lehetőségnek köszönhetően a terület- és a településfejlesztésben, valamint a kistérségek munkahely-teremtésében kiemelt szerepet játszhat. Továbbá a biomasszán alapuló fejlesztések lehetőséget adnak a decentralizált energiatermelés megvalósítására további erőművek létesítésével, amik amellet, hogy zöldenergiát termelnek, még bevételi forrást is jelenthetnek a települések számára [2].

Nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy a biomasszát ugyan megújuló energiaforrásként tartjuk számon, de csupán véges mennyiségben áll rendelkezésünkre, energetikai célú hasznosítása ezért csak korlátozott keretek között valósulhat meg. A hasznosítás során figyelembe kell venni, hogy az energiaforrás megújulási ciklusideje rövidebb legyen, mint amilyen ütemben azt használjuk, annak érdekében, hogy elkerüljük a túlzott kiaknázást [2].

A gázosítás az egyik legrégebben alkalmazott eljárás szilárd halmazállapotú fosszilis és megújuló energiahordozók éghető szintézisgázzá és folyékony üzemanyaggá történő átalakítására. A gázosítás az anyagok gyors hőbontásán alapuló, parciális oxidációval lejártszódó folyamat, amely így a tökéletes égéshez szükséges elméleti oxigénmennyiséghez képest kisebb oxigénszükséglettel rendelkezik (az ideális légfeleslegtényező: 0,5). Az alapanyagban található szerves vegyületek részleges oxidációja közben szintézisgáz szabadul fel, ami akár nyersanyagként, vegyipari szintézisekben, vagy tüzelőanyagként hasznosítható.

A tisztított szintézisgázból rendszerint gázmotorban, vagy gázturbinában kombinált ciklusban elégetve villamos- és hőenergiát állítanak elő, de számottevő a vegyipari szintézisekben történő alkalmazása, főleg a metanol gyártásban [2].

2. MÓDSZER

A tanulmány fő célja a biomassa gázosításának szimulációja és a szintézisgáz elméleti elemzése a GASEQ program segítségével, a bemenő anyagok összetételétől és a technológiai paraméterek változásától függően. Egy másik cél a legfontosabb energetikai hatékonyságot jellemző mérőszámok számítása; a legfontosabb mérőszámok a kémiai és energiakonverziós hatásfok, valamint a hő- és a villamos-energetikai hatékonyság, amit a biomassa összetétele, nedvesség- és hamutartalma, valamint az alkalmazott segédgáz mennyisége és típusa is befolyásol [3].

A modellezés kiinduló lépéseként meg kell adni az összetételnél az alapanyagot felépítő molekulát, ezt követően a keletkező termék összetevőinek listáját, valamint az üzemi nyomást és a hőmérsékletet. Legideálisabb a biomasszát felépítő cellulóz molekula lenne, de ezt a vegyületet a program nem tartalmazza, ezért a tüzelőanyag listában egy, a cellulózhoz hasonló vegyületet, a fenolt (C_6H_5OH) választottam ki a helyettesítésére. Mivel a fenol molekula nem tartalmaz elegendő oxigén- és hidrogénmennyiséget, ezért szükséges volt korrekciót alkalmazni, hogy megfelelő legyen a kémiai összetétel. Ezen kívül a valóságos tüzelőanyagoknak van nedvességtartalma is, így annak a hozzászámítása is elengedhetetlen volt [2].

A reakcióhatásfok megmutatja, hogy a szilárd tüzelőanyag energiatartalmának mekkora része jelenik meg az előállított gáztermékben:

$$\eta_r = \frac{\dot{m}_g \cdot F_g}{\dot{m}_b \cdot F_b} , \quad (1) [2]$$

ahol:

η_r	–	a reakcióhatásfok;
$\dot{m}_g$ [kg/s]	–	a szintézisgáz tömegárama;
F_g [MJ/kg]	–	a szintézis gáz fűtőértéke;
$\dot{m}_b$ [kg/s]	–	a biomassa tömegárama;
F_b [MJ/kg]	–	a biomassa fűtőértéke [4].

A relatív energiasűrűségváltozás pedig a hagyományos égetéshez viszonyítva számszerűsíti a gázosítás jóságát:

$$\Delta e_{rk} = \frac{e_{gázosítás}}{e_{tüzelés}} , \quad (2) [2]$$

ahol:

Δe_{rk}	–	a relatív energiasűrűségváltozás;
$e_{gázosítás}$	–	a gázosítás fajlagos energia kihozatala;
$e_{tüzelés}$	–	a hagyományos tüzelés fajlagos energia kihozatala [4].

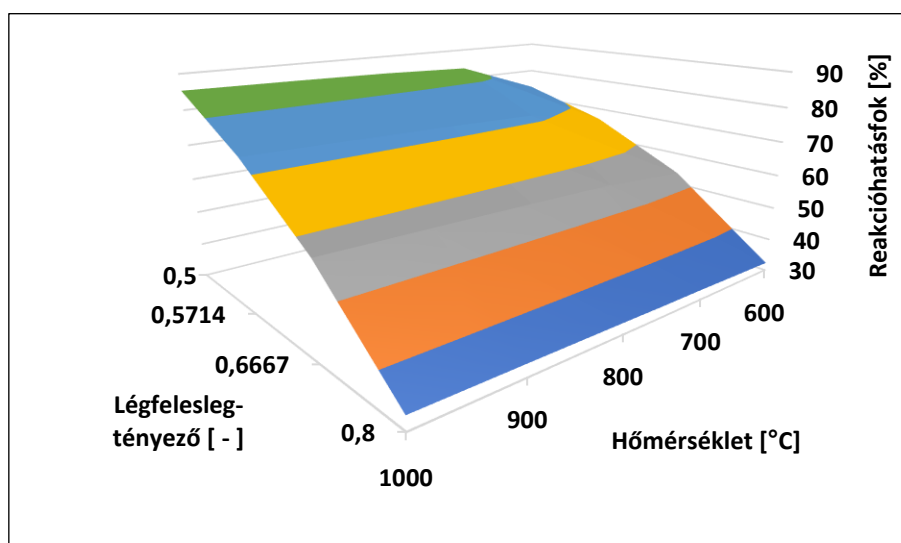
Biomassa gázosítása során a Diesel ciklus, a hagyományos tüzelés esetén pedig a Rankine-Clausius ciklus hatásfokával számoltam [4].

3. EREDMÉNYEK

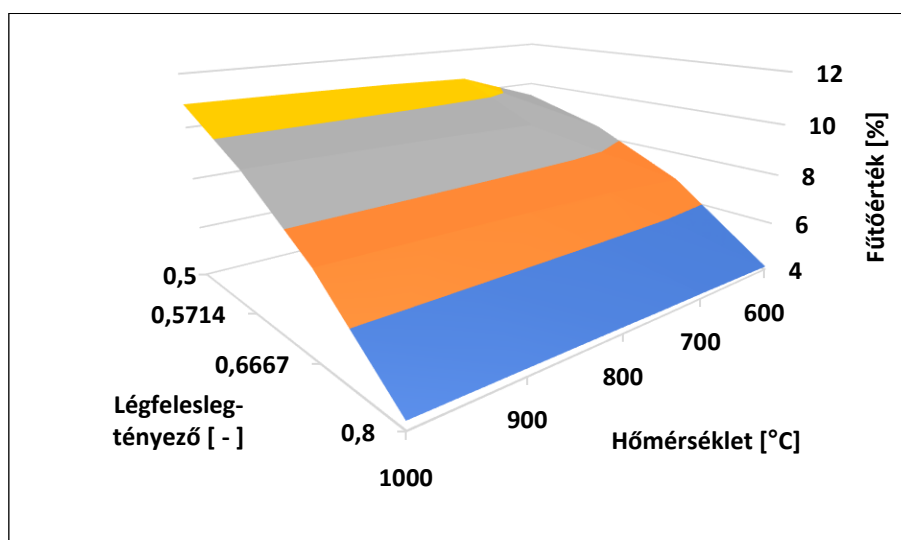
Állandó, 10%-os nedvességtartalmú bükk, illetve fenyő (1. Táblázat) gázosításának szimulációját végeztem el állandó nyomáson (1 bar-on), azonban változó hőmérsékleten és változó légheslegtenyezővel.

1. Táblázat: A kiválasztott biomasszafajták (száraz bázis, tömegarány)

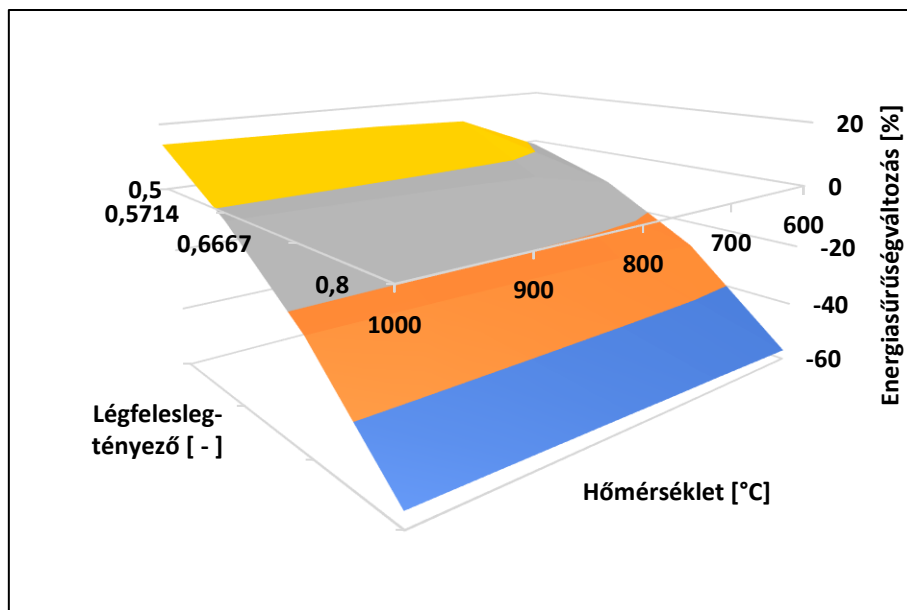
	C	H	O	N	Hamu	HHV [MJ/kg]
Fenyő	52,00	6,07	41,55	0,28	0,10	14,1758
Bükk	51,60	6,30	41,50	0,00	0,60	14,1523



1. ábra: Bükk gázosítása során felszabaduló szintézisgáz reakcióhatásfoka

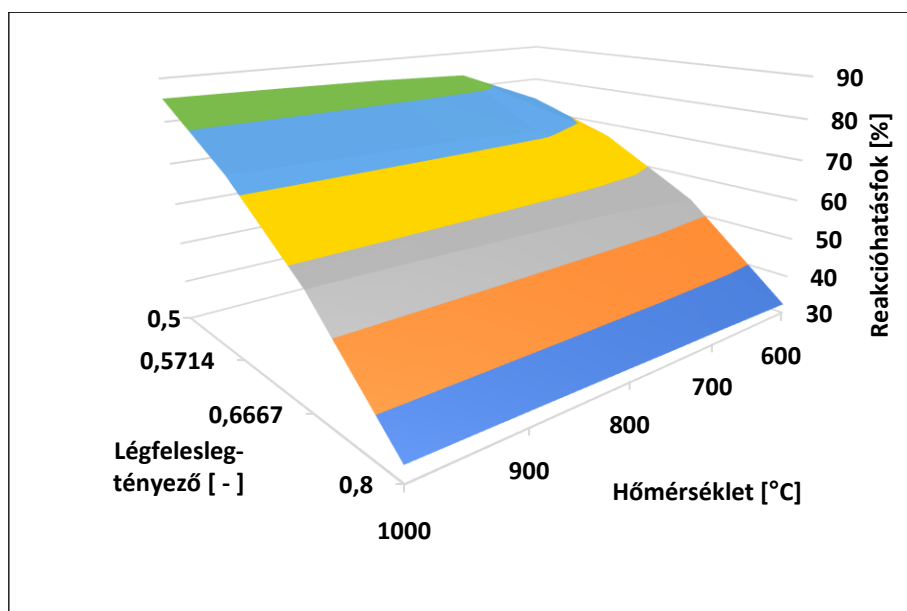


2. ábra: Bükk gázosítása során felszabaduló szintézisgáz fűtőértéke

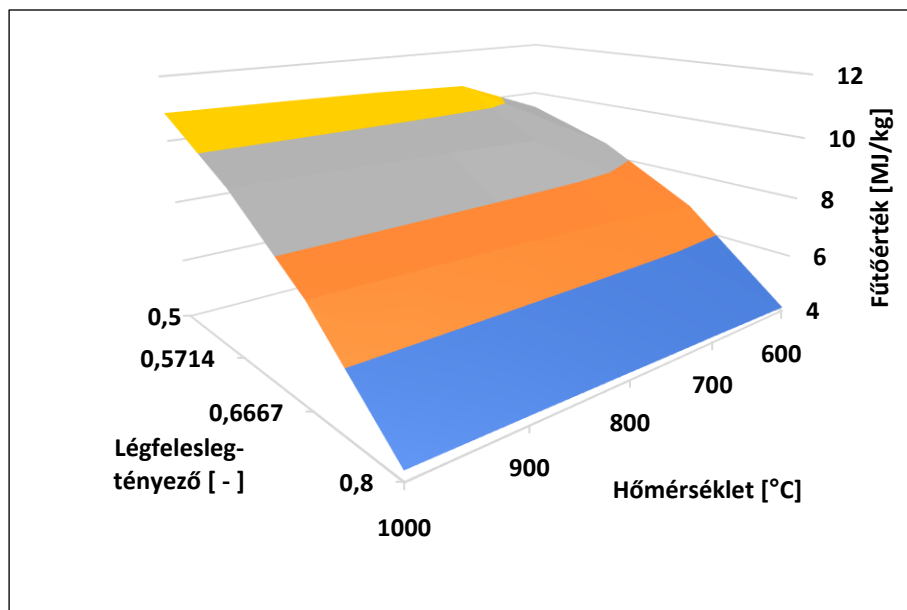


3. ábra: Bükk gázosításának az energiasűrűségváltozása

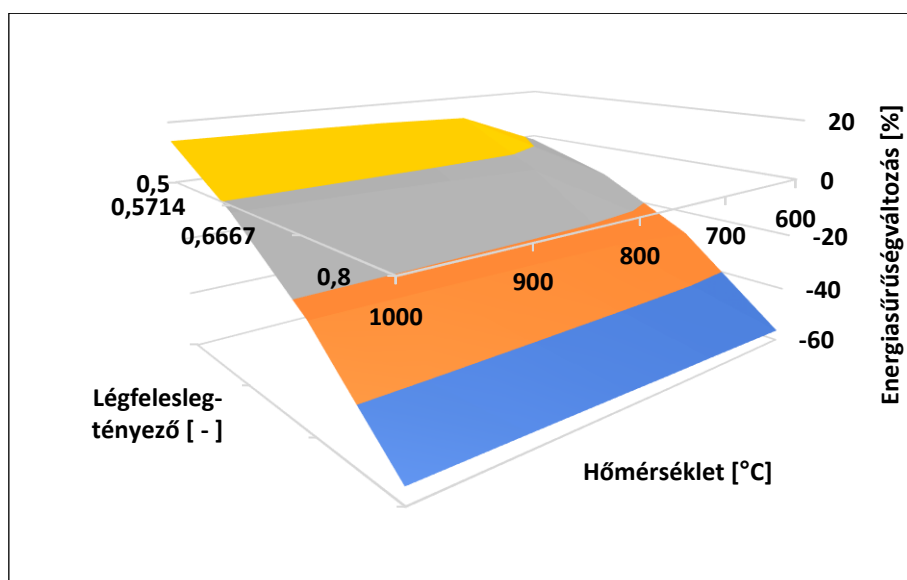
Az 1-3. ábrán látható, hogy mind a három összehasonlított érték (a reakcióhatásfok, a szintézis gáz fűtőértéke és az energiasűrűségváltozás) hasonló tendenciát mutat. A hőmérséklet függvényében egyik érték sem változik jelentősen, azonban a légfeleslegtényező növelésével drasztikus csökkenés állapítható meg. Látható, hogy az energiasűrűségváltozás 0,57-nél nagyobb légfeleslegtényező esetében negatív értéket vesz fel, ez azt jelenti, hogy a hagyományos eltüzelés során nyerhető energia nagyobb, mint a gázosítás során felszabaduló szintézis gáz felhasználásával termelhető energia.



4. ábra: Tölgy gázosítása során felszabaduló szintézisgáz reakcióhatásfoka

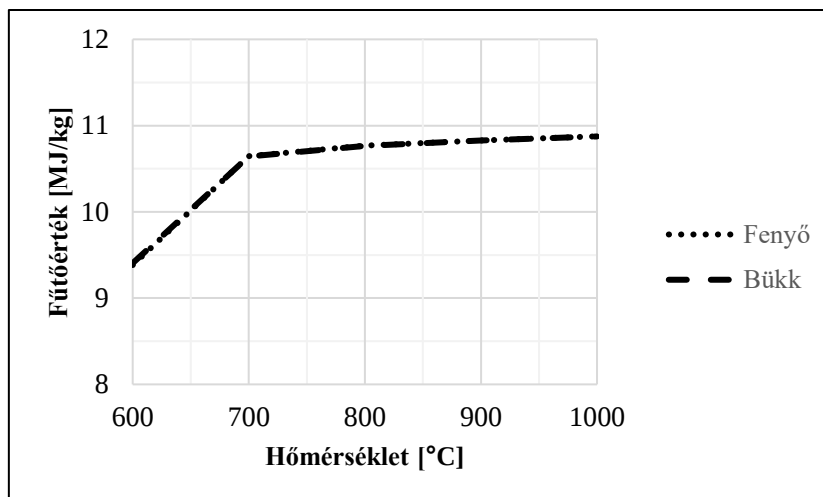


5. *ábra:* Tölgy gázosítása során felszabaduló szintézisgáz fűtőértéke



6. *ábra:* Tölgy gázosításának az energiasűrűségváltozása

Az 4-6. ábrán látható, hogy a tölgy gázosításának mutatószámai hasonló tendenciát mutatnak, mint ami a bükk gázosítása során adódott. Az energiasűrűségváltozás ebben az esetben is 0,57-nél nagyobb légfeleslegtényező esetében negatív értéket vesz fel.



7. ábra: Fenyő és bükk gázosítása során felszabaduló szintézisgáz fűtőértéke a hőmérséklet függvényében

A 7. ábra 0,5-ös légfeleslegtényező mellett mutatja a fűtőérték alakulását a gázosítási folyamat üzemi hőmérsékletének függvényében. Látható, hogy 600-700 °C között közel 15%-kal nő a fűtőérték, azonban e fölött nem datálható jelentős növekmény. Az ábra rendkívül jól szemlélteti, hogy a két fafajta gázosítása során előállított szintézis gázelegyek fűtőértékében jelentéktelen a különbség, ez elsősorban az faösszetétel hasonlóságának tudható be.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A modellvizsgálatokat az egyensúlyi állandók módszerével, rögzített hőmérséklet és üzemi nyomás mellett végeztem el, amelyhez a GASEQ nevű, a NASA- módszeren alapuló szoftvert alkalmaztam. Két különböző fafajtát hasonlítottam össze, eredményül pedig az adódott, hogy az energetikai hatékonyságot jellemző mérőszámok közel állandók a hőmérséklet függvényében, azonban a légfeleslegtényező növelésével drasztikus csökkenést mutatnak.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GYULAI, I.:** *A biomassza dilemma*. Negyedik átdolgozott kiadás, Magyar Természetvédők Szövetsége, Föld Barátai Magyarország, 2010.
- [2] **DR. BODNÁR, I.:** *Fás szárú biomasszák és települési szilárd hulladékok termikus hasznosítása*. Miskolci Egyetem, 2017. p. 164. ISBN 978-963-12-7604-6.
- [3] **BODNÁR I.:** *Fagázosítás energetikai hatékonyság-vizsgálata különböző gázosító közegek alkalmazásával*. Műszaki Tudományos Közlemények 3. A XX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak Előadásai. Erdélyi Múzeum- Egyesület, Műszaki Tudományok Szakosztálya, Kolozsvár, Románia, 2015. pp. 99-102. ISSN 2393-1280
- [4] **BODNÁR I.:** *Efficiency of co-Generated Power Production Based on Woody Biomass*. Journal of Computer Science and Control Systems. Vol. 10. Nr. 1., May 2017, pp. 5-10.

FAGÁZOSÍTÁS THERMOKINETIKAI MODELLEZÉSE VÁLTOZÓ ÜZEMI PARAMÉTEREK MELLETT

THERMOCINETICS MODELING OF GASIFICATION WITH VARIABLE OPERATING PARAMETERS

ISKI Patrik

Villamosmérnök BSc hallgató, kutató hallgató, iskip95@gmail.com
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport,
H-3515 Miskolc- Egyetemváros

Kivonat: A társadalom energiafelhasználása az elmúlt évszázadok során jelentősen növekedett. A növekvő energiaigények és a fosszilis energiahordozók gazdaságosan kitermelhető készleteinek csökkenése idővel rákényszeríti majd az embereket, hogy alternatív módon termeljék meg a szükséges energiamennyiséget. A publikációban a megújuló energiaforrásnak számító biomassza energetikai hasznosításának lehetőségével foglalkozunk, ezen belül az elgázosítás optimális paramétereit keressük. Az alapanyag ismertetése és a folyamathoz szükséges technológiai egységek rövid áttekintése után, különböző reakciók során keletkezett szintézisgázok mennyiségét hasonlítottuk össze. A kiértékeléssel elősegíthető az alapanyag kihasználtságának javítása, és a tüzelőanyag energiataralmának átalakítása a legjobb hatásokkal.

Kulcsszavak: megújuló energiaforrás, biomassza, gázosítás, szintézisgáz, energiataralom

Abstract: Energy consumption of the society has increased significantly during the last centuries. The growing energy demand and decrease of the fossil energy stock which can be extracted economically will force the people to produce the necessary quantity of energy in alternative method, in this publication we deal with possibility of using biomass as renewable energy source, especially we searching the optimal parameters of gasification. After describing of the material and short review of the technological units which are necessary to the process, we compare the quantity of synthesis gases which were generated in different reactions. The evaluation can help to improve utilization of the raw material and transform the energy content of the fuel with the best efficiency.

Keywords: renewable energy source, biomass, gasification, synthesis gas, energy content

1. BEVEZETÉS

Az emberiség működésének alapvető feltétele az energiatermelés. A társadalom energiafelhasználása az elmúlt évszázadok során jelentősen növekedett. Az energiaellátás minden igényt kielégítő biztosítása azonban napjainkban komoly feladat és jelentős környezetterhelést eredményez. Mivel egyetlen gazdasági ágazat sem működhet energia-átalakító folyamatok nélkül, joggal állíthatjuk, hogy a környezetkímélő energiatermelés a jelen és a jövő kulcskérdése. Környezetkímélő energiatermelésen azt az energianyerési koncepciót értjük, amely céltudatosan törekszik a legkisebb környezeti kárt okozó energiatermelési formák kiválasztására, fejlesztésére és elterjesztésére, továbbá minden energianyerési formánál (különös hangsúllyal az erősen szennyező fosszilis tüzelőanyagokra) az átalakítás maximális hatékonyságát kívánja elérni, és a keletkező szennyezőket a technika minden lehetséges eszközével igyekszik ártalmatlanítani [1].

Cikkünkben a megújuló energiaforrások közé tartozó fás szárú biomasszából történő villamos energiatermelési módszert elemezzük, modellezzük, hogy melyek a legideálisabb körülmények az energia előállítás szempontjából, természetesen úgy, hogy a környezetszennyezés a legalacsonyabb legyen.

2. BIOMASSZA

A megújuló energiák és energiahordozók között továbbra is a biomassza a meghatározó. Ezeken belül is a fának kitüntetett szerepe van. A biomassza valamely élettérben (szárazföldön és vízben) egy adott pillanatban jelen lévő szerves anyagok és élőlények (mikroorganizmusok, növények, állatok) összessége. A létrejött szerves anyag mennyisége a zöld növények által a fotoszintézis során a Nap sugárzó energiájából átalakított és megkötött kémiai energia.

A biomasszán alapuló energiatermelés beruházási költségei lényegesen kedvezőbbek lehetnek, mint a többi megújuló energiaforrás esetében, hiszen a régi széntüzelésű erőművek viszonylag kis költséggel átalakíthatók, míg egy új szélerőmű park, egy vízerőmű, vagy egy korszerű és nagyméretű naperőmű létesítése jelentős költségekkel jár [4].

2.1. Biomasszák elemi összetétele

Az ipari tüzelőberendezésekben használt tüzelőanyagoknak, azok elemi összetételének (1. táblázat) akkora hatása van az égési folyamatokra, hogy az égéssel együtt történő vizsgálatuk elengedhetetlen. A fás szárú biomasszák kéntartalma alacsonyabb, nedvességtartalma jelentősebb, fűtőértéke kisebb és illótartalma nagyobb, mint a fosszilis tüzelőanyagoknak. A nitrogéntartalom is kisebb, így csökken a tüzelőanyag nitrogéntartalmából eredő nitrogén-oxid kibocsátás és a kén-dioxid emisszió. Cikkünkben az elsődleges biomasszákkal foglalkozunk, azon belül is a fás szárú erdő- és mezőgazdasági melléktermékekkel, mivel elsősorban a szilárd halmazállapotú tüzelőanyag gázzá történő átalakítását szeretnénk tárgyalni [1, 6].

1. Táblázat: A tüzelőanyagként felhasználható biomassza elemi összetétele és fűtőértéke

Biomassza	Kémiai összetevők (%)					Fűtőérték (MJ/kg)	Hamu (%)	Illó éghető (%)
	C	H	O	N	S			
Búzaszalma	45	6	43	0,6	0,12	17,3	5,28	74
Kukoricaszár	44	5,8	40	1,3	0,12	17,5	8,78	76
Fa	47	6,3	46	0,1	0,02	18,5	0,52	85
Kéreg	47	5,4	40	0,4	0,06	16,2	7,14	75
Fa+kéreg	47	6,0	44	0,3	0,05	18,1	2,65	82
Miscanthus	46	6,0	44	0,7	0,01	17,4	3,2	80

3. GÁZOSÍTÁS

A gázosítás az egyik legrégebben alkalmazott eljárás szilárd halmazállapotú fosszilis és megújuló energiahordozók éghető szintézisgázzá és folyékony üzemanyaggá történő átalakítására. A gáztüzelés mindazon jó tulajdonságokkal rendelkezik, mint az olajtüzelés, viszont további előnyei is ismertek. Ezek például, hogy az égéstermékek tisztábbak, illetve kevesebb bennük a káros szennyeződés. A gázosítás során felszabaduló szintézisgáz hasznosítása történhet gázturbinákban, ezek legfőbb előnye a berendezések kis mérete, ami nagymértékű gyártóműi készre szerelést, rövid építési időt és alacsony beruházási költséget tesz lehetővé. A legelterjedtebb megoldás a környezeti levegőt beszívó és az égőtérben keletkező gázt egy azonos tengelyre szerelt turbinában expandáltató nyílt ciklusú gázturbina. Fontos tudni, hogy a gázturbinák általában alkalmasak igen gyors (az elhatározástól a teljes terhelésig 7-15 perces) indításra is, így alkalmazhatjuk például egy gyorsindítású csúcserőműben, villamosenergia-termelésre [2, 6].

A folyamat során keletkező termékek halmazállapot szerint lehetnek:

- szintézis gáz, amely tartalmazhat például szén-monoxid (CO), metán (CH₄), hidrogén (H₂), acetilén (C₂H₂), etilén (C₂H₄), szén-dioxid (CO₂), összetevőket, és nitrogén-oxidokat (NO_x);
- folyékony termék, ezek közé tartozik az olaj, kátrány, bomlási víz;
- szilárd végtermék csoportjába tartozó pirolízis koks, valamint a salak és a hamu.

4. TERMOKINETIKAI MODELLEZÉS

A modellezés célja azon paraméterek megkeresése, melyek segítségével a biomasza optimális elgázosítása valósítható meg. A modellvizsgálat során meghatározhatjuk az előállított gáztermék összetételét, fűtőértékét, továbbá azt is, hogy milyen egyéb kémiai-energetikai tulajdonságokkal rendelkezik a szintézisgáz. Ezen paraméterek kulcsfontosságúak a hatékony energiatermelés megvalósításához. Ahhoz, hogy a biomasza elgázosítás során a hőmérsékletének és légfelesleg tényező értékének függvényében a felszabaduló gáz milyen összetevőket és azokat milyen mennyiségben tartalmaz szükséges meghatározni az elemi összetételt.

4.1. A modell alapegyenlete

A kibővített modellegyenlet levegő gázosító közeg alkalmazása esetén a moláris anyagmegmaradás tétele alapján a következő módon írható fel:

$$\begin{aligned} & \text{CH}_k\text{O}_l + N_m \cdot \text{H}_2\text{O} + m \cdot \text{O}_2 + (3,76 \cdot m + a_n) \cdot \text{N}_2 = \\ & = x_1 \cdot \text{H}_2 + x_2 \cdot \text{CO} + x_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + x_4 \cdot \text{CO}_2 + x_5 \cdot \text{CH}_4 + x_6 \cdot \text{O}_2 + x_7 \cdot \text{NO} + x_8 \cdot \text{NO}_2 + x_9 \cdot \text{N}_2 \\ & \quad + x_{10} \cdot \text{N}_2\text{O} + x_i \cdot \text{C}_d\text{H}_f\text{O}_g \end{aligned} \quad (1)$$

ahol:

N_m – a tüzelőanyag egy mólnyi karbon-tartalmára vonatkoztatott nedvességtartalma;

m – a moláris oxigénigény;

3,76 – a nitrogén és az oxigén aránya a levegőben;

a_n – a tüzelőanyag nitrogéntartalma;

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_i$ a keresett értékek, azaz a keletkező gázösszetevők moláris mennyisége, amelyek a modellegyenlet megoldásával adódnak.

4.2. Az egyensúlyi állandók módszere

A paraméteres alapegyenletek megadása azért szükséges, mert ezeket felhasználva építettük fel a modellvizsgálatokat. A bemeneteli összetételek függvényében és a keletkező termékek ismeretében felírt (1.) összefüggés jobb oldalán ismeretlen mennyiségeket tartalmaz. Az egyenlet megoldására az egyensúlyi állandók módszerét választottuk, ami a Gibbs-féle szabad-energia minimalizálásának elve ((2.) összefüggés) alapján oldja meg az egyenletet. Az egyenlet megoldására a Gaseq nevű szoftvert használtuk [3, 6].

$$\frac{G}{R \cdot T} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i \cdot G_i^0}{R \cdot T} + x_i \cdot \ln \frac{x_i}{\sum x_i} + x_i \cdot \ln p \right) \quad (2)$$

ahol:

- p – a rendszer nyomása;
- G – a Gibbs-féle szabad energia;
- G_i – 0 az i -dik alapanyag 1 mol anyagmennyiségre vonatkoztatott fajlagos szabad energiája normál légköri nyomás esetén;
- x_i – az i -dik alapanyag anyagmennyisége a keverékben;
- R – az egyetemes gázállandó;
- T – pedig a rendszer hőmérséklete.

A G/RT hányados egyensúlyi minimumát az elemi összetétel határozza meg.

A kezdeti és peremérték-feltételek:

Karbon egyensúly: $1 = x_2 + x_4$

Hidrogén egyensúly: $k + 2 \cdot n = 2 \cdot x_1 + 4 \cdot x_3$

Oxigén egyensúly: $1 + n + 2 \cdot m = x_2 + x_3 + 2 \cdot x_4$

Víz-gáz reakció egyensúlyi állandó: $K = \frac{x_1 \cdot x_4}{x_2 \cdot x_3}$

A légfelesleg tényező (λ):

$$\lambda = \frac{m}{m_{elméleti}} \quad (3)$$

ahol:

$m_{elméleti}$ – a tökéletes égéshez tartozó elméleti moláris oxigénigény.

4.3. A Gaseq szoftver

A fentebb ismertetett számítási módszert alkalmazza a Gaseq nevű szoftver. Kémiai egyensúlyi folyamatok elemzése céljából fejlesztették ki, így ideális a használata a gázosítási eljárások vizsgálatára. A művelet szimulálásával megfigyelhettük, hogy a bemenő paraméterek változtatása hogyan befolyásolja a gázosítás során keletkező gáz összetételét.

A szoftver megnyitása után meg kell adnunk néhány beállítást, hogy a számítás a megfelelő feltételek mellett történjen (1. ábra). Elsőnek az angolszász mértékegységet SI mértékegységre célszerű állítani, ilyenkor a szoftver két nagy szövegdoboza is színt vált. Ezután válaszuk ki azt a lehetőséget, ahol a modellezés egy előre meghatározott hőmérsékleten és nyomáson történik. Ezeket az értékeket adjuk is meg a szoftver középső nagy szövegdobozában, ügyelve rá, hogy a hőmérséklet Kelvinben, a nyomás atmoszférában legyen.

Mind ezek után bevisszük a gázosítani kívánt alapanyag elemi összetételét és a gázosító közeget. Ilyenkor befolyásolhatjuk a nedvességtartalmat és a légfelesleg tényezőt is. A biomasszára történő modellezéskor elengedhetetlen megadni az alapanyagot felépítő molekulát. A legideálisabb molekula a cellulóz lenne, ez sajnos nem található meg a programban. Így szükséges keresni a cellulózhoz nagyon hasonló molekulát. A legmegfelelőbb választás a fenol (C_6H_5OH), ami egy aromás szerkezetű, kristályos szilárd anyag. Végezetül már csak azt kell beállítanunk, hogy mely összetevők keletkezésével kell számolni.

Amennyiben egy összetevőt kifelejtünk a listáról, a program automatikus üzenetet küld, így a modellezés során is változtathatunk a paramétereken. A modellezést többféle fajtára elvégezhetjük, jelen esetben a 2. táblázatban található fajtákat elemeztük.

Problem Type
Equilibrium at defined T and P ☐ Frozen Chemistry

Input File Page Title
Previous Next

Reactants

Species	Mass	MassFrac	K
H2O(L)	0.25000	0.08346	
H	0.00670	2.24e-03	
O	0.21283	0.07105	
N	0.00000	0.00000	
C6H5OH	0.52596	0.17558	
air	2.00000	0.66767	

View Species
Add Delete
Clear Reacts Clear Prods
Clear All R>P R<P

Stoichiometry, Phi 2.359 Set Uniform T

H C N A R

Calculate (F10)

3
Auto-increment a reactant conc or property by double clicking it.

--Reactants--		--Products--	
293.	Temperature, K	1123.	
1.0	Pressure, atm	1.0	
	Volume Products/Reactants	4.3137	
	Moles Products/Reactants	1.12549	
0.423	H0, kcal/mol	-15.082	
45.541	S0, cal/mol/K	57.508	
8.953	Cp, cal/mol/K	8.741	
1.285	Gamma, Cp/Cv	1.294	
27.62	Mean Molecular Weight, g	24.54	
1.1486	Density, kg/m3	0.26627	
336.6	Sound speed, m/s	701.6	
15.33	Enthalpy, H, kcal/kg	-614.67	
1649.04	Entropy, S, cal/kg/K	2343.67	
-5.75	Intern Energy, U, kcal/kg	-705.62	
-467.83	Free Energy, G, kcal/kg	-3246.62	
324.19	Cp, cal/kg/K	356.23	
24.0434	Volume, m3	92.153	
2.50E+19	Molecules/cc	6.54E+18	
4.16E-05	Moles/cc	1.09E-05	
1.80E-05	Viscosity, kg/m/s	3.77E-05	
1.57E-05	Kinematic Visc, m2/s	1.42E-04	
2.95E-02	ThermCond, cal/m/K/s	6.07E-02	
7.92E-05	ThDiffusivity, m2/s	6.40E-04	

Products

Species	Mass	MassFrac	K
AR	0.02648	0.00884	
N2	1.51061	0.50430	
H2	0.03920	0.01309	
CO	0.55681	0.18588	
HCN	3.776e-07	1.26e-07	
H2O	0.26154	0.08731	
CO2	0.60081	0.20057	
H	2.081e-09	6.95e-10	
OH	1.395e-10	4.66e-11	
O	1.445e-17	4.82e-18	
CN	3.645e-17	1.22e-17	
NH3	2.507e-05	8.37e-06	
CH4	2.149e-05	7.17e-06	
C2H4	1.854e-11	6.19e-12	
C2H2	2.840e-12	9.48e-13	
CH3	4.685e-11	1.56e-11	
NO	1.179e-12	3.94e-13	
CH2O	1.094e-07	3.65e-08	
HCO	1.043e-10	3.48e-11	
NH2	3.525e-12	1.18e-12	
NH	1.417e-16	4.73e-17	
N	1.791e-19	5.98e-20	
CH	1.601e-24	5.35e-25	
CH2	3.203e-18	1.07e-18	

1. ábra: Gaseq szoftver kezelő felülete

2. Táblázat: Biomasszák kémiai összetétele

Fajta	Kémiai összetétel [tömegszázalék/száraz bázis]					
	C	H	N	S	O	Hamu
<i>Tölgyfa</i>	53,7	5,4	0	0	40,3	0,6
<i>Bükkfa</i>	51,6	6,3	0	0	41,5	0,6
<i>Akácfa</i>	49,5	5,9	0,4	0	43,3	0,9
<i>Erdei fenyő</i>	50,1	6,1	0,2	0	43,4	0,2
<i>Energiafűz</i>	50,9	5,6	0,2	0	41,8	1,5

Mivel a szoftver nem tartalmazza a megfelelő molekulát így a fenol molekula használatakor szükséges némi korrekciót alkalmazni, hogy megfelelő legyen a kémiai összetétel. A fenol nem tartalmaz elegendő hidrogén- és oxigénmennyiséget. Ezen kívül a valóságos tüzelőanyagoknak van nedvességtartalma, így annak a hozzászámítása is elengedhetetlen volt. A korrekcióhoz szükséges ismernünk a fajták H/C és O/C arányát, melyet a 3. táblázat tartalmaz. A korrekcióval kiszámított összetétel már helyes közelítése a valóságos biomassza anyagának. A fenoltartalom teljes mértékben magában foglalja a szénmennyiséget. A hidrogénmennyiséget kisebb, az oxigénét viszont nagyobb mértékben kell módosítani. A megkapott mennyiségek Gaseq szoftverbe való bevitele és a szimuláció lefuttatása után megkapjuk a tényleges gáz összetételt. A légszükséglet tényező megadásával változtathatjuk a szükséges levegő mennyiségét.

3. Táblázat: Fafajták H/C és O/C aránya

	<i>Tölgyfa</i>	<i>Bükkfa</i>	<i>Akácfa</i>	<i>Erdei fenyő</i>	<i>Energiafűz</i>
H/C	1,20	1,45	1,42	1,45	1,31
O/C	0,56	0,60	0,66	0,65	0,62

4.3. Az elemzési adatok kiértékelése, összegzése

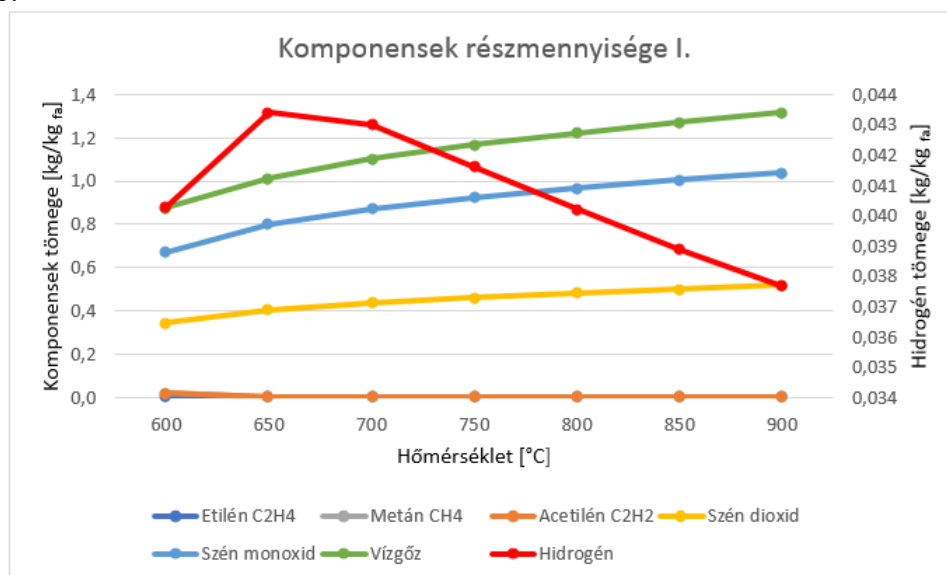
A korábban említett fafajták elgázosításának modellezését 600 és 900 °C közötti hőmérsékleteken végeztük el. A légfesleg tényező értékét 0,5 és 0,8 között változtattuk. A modellezést megismételtük különböző nedvességtartalmak figyelembe vételével. Minden esetben 1 kg tömegre számoltuk ki az összetételt. A nyomást 1 atmoszférának választottuk.

Az általunk vizsgált fafajták kémiai összetételüket tekintve közel megegyeznek, a számított eredmények jellegüket tekintve nem mutatnak számottevő eltérést, ezért a továbbiakban csak egy bizonyos fafajtának az eredményeit ismertetem. A választott fafajta a tölgyfa, mert az élőfa-készlet a tölgyfából viszonylag nagy. Az akácfa után a második leggyakoribb fafajta hazánkban.

A modellezések alapján azt tapasztaltuk, hogy széntartalmú tüzelőanyag termikus kezelése során, a légfesleg függvényében változik a szintézis gázok mennyisége. A $\lambda = 0$ közeli hagyományos pirolízis során jellemzően az acetilén (C_2H_2) és az etilén (C_2H_4) mennyisége meghatározó. A gázosítási eljárás folyamán viszont az a karbonmennyiség, ami nem oxidálódott, a hidrogénnel egyesülve metán (CH_4) formájában szabadul fel. A keletkezett gázkeverék összetétele legnagyobb arányban hidrogénből, szén-monoxidból, széndioxidból, vízgőzből, és metánból áll. Ezek mellett még számos elem és molekula is megtalálható.

4.4. Komponensek részmennyisége

A szén-monoxid mennyiségét vizsgálva, látható, hogy a hőmérséklet növelésével a mennyisége is megnő a szintézisgázban (2. ábra). A hidrogén mennyiségét vizsgálva megfigyelhető, hogy minél alacsonyabb az oxidáló közeg mennyisége, annál több hidrogéngáz fejleszthető.



2. ábra: 25% nedvességtartalmú, $\lambda = 0,6$ -os, elgázosítás folyamata során keletkező gázkeverék komponenseinek tömege

Amennyiben a hőmérsékletet is figyelembe vesszük, akkor 700 °C-on érhető el a maximális hidrogéntermelés. Ez azonban energetikai szempontból nem biztos, hogy a legoptimálisabb,

hiszen a hidrogén égése közben keletkező víz kondenzációjával is számolnunk kell, ami rontja a gázunk fűtőértékét. Mivel a hidrogén és a szén-monoxid is energetikailag jól hasznosítható éghető gáz, ezért szükséges keresnünk egy olyan hőmérséklet optimumot, ahol a legkedvezőbb a gázok mennyisége.

5. ENERGETIKA HATÉKONYSÁGOT JELLEMZŐ PARAMÉTEREK

Manapság az egyik legfontosabb kérdés az energiahatékonyság. Az energiahatékonyság szorosan kapcsolódik a kereskedelmi, az ipari versenyképesség, és egyre fontosabbá vált a környezetvédelem is.

Az energetika számítás célja az, hogy számszerűen meg tudjuk mondani, a gázosítással több villamos energiát tudunk-e előállítani, mint a hagyományos égetéssel. A fajlagos villamosenergia-sűrűségváltozás egy olyan (százalékban) megfogalmazott mérőszám, amivel meg tudjuk becsülni mennyivel hatékonyabb villamos energetikai megközelítésben a gázosítás a tüzelésnél. Először azonban a reakció hatásfokot szükséges meghatározni, amely megmutatja, hogy a szilárd tüzelőanyag energiatartalmának mekkora része jelenik meg az előállított gáztermékben [1].

$$\eta_r = \frac{e_k}{F_{fa}} \quad (4)$$

ahol:

- η_r – a reakció hatásfok;
- e_k – a gáz energia tartalma a fára vonatkoztatva;
- F_{fa} – a konkrét fajtája fűtőértéke.

$$E_{eé} = \eta_{turbina} \cdot F_{fa} \quad (5)$$

$$E_{eg} = \eta_{gázmotor} \cdot e_k \quad (6)$$

ahol:

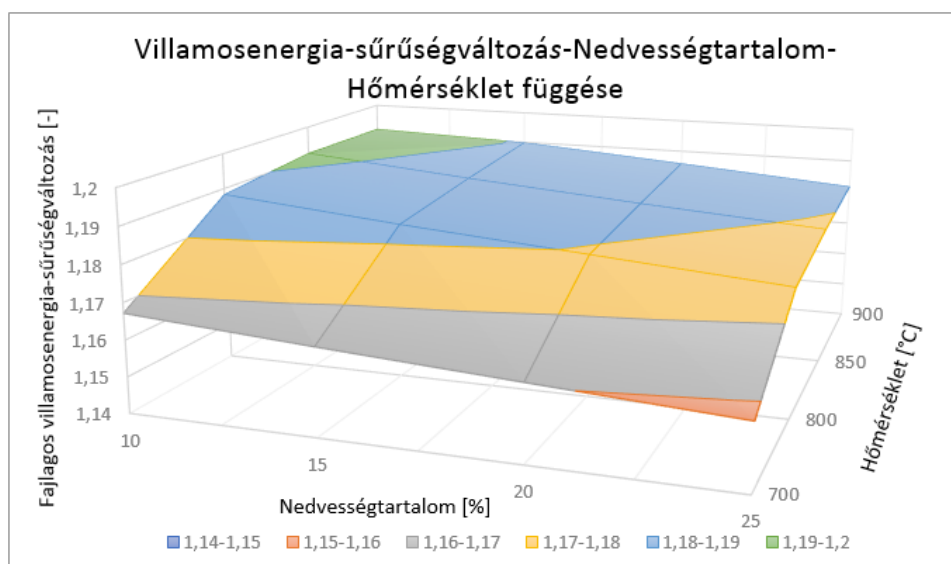
- $\eta_{turbina}$ – a gőzturbinák hatásfoka;
- $\eta_{gázmotor}$ – a gázmotor hatásfoka;
- $E_{eé}$ – az égetés hatékonysága;
- E_{eg} – a gázosítás hatékonysága.

$$\Delta e_e = \frac{E_{eg}}{E_{eé}} \quad (7)$$

ahol:

- Δe_e – fajlagos villamosenergia-sűrűségváltozás.

A 3. ábráról leolvasható, hogy jellemzően a nagyobb hőmérsékleten végzett gázosítás során lehet nagyobb villamosenergia-termelést elérni az égetéshez képest. Ilyen esetekben hatékony és környezetkímélő villamosenergia-termelés valósul meg. Nedvességtartalomtól egyértelműen lineáris összefüggés tapasztalható. A hőmérséklet inkább exponenciális jellegű, azonban 850-900 °C-on fokon kisimul a görbe, azaz jelentéktelenné válik, így nincs értelme tovább növelni a hőmérsékletet. Látható, hogy hatékonyság tekintetében nem minden esetben kedvező a tüzelőanyagot gázosítani, de van egy kulcsfontosságú előnye, amely abban rejlik, hogy a gázosító alapú villamos erőmű gyorsabban, akár 20 percen belül is el tud indulni ellentétben az égetést alkalmazó, több órás indulási idővel rendelkező hőerőműhöz képest. Ezen eredmények segítségével a jövőben olyan új, kombinált ciklusú hibrid erőműtípusok létrehozását lehetne megvalósítani, amelyek számos előnnyel, gyorsabb rendelkezésre állási idővel, akár hatékonyabb működéssel rendelkeznek és környezetkímélőbben tudnak kapcsoltan villamos energiát előállítani biomasszából.



3. ábra: A fajlagos villamosenergia-sűrűségváltozás mértéke a nedvességtartalom és a hőmérséklet függvényében

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kiértékeléssel elősegíthető az alapanyag kihasználtságának javítása, és a tüzelőanyag energiatartalmának átalakítása a legjobb hatásfokkal. A választásunk azért erre a témára esett, mert rendkívül érdekes tudományos terület és jelentős még a fejlesztési lehetőség, mivel valóságos esetben módosítanunk kellene a veszteségek hatásával. A gyakorlatban ugyanis nagyon nehezen kivitelezhető, hogy a folyamat állandó hőmérsékleten játszódjon le, továbbá az esetleges nyomásingadozással is számolnunk kell. A kazánok felépítéséből adódóan elkerülhetetlenek az áramlási és szigetelési veszteségek. Az állandó légfelesleg tényező biztosítása is problémás lehet.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DR. BODNÁR, I.:** *Fás szárú biomasszák és települési szilárd hulladékok termikus hasznosítása.* Miskolci Egyetem, 2017. p. 164. ISBN 978-963-12-7604-6
- [2] **BODNÁR, I.:** *Efficiency of co-Generated Power Production Based on Woody Biomass.* Journal of Computer Science and Control Systems. Vol. 10. Nr. 1., May 2017, pp. 5-10.
- [3] **BODNÁR, I.:** *Fás szárú biomasszák pirolitikus hasznosításának termokinetikai modellezése.* GÉP magazin. A Gépipari Tudományos Egyesület Műszaki Folyóirata. LXVII. évfolyam 3. sz. 2016, pp. 5-12
- [4] **KERÉNYI, A.:** *Általános környezetvédelem* MOZAIK KIADÓ, 2006. P.386.
- [5] **PROF. DR. MAROSVÖLGYI, B.:** *Faenergetika és erdőgazdálkodás a klímaváltozás tükrében,* 2010. TUDOMÁNYOS TANÁCSKOZÁS
- [6] **BODNÁR, I.:** *Hulladékok energetikai célú hasznosításának vizsgálata energia-hatékonyság, költség-haszon és életciklus-elemzési módszerekkel,* Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, 2017. p. 161.

Gaseq szoftver: <http://www.gaseq.co.uk/> LETÖLTÉSI IDŐ: 2017.03.07. VERZIÓ: 0.79

HŐMÉRSÉKLET ÉS LÉGFELESLEG TÉNYEZŐ HATÁSA A GÁZ-, KOKSZ- ÉS OLAJKÉPZŐDÉSRE AKÁCFA PIROLITIKUS-ELGÁZOSÍTÁSA SORÁN

THE EFFECT OF PROCESS TEMPERATURE AND EXCESS AIR FACTOR ON GAS, COKE AND OIL FORMATION DURING PYROLYTIC-GASIFICATION OF ACACIA-TREE

BODNÁR István

Ph.D., egyetemi adjunktus, kutatócsoport vezető, vegybod@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport,
H-3515 Miskolc- Egyetemváros

Kivonat: A dolgozat az akácfa pirolitikus-elgázosításának thermokinetikai modellezésével kapott eredményit ismerteti, változó üzemi paraméterek mellett. A pirolitikus-elgázosítás egy olyan folyamat, amely során a tökéletlen égésnek köszönhetően nem füstgáz, hanem éghető komponensekben (CO_2 és H_2) gazdag szintézisgáz, olaj és kokszt képződik. A keletkező termékek kémiai összetételét a tüzelőanyag összetételén és nedvességtartalmán felül, a technológiai paraméterek is jelentős mértékben befolyásolják. Ilyen paraméter az üzemi nyomás, a gázosítási hőmérséklet, valamint a légefelesleg tényező. A tanulmány a gázosítási hőmérséklet és a légefelesleg tényező hatására bekövetkező kihozatal-változást mutatja be. Mind a hőmérséklet, mind a légefelesleg tényező növelése javuló gázkihozatalt eredményez, a kokszt és az olajképződésre pedig csökkentő hatással van. Azonban nagyobb légefeleslegek mellett és nagyobb hőmérséklettartományokban a kokszt és az olajképződés mértéke elhanyagolható.

Kulcsszavak: akácfa, pirolitikus-elgázosítás, hőmérséklet, légefelesleg-tényező, kihozatal

Abstract: This paper presents a thermokinetic modelling of gasification process, done on acacia-tree under varying circumstances and different humidity levels. The gasification process does not produce flue gas, but because of the imperfect burning, synthesis gas is produced, which is rich in flammable components (CO_2 and H_2). The chemical structure of this gas depends on the components of the fuel and the applied humidity level, but it is greatly affected by technological parameters also, such as pressure, temperature, and excess air factor. The study shows the fuel yield change, caused by the gasification temperature and the excess air factor. The increase of both the temperature and the excess air factor results in higher efficiency, while higher pressure worsens the reaction efficiency. However, at higher temperature intervals the effect of the pressure is neglectable.

Keywords: acacias, pyrolytic-gasification, temperature, air-ratio, yield

1. BEVEZETÉS

Napjaink egyik kulcsfontosságú kutatási területe az energetika, ami az energiatermelés- és felhasználás, valamint a hatékonyságnövelés köré épül. A hőenergia termelés kapcsán gyakran hallani a gázosítási technológiáról, első sorban a faelgázosító kazánok esetében. Azonban a gázosítás nem csak a hőenergia, hanem a villamosenergia-termelés folyamatába is bevonható, mivel a gázosítás fő terméke az éghető szintézisgáz, amely gázmotorokban, és gázturbinákban nagy hatásfokkal alkalmazható villamos-energia termelésére. A gázosítás mellett a pirolízis is alkalmas másodlagos tüzelőanyagok és villamos energia előállítására. A pirolízis főbb végterméke a pirolízisgáz, amely fűtőértéke a metán fűtőértékét megközelíti, a pirolízis olaj, amely finomítás után belső égésű motorok hajtóanyagául szolgálhat, valamint a pirolíziskokszt, amely karbonban feldúsult szilárdvégtermék, így széntüzelésű erőművekben kiválóan felhasználható [1, 2].

A gázüzemű erőgépek gyakran érzékenyek a bemenő gáz összetételére, fűtőértékére, minőségi paramétereire (szilárd részecskék szemcsemérete és a porkoncentráció), ezért

elkerülhetetlen a pirolízis és a gázosítás technológiájának kombinálása, a pirolitikus-elgázosítás vizsgálata. Mindemellett a technológia lehetőséget biztosít tűzifa, illetve biomassza alapú, kombinált ciklusú és hibrid- gyorsindítású erőművek létesítésére [1, 2].

2. AZ AKÁCFA ÉS TÉRHÓDÍTÁSA MAGYARORSZÁGON

Az akácfa Magyarország leggyakoribb fafajtája. A hétköznapi nyelven a fehérakácot közönségesen akácfának nevezzük. A fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) a pillangósvirágúak (Fabaceae) családjának bükkönyformák (Faboideae) alcsaládjába tartozó fa. Az Egyesült Államok délkeleti részein őshonos fafaj, melyet szerte a világon meghonosítottak, így megtalálható Európában, Ázsiában és Afrikában is, Új-Zélandon és Ausztráliában azonban nem telepedett meg. Szívós fafaj, amely számos élőhelyi sajátosságot tolerál, ezért olyan helyekre is betelepítették, ahol más fafaj nem maradna életben [7].

Magyarországon elsősorban az alföldi homok megkötésére használták, fáját az építőipar és a mezőgazdaság hasznosítja, valamint tüzelőanyagként is alkalmazzák. Május végén, június elején nyíló virágai kiváló alapanyagot biztosítanak a méhek számára. Faállománya sok helyen a helyi erdők helyét átveszi, ezért a védett területeken a szakemberek az akác irtásával védekeznek ellene. Magyarországon elsőnek az Erdődy család pozsonyi birtokán ültettek akácot a 18. század első évtizedében, majd 1710-ben Bábolnán a Szapáryak kertjében, az ő fájuk máig is áll és él (1. ábra és 2. ábra) [7].



1. ábra: Az idén 308 éves Közép- Európa legöregebb észak-amerikai akácfája a Bábolnai Szapáry család kertjében

Bábolna első számú szimbóluma a ló, viszont van egy másik is, az országszerte ismert észak-amerikai akác, amely Közép-Európa legrégebbi akácfája. Az akácfát még 1710-ben ültették az itteni földbirtokosok, a Szapáryak, arra nem is gondolva, hogy 300 év múlva az ide látogatók is ezt csodálhatják. Méretei lenyűgözőek, nagyobb távolságból hatalmas tölgynek mutatkozik. Mivel nagyon öreg, már a 60-as évektől meg kellett erősíteni az ágait, máskülönben elpusztult volna. Mellmagassági átmérője 203 cm, kerülete pedig 1,275 cm. Márványtábla és kopjafa tiszteleg kora előtt. Nagyon impozáns látványt nyújt és megható ennek a fának az élni akarása (2. ábra) [6].



2. ábra: Az idén 308 éves Közép-Európa legöregebb észak-amerikai akácfája a Bábolnai Szapáry család kertjében

Tessedik Sámuel fedezte fel, hogy az akác alkalmas az alföldi sós, futóhomokos, szikes talaj újrafásítására, gazdaságba való bevonására. Az ő nyomán kezdődött meg az Alföld hatékony fásítása. Azelőtt Mária Terézia rendelete nyomán az arra teljesen alkalmatlan fűzfát ültették az Alföldön [7].

Térhódítása hazánkban 1865 és 1895 között kezdődött, amikor is rövid idő alatt számos helyre betelepítették. 1885-re már 24,2 ezer hektár területen volt akácos. 1911-re ez a terület elérte a 109,3 ezer hektárt, 1923-ra a 110,6 ezer hektárt, 1963-ra a 154,2 ezer hektárt, 1992-re már 268 ezer hektárt. 2004-ben 394,9 ezer hektáron, 2012-re pedig már 462,7 ezer hektárt. Már a 19. században magyar fának tartották, mert annyira elterjedté vált hazánkban [7].

Azzal a feltételezéssel ellentétben, mely szerint az akác számára megfelelő a száraz, homokos talaj, az akác számára e területek nem biztosítanak ideális élőhelyi körülményeket. Ezeken a területeken az akác gyenge minőségű faanyagot biztosít, amely főleg a tűzifaként való hasznosításra teszi alkalmassá [7].

3. PIROLITIKUS-ELGÁZOSÍTÁS

A pirolitikus-elgázosítás egy lépcsőben kombinálja a pirolízis és a gázosítás technológiáját. Előnye, hogy szabályozható a keletkező gáz-, koks- és olajtermékek mennyisége, egymáshoz képesti aránya. Klasszikus értelemben a pirolízis az oxigén kizárása mellett lejátszódó hőbontási folyamat, ezzel ellentétben a gázosítás oxigénszegény környezetben megvalósuló parciális oxidáció. Míg pirolízis során három különböző fázisú tüzelőanyag jön létre (pirogáz,

pirokoks és pirolaj), addig gázosításnál csak a gázfázis (szintézisgáz) éghető. Gázosításnál szilárd fázisban az égetéshez hasonló összetételű salak és hamu marad vissza [1, 3, 4].

Pirolízist elsősorban a szilárd fázisú termék energiasűrűségének növelése céljából alkalmazzák. Gázosításnál a maximális gázhozam elérése a cél. E két termék mennyisége és kémiai összetétele egymással ellentétben áll. A gázhozam növelése segédgáz alkalmazásával érhető el, ennek eredményeként a visszamaradó szilárd termék fűtőértéke csökken. Gyakorlatilag kijelenthetjük, hogy a pirolízis és a gázosítás alkalmazása másodlagos tüzelőanyag előállítás céljából két szélsőértékű technológiát képvisel [1, 3, 4].

Az 1. táblázatban megfigyelhető, hogy a pirolízis kis hőmérséklettartományban, a gázosítás nagy hőmérséklettartományban alkalmazott technológia. A pirolitikus-elgázosítás hőmérséklettartománya a két technológia határértékei között mozog. A légszelektívezőző e technológiánál a pirolízisnél alkalmazott nulla értékről indul és a gázosítás alsó határértékéig tart. Az üzemi nyomás és a segédgáz jellemzően a gázosításnál alkalmazottakkal megegyező.

A 2. táblázat a keletkező végtermékeket tartalmazza. Pirolitikus-elgázosításnál ugyan azon végtermékek keletkeznek, mint pirolízisnél, azonban azok aránya eltérő. A gázosítást segítő segédáramok a gázhozamot növelik, ami eredményeként csökken a szilárd koks és a folyékony pirolaj, valamint kátrány mennyisége. Amennyiben nem megfelelően kerül kiválasztásra a gázosító közeg, akkor a felszabaduló pirolízisgáz fűtőértéke jócskán elmaradhat a klasszikus pirolízisnél tapasztalható értékhez képest.

1. táblázat: A vizsgált technológiák reakciókörülményei

Eljárás	Hőmérséklet [°C]	Légszelektív tényező	Üzemi nyomás [bar]	Segédáramok
Pirolízis	300 – 600 (1.000)	$\lambda = 0$ endoterm	$p \leq 1$ $p \geq 1$	- nitrogén
Pirolitikus- elgázosítás	600 – 1.000	$0 < \lambda < 0,5$	$1 \leq p \leq 20$	levegő, vízgőz
Gázosítás	600 – 1.600	$\lambda < 1$ $0,5 \leq \lambda \leq 0,8$ parciális oxidáció	$1 \leq p \leq 20$	levegő, vízgőz, CO ₂ és O ₂ keverék, ezek kombinációja

2. táblázat: A vizsgált technológiák végtermékei erőgép előtt és után

Eljárás	Keletkező termék erőgép előtt	Erőgép	Keletkező végtermék erőgép után
Pirolízis	pirogáz, pirolaj, pirokoks	gázmotor, gázturbina, dízelmotor, gőzkazán- gőzturbina	füstgáz (<5% éghető), salak, hamu, pernye
Pirolitikus- elgázosítás	több pirogáz, kevesebb pirokoks- és olaj		
Gázosítás	szintézisgáz, salak, hamu, pernye	gázturbina, gázmotor	füstgáz (<5% éghető)

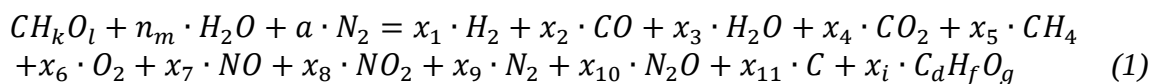
4. TERMOKINETIKAI MODELL

A termokinetikai modellvizsgálat során meghatározzuk az egyes alapanyagokból előállított gáztermékek kémiai és energetikai tulajdonságait. A folyamatok modellezésére termokinetikai modellt alkalmazunk, ami a moláris tömeg- és energia megmaradás tételén alapul [1]. A modell alkalmazásával közelítő becslést lehet adni a keletkező gáz kémiai összetételére, fűtőértékére, viszkozitására, és a lejátszódó kémiai reakciók energetikai hatékonyságára.

Mivel a modell lényege, hogy egyszerűbbé és gyorsabbá tegye a számítást, ezért az egyszerűsített modellegyenletek felírásakor egyes összetevőket, mint például a nitrogén-oxidokat, valamint az etilén és acetilén vegyületeket elhanyagoltuk. A modell-egyenlet a tüzelőanyag egy mólnyi karbon-tartalmára vonatkoztatott hidrogén- és oxigéntartalmára kerül felírásra [1, 2, 5].

A modellvizsgálatokat az egyensúlyi állandók módszerével, előre definiált elemi összetételű alapanyagra vonatkozóan, rögzített hőmérséklet és üzemi nyomás mellett végeztük el. Az egyensúlyi állandók módszere a megadott hőmérsékleten, az egyen-súlyi átalakuláshoz tartozó számítás. Lényege, hogy a Gibbs-féle szabadenergia minimalizálásának elve alapján határozzuk meg a vizsgált folyamatok során keletkező termékek összetételét. Az elemzések elkészítéséhez a Gaseq nevű, a NASA- módszeren alapuló szoftvert alkalmaztuk, amit Chris Morley fejlesztett ki és mindenki számára térítésmentesen elérhető, valamint szabadon felhasználható oktatási és nem profitorientált célokra. Elsősorban gázfázisú reagensek kölcsönhatását leíró egyenletek megoldására használható, de a termikus kezelési technológiák termokinetikai folyamatainak szimulálására is alkalmas. Abban az esetben, ha az elméleti és az alkalmazott moláris oxigénigény aránya egyenlő eggyel ($\lambda=1$), vagy egynél nagyobb, akkor visszakapjuk az égési egyenleteket [1, 2, 5].

A kibővített modellegyenlet a moláris anyagmegmaradás tétele alapján a következő módon írható fel (1) [1]:



ahol:

- n_m – a tüzelőanyag egy mólnyi karbon-tartalmára vonatkoztatott nedvességtartalma,
- a_a – tüzelőanyag nitrogéntartalma,
- x_1 – a keletkező nyers szintézisgáz moláris hidrogéntartalma,
- x_2 – a keletkező nyers szintézisgáz szén-monoxidtartalma;
- x_3 – a keletkező nyers szintézisgáz vízgőztartalma
- x_4 – a keletkező nyers szintézisgáz szén-dioxid-tartalma;
- x_5 – a metántartalom,
- x_6 – a maradó oxigéntartalom,
- x_7 – a nitrogén-monoxid,
- x_8 – a nitrogén-dioxid tartalom,
- x_9 – a nitrogéntartalom,
- x_{10} – a dinitrogén-oxid-tartalom,
- x_{11} – a visszamaradt szilárd karbon,
- x_i – a keletkező egyéb összetevők moláris mennyisége (pl.: etilén, acetilén) [1].

A modellvizsgálatok arra irányultak, hogy meghatározzuk a keletkező gáztermék kémiai összetételét, amiből származtatni tudjuk a technológiai-, valamint az energetikai hatékonyságot jellemző tulajdonságokat és paramétereket.

A paraméteres alapegyenletek megadása azért szükséges, mert ezeket felhasználva építettük fel a modellvizsgálatokat. A bemeneteli összetételek függvényében és a keletkező termékek ismeretében felírt (1) formula egyenlőségjelének jobb oldalán található ismeretlen mennyiségek meghatározására, azaz az egyenlet megoldására az egyensúlyi állandók módszerét választottuk.

A modellvizsgálatok során a modellegyenletek megoldására a Gaseq szoftverben a rögzített nyomáson és hőmérsékleten vett egyensúlyi állandók módszerét alkalmaztuk. A szoftvert kémiai egyensúlyi folyamatok elemzése céljából fejlesztették ki, így használata megfelelő a termikus kezelési technológiák vizsgálatára. A gázosítási folyamatok szimulálásával megfigyelhettük, hogy a bemenő paraméterek változtatása hogyan befolyásolja a gázosítás során keletkező gáztermék összetételét.

5. GÁZ-, KOKSZ- ÉS OLAJKÉPZŐDÉS SZÁMÍTÁSA

Energetikai átalakítási szempontból lényeges technológiai paraméter a fajlagos gáztermelés, amely megmutatja, hogy egy kg tüzelőanyagból (a segédgázokat is figyelembe véve) hány kg gáztermék állítható elő. A k_{gt} fajlagos gáztermelés [1]:

$$k_{gt} = \frac{\dot{m}_{gt}}{\dot{m}_{szt}}, \quad (2)$$

ahol:

- k_{gt} – a fajlagos gáztermelés,
- $\dot{m}_{gt}$ – a keletkező gáztermék tömegárama,
- $\dot{m}_{szt}$ – a szilárd tüzelőanyag tömegárama.

Pirolízis, valamint pirolitikus-elgázosítás során a gáztermék mellett éghető piroolaj (kátránytartalommal) és pirokoks is keletkezik, amikre vonatkozóan szintén meghatározhatók a fajlagos kihozatali értékek.

A k_{pk} fajlagos pirokoks kihozatal [1]:

$$k_{pk} = \frac{\dot{m}_{pk}}{\dot{m}_{szt}}, \quad (3)$$

ahol:

- k_{pk} – a fajlagos pirokoks kihozatal,
- $\dot{m}_{pk}$ – a keletkező pirokoks tömegárama.

A k_{po} fajlagos piroolaj kihozatal mértéke [1]:

$$k_{po} = \frac{\dot{m}_{po}}{\dot{m}_{szt}}, \quad (4)$$

ahol:

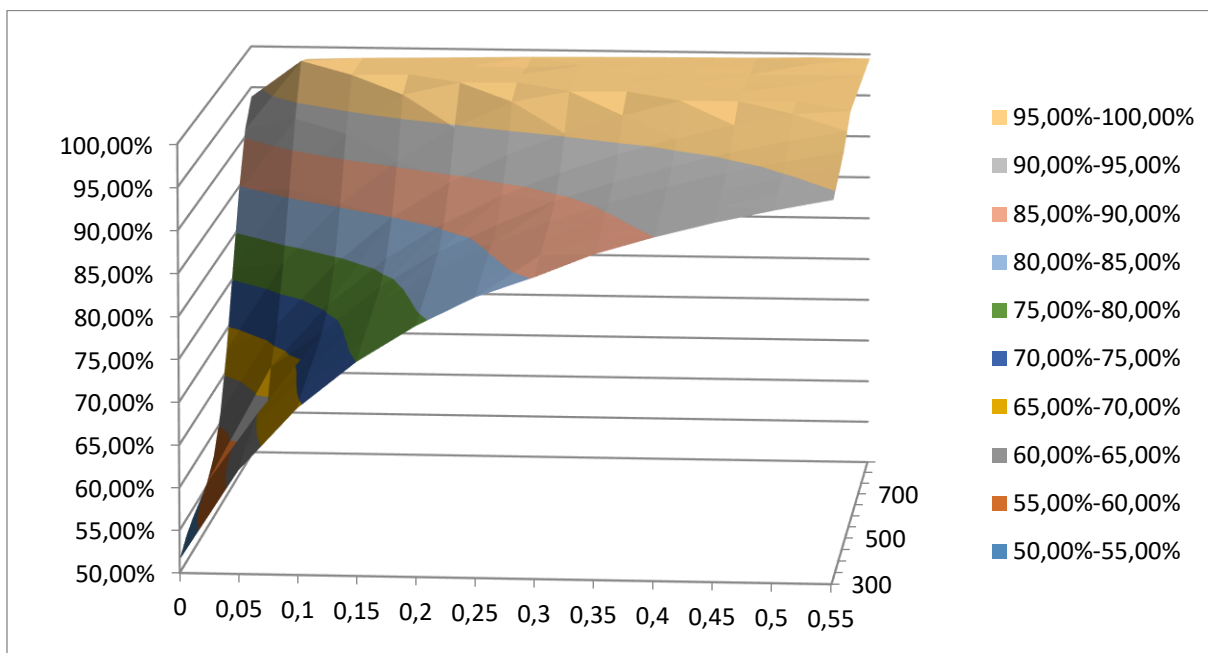
- k_{po} – a fajlagos piroolaj kihozatal,
- $\dot{m}_{po}$ – a keletkező piroolaj tömegárama.

A fajlagos kihozatalok összege egyet ad [1].

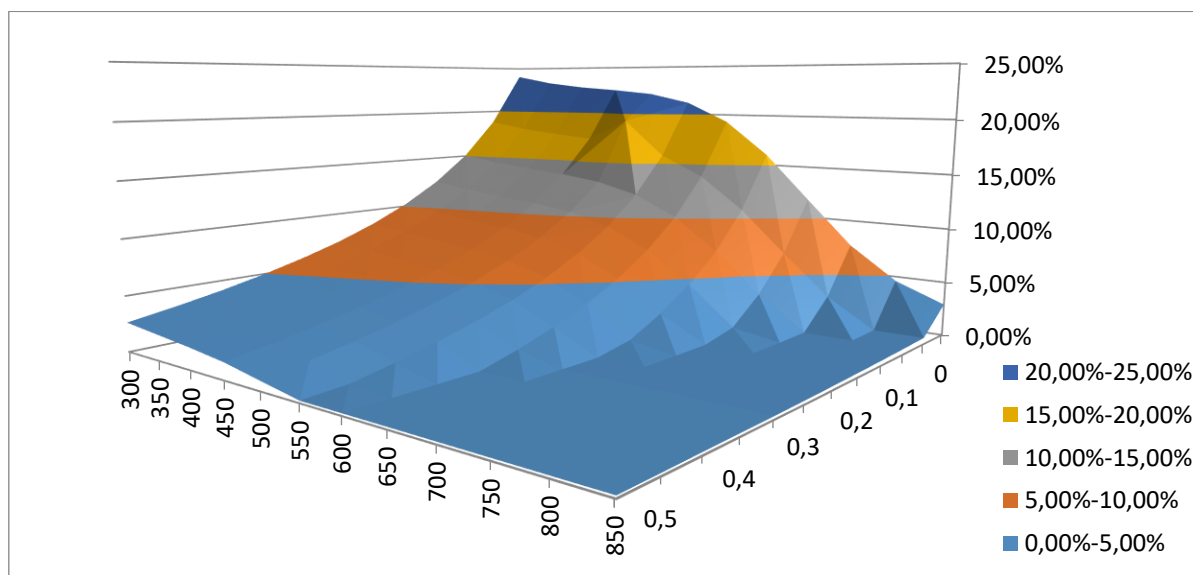
$$k_{gt} + k_{pk} + k_{po} = 1. \quad (5)$$

6. A SZIMULÁCIÓK EREDMÉNYE

A szimulációkat akácfa-ra vonatkozóan végeztem el a légfeleslegtényező és a hőmérséklet változtatásának függvényében. A vizsgált akácfa nedvességtartalma 20%. A kapott eredményeket a 3-5. ábrák szemléltetik. Az ábrákon megfigyelhető, hogy klasszikus pirolízisnél ($T=300\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\lambda=0$) a bemenő tüzelőanyag mintegy fele átlép gáz fázisba, a kokszt és az olajtermék mennyisége pedig közel azonos, negyede az alapanyag tömegének.

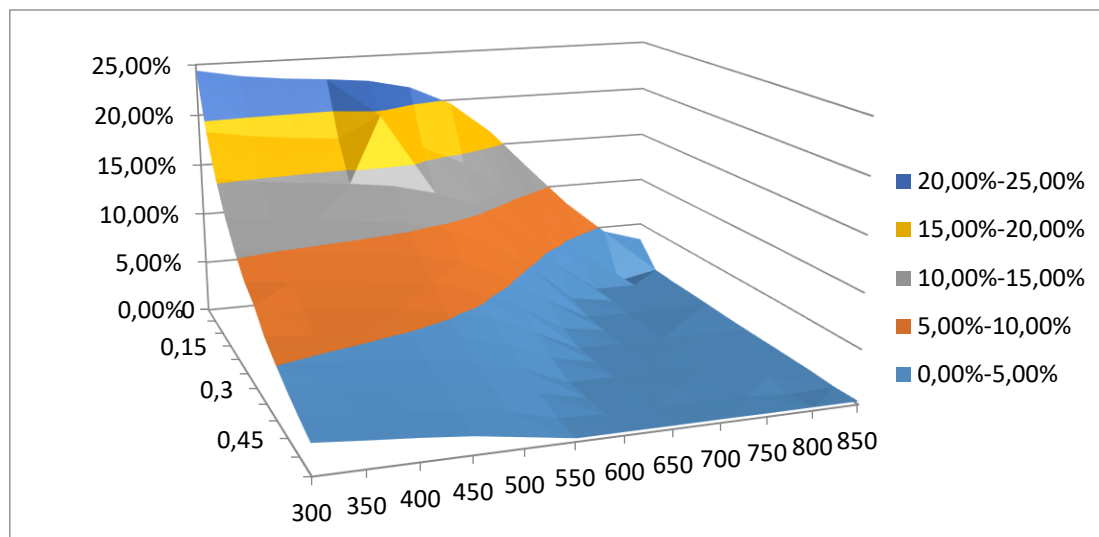


3. ábra: Gázképződés aránya a légfelesleg és a hőmérséklet függvényében



4. ábra: Kokszképződés aránya a légfelesleg és a hőmérséklet függvényében

Ahogy nő a légfelesleg tényező és/vagy a hőmérséklet, a gázképződés aránya folyamatosan nő, a kokszt és olajképződés aránya csökken. Az eredmények alapján elmondható, hogy a kokszt és az olajképződés aránya megegyező. A légfelesleg tényező exponenciális jellegű hatást fejt ki. Nagyobb légfelesleg tényező és hőmérséklet alkalmazása esetében a pirolízis kémiai folyamatát a gázosítás veszi át, ezért a gázosításra jellemző kihozatalok tapasztalhatók.



5. ábra: olaj- és kátrányképződés aránya a légfelesleg és a hőmérséklet függvényében

7. KÖVETKEZTETÉSEK, ÖSSZEFOGLALÁS

Az akácfa pirolitikus-elgázosítására készített elemzések alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy mind a légfelesleg tényező, mind az alkalmazott üzemi hőmérséklet növelésével növelhető a gázképződés aránya, és ezzel közel azonos mértékben csökkenthető a koks- és a kátrányképződés. A szimuláció legnagyobb hibája, hogy tökéletes kevertségi teret, tehát homogén anyag- és hőmérsékleteloszlást feltételez. A valós működés során az inhomogenitások nem hanyagolhatók el. Például a reaktor sugárzási és hővesztesége miatt a reaktor falhőmérséklete akár 200-300 °C-kal is kisebb lehet, mint a maghőmérséklet, ezért a reaktor falának környezetében a koks, de főleg az olajképződés jelentősebb arányú. A valós számítások során ezt figyelembe kell venni, így még 800 °C hőmérséklet és 0,5 légfeleslegtényező alkalmazása során is előfordulhat, akár 5%-os olajképződési valószínűség.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DR. BODNÁR, I.:** *Fás szárú biomasszák és települési szilárd hulladékok termikus hasznosítása*. Miskolci Egyetem, 2017. p. 164. ISBN 978-963-12-7604-6
- [2] **ZAINAL, Z. A., ALI, R., LEAN, C. H., SEETHARAMU, K. N.:** *Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modelling for different biomass material*. Energy Conversion and Management. Vol. 42. 2001. pp. 1499–1515.
- [3] **RED, T. B., DAS, A.:** *Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems*. Solar Energy Research Ins., 1988. p. 148.
- [4] **HILL, T. & DOWEN, S.:** *Pyrolysis and gasification*. Briefing (Draf 2), UK Without Incineration Network (UK WIN), 2010. pp. 1–9.
- [5] **WANG, Y., KINOSHITA, C. M.:** *Kinetic model of biomass gasification*. Solar Energy, Vol. 51. No. 1. 1993, pp. 19–25.
- [6] <http://www.babolna.hu/varosunk/ertektar/oreg-akac-menesbirtok-udvaran/> Letöltve: 2018. 01. 17.
- [7] **DR. BARTHA, D., DR. SZMOARD, F., DR. TÍMÁR, G.:** *A fehér akác (Robinia pseudoacacia L.) hazai helyzetének elemzése*. 2014. p. 23.

GÉPJÁRMŰVEK SOROS ÉS PÁRHUZAMOS DIAGNOSZTIKÁJA

THE IN-LINE AND PARALLEL DIAGNOSTICS OF MOTOR VEHICLES

VARGA JÓZSEF

Intent Hungária Kft, diag@intent.hu, www.intent.hu

Kivonat: A cikk egy rövid betekintést ad a korszerű jármű diagnosztikáról, lehetséges módozatain keresztül. Gépjárművek diagnosztikája már a hibafelvétel során elkezdődik, ügyfélpanasz majd a fizikai jelenségek vizsgálatával (hangok, szagok, szemrevételezés). Ezt követően diagnosztikai készülékkel (napjainkban soros OBDII) lekérdezzük a vezérlőegységek hibakódjait, illetve elemezzük a paramétereket. Remek kiindulópont, de a javításhoz az esetek nagy többségében kevés. Az elektromos hálózatok, jeladók és beavatkozó elemek ellenőrzéséhez szükség van párhuzamos, tehát oszcilloszkópos vizsgálatra is. Így kaphatunk átfogó képet a komplett rendszer állapotáról.

Kulcsszavak: soros és párhuzamos diagnosztika, OBD

Abstract: My article of the modern vehicle gives a short insight from diagnostics, across the possible methods. The diagnostics of vehicles begin in the course of the mistake uptake already client complaint then with the examination of the physical phenomena (sounds, smells, survey). After that continued with a diagnostic apparatus (our days OBDII with accession) we read out the error codes of the control units, than analyse the parameters concerned. Superb starting point, but to the correction in the big majority of the cases for the repair is not enough To the control of the electric networks, signallers and intervening elements there is need for a parallel so oscilloscope examination. Only this way we can hypotenuse picture from the state of the complete system.

Keywords: serial and parallel diagnostics, OBD

1. BEVEZETÉS

Jelen kor talán leggyorsabban fejlődő, ill. változó eleme a gépjármű gyártás, tervezés és természetesen a használatból adódó hibák ennek megfelelően sokasodnak. Folyamatosan változik a gyártás követő háttér ipar is. Több nehézséggel kell szembenéznie korunk szerelőinek, illetve diagnosztáknak.

A teljesség igénye nélkül említeném a rendszerek sokszínűségét:

1. Benzin üzemű
 - a) Szívó motor
 - b) Turbó feltöltős
 - c) Közvetlen (nagynyomású) befecskendezés
2. Diesel üzemű
 - a) Common-rail
 - b) PD elemes
 - c) Hagyományos
3. Hybrid
 - a) Elektromos + Benzin motor
 - b) Elektromos + Diesel motor
4. Elektromos meghajtás
 - a) Li-Ion akkumulátor
 - b) Hidrogén cellás

Ezt követően a legnagyobb nehézség, hogy elektromos és mechanikus hibák az esetek többségében elválaszthatatlanok. Felkészültség, előképzettség alapvető követelmény, de ezen felül állandó képzés, önfejlesztés szükséges. Elengedhetetlen a megfelelő műszerezettség, szerszámok és csatlakozók. Ebből egyértelműen látható, hogy nagy szükséges van a továbbiakban taglalt eljárások szakszerű alkalmazására. Autószerelő és autóvillamossági szerelő tevékenységek összeolvadnak, nehéz lenne különválasztani. Leginkább a hibrid autók kettőssége okozhat nehézséget, de adott problémára fókuszálva nem bonyolultabb.

2. SOROS DIAGNOSZTIKA

Nem csupán „motor-diag”, de főleg nem hibakód olvasás/törlés! Közelebb állunk a valósághoz, ha ECU (elektronikus vezérlő egység), illetve rendszer diagnosztikáról beszélünk. Korábbi felsorolás már előre vetítette, sokrétűbb eme munkafolyamat. Talán a modern autójavítás legfontosabb eleme.

Két csoportra oszthatom:

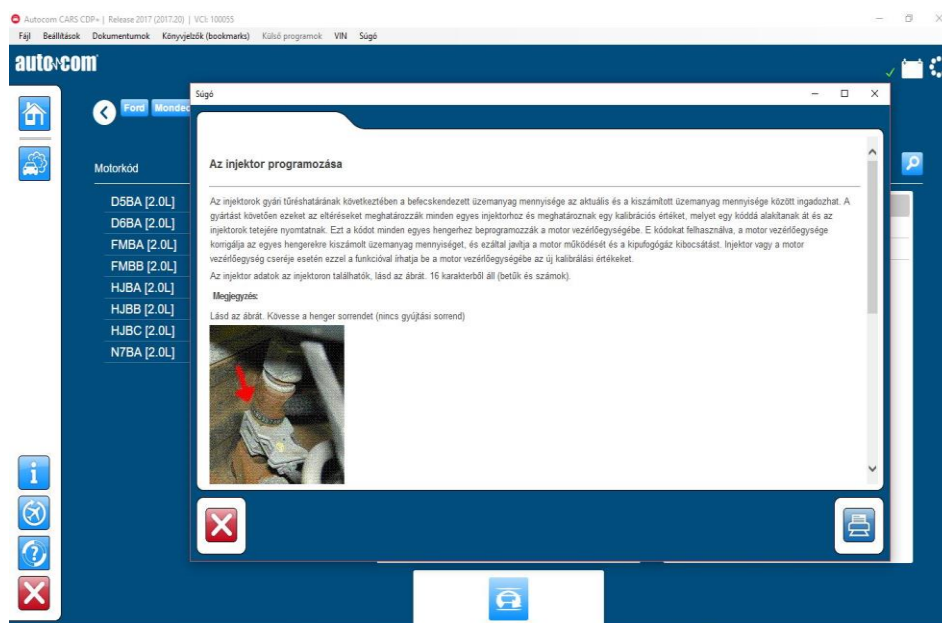
Hibafeltárás:

- Hibakódok elemzése
- Élőadatok vizsgálata-felvétele
- Kimenet tesztek

Programozás & Adaptáció:

- Vezérlőegység konfiguráció
- Beavatkozók és érzékelők adaptációja
- Kód bevitel
- Program frissítés

Az első csoport a hibakeresés során használható elemeket tartalmazza. Különböző vezérlőegységeket megszólítva kapunk hibakódokat, amelyek lehetnek szabványos általános hibakódok, illetve gyártó specifikusak. Szenzoroktól kapott adatokat elemezve körvonalazódhat a hibás elem. Ebben adhat nagy segítséget az egyes elemek kivezérlése, mozgatása (pl.: elektromos motorok, pumpák, izzítás, befecskendező szelepek, ventilátorok stb.). Második csoport a javításhoz köthető. Mivel hibafeltárás után 1-1 jeladó, beavatkozót elem javítása, esetenként cseréje is szükséges lehet, ezt vezérlőegységben gyakran rögzíteni is kell. Ami történhet speciális kódok bevitelével és tanításával, illetve gyári alapértékekre való visszaállítással, adaptálással.

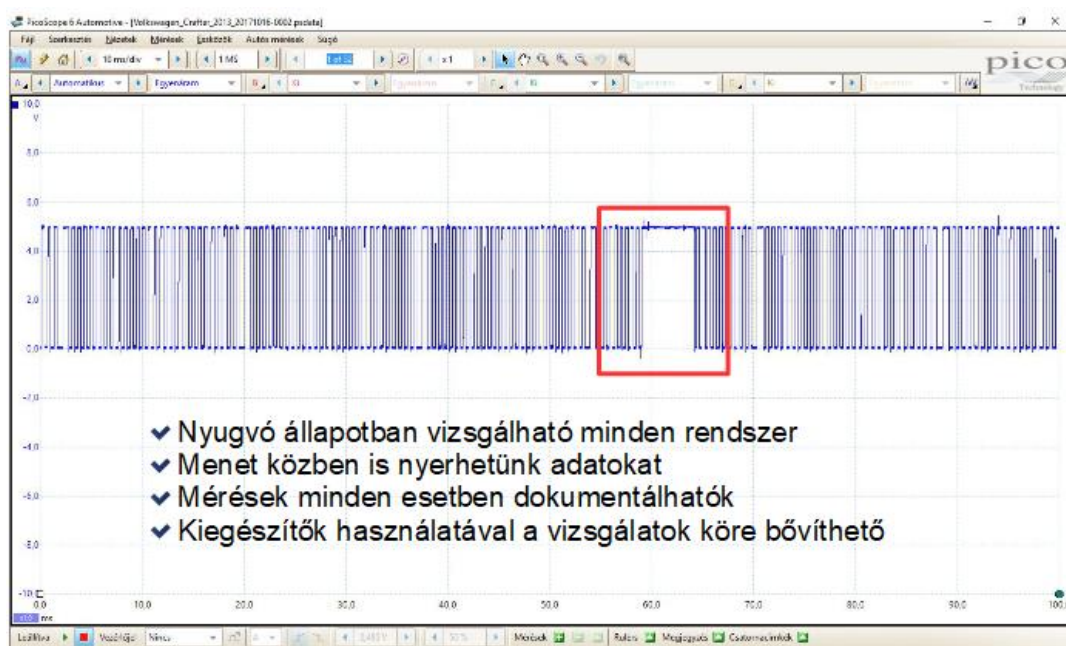


1. ábra: Az injektor programozása

Röviden összegezve: Soros diagnosztika nélkül nincs modern autójavítás! Elég csak a hibakeresésre, szerviz intervallumok nullázására, vagy egyes jeladók és beavatkozók tanítására/adaptálására gondolni. De említhetném a kulcsok és vezérlőegységek kódolását is, amely már egy speciális területe a soros diagnosztikának.

3. PÁRHUZAMOS DIAGNOSZTIKA

Az általános szervizekben dolgozó mechanikus szakemberek számára ijesztő és jórészt ismeretlen világ. Pedig az általános képzéseknek jó ideje szerves része az oszcilloszkópos vizsgálat. A soros diagnosztikával ellentétben itt fontos a villamossági ismeret, illetve hasznos adatbázis megléte (kapcsolási rajzok, jelalakok, hasznos tudnivalók lábkiosztásról és feszültség értékekről). Nagy előnye, hogy zárt rendszerbe tudunk becsatlakozni, ezáltal annak működéséről kapunk valós képet. Nyugvó állapotban is mérhetünk feszültségeket, ellentétben a vezérlő egység megszólításával.



2. ábra: Jelalak

Nagy segítség lehet a hibafeltárásban, ha van gyártói, vagy legalább gyártóspecifikus adatbázis. PICO felhasználók ebben a kivételes helyzetben vannak, mivel regisztráció után egy folyamatosan bővülő adatbázist is használhatnak, valamint részt vehetnek ennek bővítésében: Waveform Library (www.picoauto.com)



3. ábra: Csatolási lehetőségek

Különböző mérések lehetségesek attól függően a rendszer mely elemét vizsgáljuk:

- Feszültség
- Áramerősség
- Frekvencia
- Kitöltési tényező

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkből kitűnik, a mai modern gépjármű javítás, karbantartás, diagnosztika rendkívül sokrétű és folyamatosan változik, ahogy maga a járműgyártás és fejlesztés. Az villamos javításokat és hibafeltárásokat egyre nehezebb szétválasztani a hagyományos mechanikai munkáktól. Terjedőben a tisztán elektromos, hidrogén-cellás és hibrid autók, amelyek még inkább indokolják a speciális eljárásokat, mindennapi karbantartásokat.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] www.autocom.se (AutoCom Diagnostic)
- [2] www.picoauto.com (PICO UK)
- [3] Intent Hungária Kft (saját megjelenés, publikáció)



Intent Hungária Kft.

9400 Sopron, Hőflányi u. 11.
Tel.: 99/555-515 • Fax: 99/555-519
E-mail: info@intent.hu

www.intent.hu

EGYEDI TERVEZÉSŰ LÉGPÁRNÁS JÁRMŰ ALAPANYAG KIVÁLASZTÁSA ÉS TESZTEK ELVÉGZÉSE

CUSTOM-DESIGNED HOVERCRAFT MATERIAL SELECTION AND TESTING

MOLNÁR Zsolt¹, ERDEI Timotei István², Dr. habil HUSI Géza³

¹MSc, Mechatronikai mérnök hallgató, zolt.molnar94@gmail.com
Debreceni Egyetem, Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék
4028, Debrecen, Ótemető utca, 2-4.

²Tanszéki mérnök, timoteierdei@gmail.com
Debreceni Egyetem, Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék
4028, Debrecen, Ótemető utca, 2-4.

³Ph.D., Tanszékvezető, husigeza@eng.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék
4028, Debrecen, Ótemető utca, 2-4.

Kivonat: Az elektromos hajtásban bekövetkezett ugrásszerű fejlesztések miatt a rendszerek hatásfoka, teljesítmény/tömeg aránya és hozzáférhetősége az utóbbi 5 évben jelentősen megnőtt. Ezt a félvezetőgyártásban bekövetkezett technológiai újítások befolyásolták leginkább. Mindezt alapul véve, a projekt célja egy olyan elektromos légpárnás jármű megalkotása, amely mind irányítási, mind a talaj fölé emelő levegőréteg létrehozása terén új koncepcióval rendelkezik.

Kulcsszavak: távvezérlés, légpárnás, bluetooth, gyorsulásmérő, Arduino

Abstract: In the last 5 years the power/mass ratio and availability of the electric drive systems increased hugely due to significant developments in the field. This was mostly influenced by technological innovations in semiconductor industry. Based on all of these, the aim of the project is to create an electric hovercraft that has a novel control method and a new way creating the air layer used for hovering.

Keywords: remote control, hovercraft, Bluetooth, accelerometer, Arduino

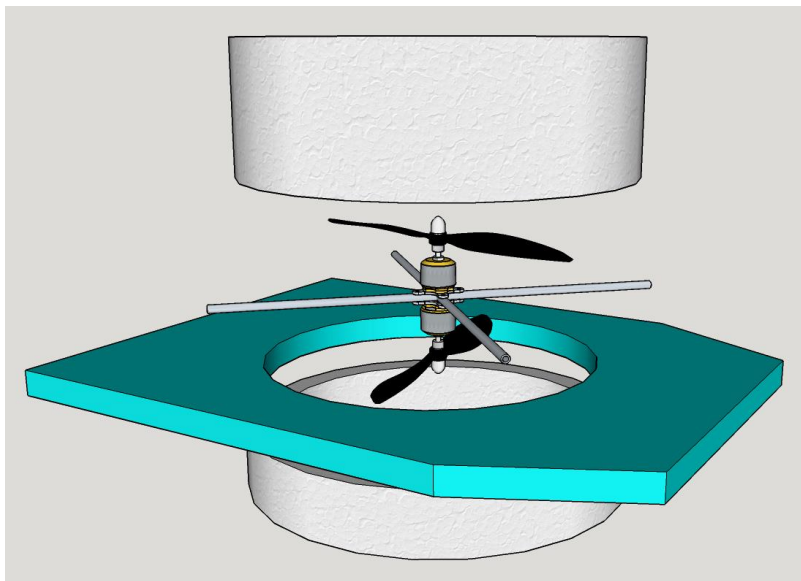
1. BEVEZETŐ

Az utóbbi években az elektromos hajtású járművek elterjedésének idejét éljük. Az autópárházban egyre több gyártó dolgozik hibrid vagy tiszta elektromos gépjárműveken. Ezek fejlesztését a félvezetőiparban bekövetkezett jelentős fejlődés tette lehetővé. A tisztább anyagokból készült félvezetők hatásfoka az elődeikéhez képest jelentősen javult, amelyekkel 100% hatásfokot megközelítő [1] inverterek lehetséges gyártani. Ezek szolgálnak a modern elektromos hajtású rendszerek szabályzó egységeként. A másik nagy terület az akkumulátor gyártás fejlesztése, amelyik ugyan kisebb lépéssel, de sokat fejlődött az elmúlt évek során. Napjainkban ismert legnagyobb hatótávú személygépjárműve [2] 1000 km megtételére is képes.

E fejlesztéseket alapul véve egy olyan légpárnás jármű fejlesztése lett kitűzve célul, amelyik mind irányváltoztatási mód mind a talajföldre emelő levegőréteg létrehozási módjának szempontjából újszerű megoldásokat alkalmaz [3].

2. LÉGPÁRNÁS JÁRMŰ FELÉPÍTÉSE

A légpárnás járművön 3 darab kefe nélküli (brushless) DC motor kapott helyet. Ezek közül kettő a felhajtóerőt biztosítja a jármű számára, amelyeket az *1. ábra* mutat.



1. ábra: Ellentétesen forgó felhajtóerőt generáló légcsoncsavarok

Ezek ellentétes irányba forognak, így a motorok által keltett forgatónyomatékok kioltják egymást. Ennek következtében a jármű képes helyben lebegni, anélkül, hogy elforduljon. Az előremozdulást a harmadik motor teszi lehetővé, amelyik a jármű hátsó részén kapott helyet. A fordulást a felhajtóerőt létrehozó motorok külön-külön történő bekapcsolásával került megvalósításra. Így a motor forgatónyomatéka fordítja el a légpárnás jármű vázát. A pontos irányítás érdekében a felhajtómotorok tengelye a jármű középpontján helyezkedik el.



2. ábra: Elkészült légpárnás jármű

Továbbá a járművön helyet kapott még egy robotkar is. A megtervezett kialakításban ez 20 darab, 14x14x14 mm méretű dobókocka tárolását és lehelyezését teszi lehetővé. A robotkarnak egy szabadságfoka van, ami egy csuklópont, ez teszi lehetővé a jármű egyensúlyozását működés közben. Funkcióját tekintve, a karnak több szerepe van. Az első a súlypont változtatása működés közben. Továbbá a jármű össztömegét is lehet változtatni, azáltal, hogy a robotkarban elhelyezett dobókockák közül eltávolításra kerül megfelelő darabszám. Az eltávolítás a robotkarra épített lerakó mechanizmus segítségével működés közben, külső beavatkozás nélkül megvalósítható. A dobókockák tömege egyenként 3 gramm, ami összesen 60 gramm tömeget jelent, amivel egyensúlyozható a légpárnás jármű.

A légpárnás fizikai paramétereit tekintve a következőkkel rendelkezik: a légpárnás magába foglaló kocka mérete: 480 mm hosszú, 380 mm széles, 330 mm magas, a robotkart a 2. ábrán látható helyzetben. Tömegét tekintve a méreteihez képest viszonylag kicsi, akkumulátorral és dobókockákkal összesen 1,27 kg.

A két emelő és egy előretoló erőt biztosító motorok egyformák, típusuk A2212/13T kefe nélküli DC motor. A következő paraméterekkel [4] rendelkeznek: motor tömege: 52,7 gramm, maximális üzemi feszültség: 11,1 V (3 cella Li-Po akkumulátor), maximális üzemi áram: 10 A, maximálisan elérhető üzemi teljesítmény (nem folyamatos üzem): 167 W, tengelyátmérő: 3,2 mm, fordulatszám Kv értéke: 1000 RPM/V.

A kefe nélküli DC motorok nagy hatásfokkal rendelkeznek (80% vagy fölötte) és nagy a teljesítmény/motortömeg arányuk. A Kv érték jelentése, hogy 1000 fordulat/perccel nő a fordulatszám 1 V tápfeszültség növelés esetén.

A robotkaron két MG995 típusú szervomotor kapott helyet. Az egyik a robotkar csuklópontjában a robotkar mozgását biztosítja, a másik a dobókockák eltávolítását végző mechanizmus működését biztosítja. Paramétereiket tekintve a következő fő jellemzőkkel [5] rendelkeznek: tömeg: 55 gramm, maximális üzemi feszültség 7,2 V, nyomaték (6 V tápfeszültség esetén): 0,98 Nm, tengelye 180 fokos szögben képes elfordulni, ezen a tartományon belül pozícionálható.

3. A LÉGPÁRNÁS VEZÉRLŐ ÁRAMKÖRE

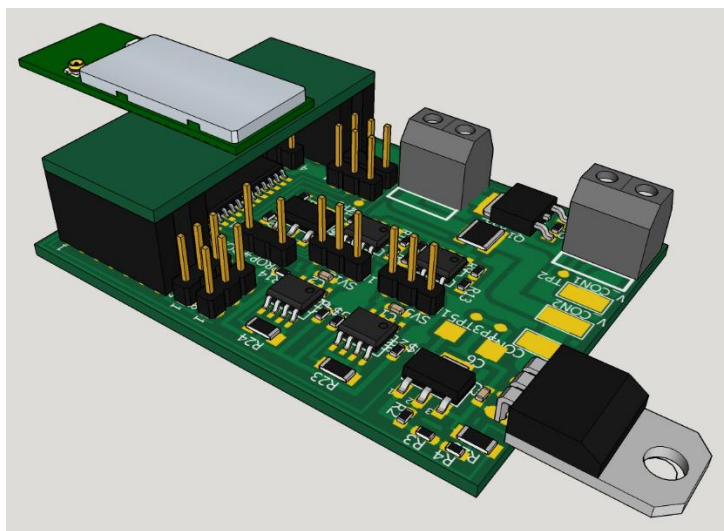
Az áramkör KiCAD-ben [6] került megtervezésre, aminek fő része a PIC18F típusú mikrovezérlő. Az elkészült áramkör szoftver által generált 3D modellje a 3. ábrán látható.

Ez végzi a kefe nélküli motorok vezérlői számára a PWM jel előállítását, vezérli a robotkar szervomotorjait, méri az akkumulátor feszültség szintjét és kommunikál bluetooth modulon keresztül a vezérlő számítógéppel.

Az alkalmazott bluetooth modul típusa HC-05 [7]. Ez kétirányú kommunikációt tesz lehetővé, így a vezérlő számítógépre továbbítható az akkumulátor feszültségértéke valamint a robotkar szervomotorjainak a pozíciója.

Az alkalmazott akkumulátor típusa 3 cellás Li-Po (lítium-polimer) akkumulátor, 2200 mAh kapacitású és 11,1 V feszültség leadására képes, 66 A folyamatos terhelhetőség mellett.

Az áramkörön helyet kapott két feszültség stabilizátor is. Az egyik a bluetooth modul számára szükséges 3,3 V-os tápfeszültséget biztosítja, míg a másik a mikrovezérlő számára szükséges stabil 5 V-os tápfeszültséget. A szervomotorok számára szükséges tápfeszültség előállítását a kefe nélküli DC motorokat vezérlő elektronika biztosítja, ugyanis ezek rendelkeznek beépített 5 V-os feszültség stabilizátorral és 3 A-es áram leadásra is képesek.



3. ábra: A légpárnás jármű vezérlőjének 3D modellje

4. A LÉGPÁRNÁS JÁRMŰ KIVITELEZÉSE

A megépítés során arra kellett törekedni, hogy a felhasznált anyagok minél könnyebbek legyenek, ugyanakkor nagy ellenállósággal bírjanak a funkciójuk ellátásához, valamint az irányítási hibákból adód ütközések ellen.

A választás ezen szempontok alapján a polisztirol hőszigetelő különböző sűrűségű változataira esett. Számszerűen 3 különböző sűrűségű polisztirol lett felhasználva.

Az elkészült 3D modell lehetővé teszi, hogy a mérethelyesen megtervezett légpárnás járművön lemérjük a különböző polisztirol típusok térfogatát. Így ismerve a polisztirol sűrűségét, kiszámíthatjuk a jármű vázának tömegét még megépítés előtt. Az alábbi táblázat tartalmazza összefoglalva a különböző polisztirol típusok sűrűségét, felhasznált térfogatot és az ebből számított tömeget.

1. Táblázat: A jármű vázának tömege

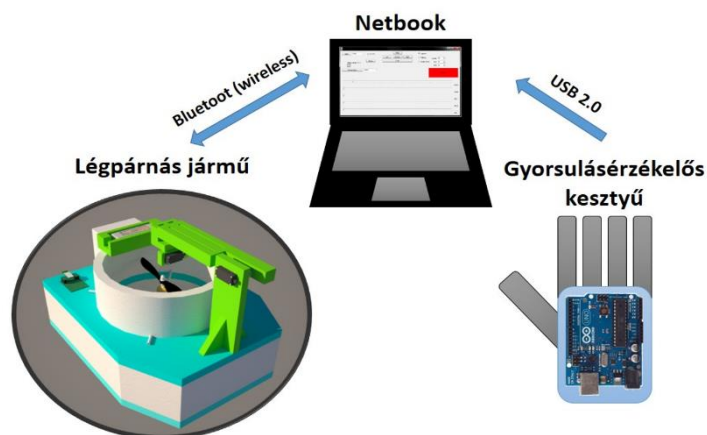
	Sűrűség [g/cm³]	Felhasznált térfogat [cm³]	Tömeg [g]
Expandált polisztirol (fehér)	0,015	7490	112,35
Extrudált polisztirol (kék)	0,03	3073	92,19
Extrudált polisztirol (zöld)	0,052	815	42,38

A táblázatban kiszámított értékeket összeadva, a légpárnás vázának a tömege 246,92 gramm, amihez hozzáadódik az elektronika, motorok, kötőelemek, felhasznált ragasztóanyagok, dobókockák, akkumulátor tömege. Összesen 1,27 kg a tömege az üzemre kész légpárnásnak.

A polisztirol fizikai ellenállóságán és kis sűrűségén kívül jól megmunkálható az úgynevezett habvágó géppel. Ennek felépítése egy elektromos áram által felizzított vékony vezető szál, amellyel egyenletes és sima vágásokkal lehet a polisztirolt kívánt méretre vágni. Ez esetben a méretre vágás saját tervezésű CNC gép [8] segítségével történt, amely habvágógépként is funkcionál. A 3D tervekből legenerálásra került a CNC vezérléséhez szükséges fájl, majd ezt végrehajtva elkészültek a polisztirol alkatrészek.

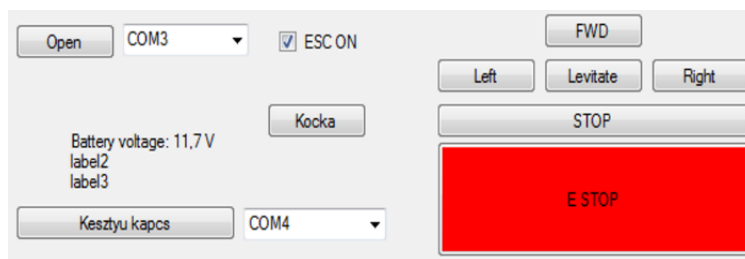
5. TÁVVEZÉRLÉS ÉS SZÁMÍTÓGÉPES SZOFTVER

A légpárnás jármű távvezérléséhez egy HC-05 típusú bluetooth modul került alkalmazásra, amelyik közvetlenül képes a laptopokba épített bluetooth modullal kommunikálni vagy a kereskedelembe kapható USB csatlakozással ellátott bluetooth adapterekkel. A projekt során a tesztek elvégzéséhez és az irányításhoz egy Dell Inspiron Mini 1018 netbook került felhasználásra a mobilitása és az akkumulátorról való hosszú üzemideje miatt. A szoftver úgy került megtervezésre, hogy a felhasználó közvetlenül a számítógépről tudja vezérelni a járművet, valamint egy gyorsulásmérőt tartalmazó kesztyű segítségével is át lehet venni az irányítást. A kesztyű a kéz dőlését figyeli, és ennek függvényében küldi ki a számítógépes szoftver a vezérlő adatokat a járművön található mikrovezérlő számára.



4. ábra: Távvezérlés és irányítás vázlata

A 4. ábrán látható, hogy a légpárnással a netbook vezetékek nélkül, bluetooth-on keresztül kommunikál. A gyorsulásérzékelős kesztyű közvetlenül USB kábelen keresztül csatlakozik a netbook-hoz, amelyik soros portként kezeli és így kéri le az adatokat. Az alkalmazott gyorsulásérzékelő típusa MMA7361 három tengelyes MEMS [9] (mikro elektromechanikus rendszer) érzékelő. Az érzékenysége állítható, $\pm 1,5$ g és ± 6 g közül változtatható. A légpárnás irányításához a nagy érzékenység elérése érdekében 1,5 g érzékenységi tartományon került használatra az érzékelő. A kimeneti jelei analóg jelek, 0-3,3 V közötti tartományban változnak. Ezeket a jeleket feldolgozás előtt konvertálni kell digitális jellé.



5. ábra: Számítógépes szoftver kezelői felülete

Az analóg-digitális konverzió elvégzés érdekében egy Arduino UNO [10] panel került ráépítésre a kesztyűre. Ez rendelkezik a szükséges analóg bemenetekkel és USB csatlakozással a netbookhoz való illesztés érdekében. A számítógépen futó szoftver egyik fő feladata, hogy folyamatos kommunikációt biztosítson a számítógép és a légpárnás jármű között. Fontos, hogy a kommunikáció megszakadása esetén a légpárnás jármű vezérlője ezt érzékelje és a motorok vezérlését automatikusan leállítsa a biztonság érdekében.

6. ÖSSZEGZÉS

A tesztelés során a légpárnás jármű az elvártaknak megfelelően működött. Egyenes terepen nagy sebességek elérésére képes, eközben az irányváltoztatás is lehetséges. Megfigyelhető volt, hogy az előrehaladási sebesség növekedésével az irányváltoztatás lassabban következik be, ami egy nem tervezett előnynek minősül. Így könnyű irányítás alatt tartani a járművet nagy sebességek esetén is. A tesztek során mért maximális sebesség 4,8 m/s volt.

Gyorsulásérzékelős kesztyűs vezérlés esetén intuitívan irányíthatónak mutatkozik az eszköz. Ez a nagyközönség számára való bemutatáskor bizonyosodott be, ahol a másoknak is lehetőségük nyílt a kipróbálására.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **U.S. Department of Energy**, "Adjustable Speed Drive Part-Load Efficiency," [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/motor_tip_sheet11.pdf. [Accessed 14 11 2017].
- [2] **Tesla**, "Tesla Roadster," [Online]. Available: <https://www.tesla.com/roadster/>. [Accessed 20 11 2017].
- [3] **Zsolt Molnár, Timotei István Erdei, Nwachukwu C. Obinna, Géza Husi**, "A novel design of an air-cushion vehicle and its implementation," MATEC Web of Conferences 126, 02004, Annual Session of Scientific Papers IMT ORADEA 2017, DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712602004>, 2017.
- [4] **BP Hobbies**, "Cheetah A2212-13 Brushless Outrunner Motor," [Online]. Available: <https://www.bphobbies.com/view.asp?id=V450327&pid=B1688512>. [Accessed 02 10 2017].
- [5] "MG995 Servo," [Online]. Available: <http://www.stockholmviews.com/p38/hevac/mg995-metal-gear-servo.jpg>. [Accessed 07 11 2017].
- [6] **KiCad**, "KiCad EDA," [Online]. Available: <http://kicad-pcb.org/>. [Accessed 27 09 2017].
- [7] Arduino Info, "BlueTooth-HC05-Modules-How-To," [Online]. Available: <https://arduino-info.wikispaces.com/BlueTooth-HC05-HC06-Modules-How-To>. [Accessed 07 11 2017].
- [8] **Molnár Zsolt, Husi Géza**, "Prototípus alkatrészek elkészítésére kifejlesztett CNC távvezérlése és távfelügyelete," Recent Innovations in Mechatronics (RIiM) Vol. 4. (2017). No. SI., 2017, DOI: 10.17667/riim.2017.si/2..
- [9] **Nwachukwu C. Obinna, Syeda Adila Afghan, Timotei Istvan Erdei, Zsolt Molnar, Dr. Peter Szemes, Dr. Geza Husi**, "LabVIEW Motion Planning and Tracking of an Aerial Robotic System: Dynamic Simulation of the Robot's Embedded Vibratory MEMS Gyroscope," <https://www.researchgate.net>, DOI: 10.13140/RG.2.2.17163.18720, 2017.
- [10] **Arduino**, "Arduino UNO," [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. [Accessed 03 09 2017].

ELEKTROMOS ÉS BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROS SZEMÉLYAUTÓK ENERGIAFELHASZNÁLÁSÁNAK ÉS SZÉNDIOXID- KIBOCSÁTÁSÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

WELL - TO - WHEEL ENERGY CONSUMPTION AND CO2 EMISSION OF ELECTRIC AND INTERNAL COMBUSTION ENGINE VEHICLES

KATONA Mihály¹, RADNAI Róbert²

¹hallgató, katona0607@gmail.com

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

²hallgató, robert.radnai@gmail.com

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

Kivonat: A növekvő légköri széndioxid-koncentráció és a közlekedés növekvő energiaigénye egyre égetőbb problémát jelentenek napjainkban. Ezek megoldását sokan az elektromos hajtású járművekben látják, ez a városok légszennyezettségét is jelentősen csökkentené. A közlekedés széndioxid-kibocsátását visszaszorító másik törekvés a karbonsemlegesnek tekintett bioüzemanyagok részarányának növelése a belsőégésű motorral üzemelő járművekben. A fenti technológiák elterjedésének hatásáról a teljes folyamatlánc – forrástól kerékig tartó – felmérésével kapunk helyes képet. Dolgozatunkban az elektromos és a belsőégésű motorral hajtott járművek energiaigényét és széndioxid-kibocsátását vizsgáljuk elsősorban magyar adatokra alapozva, alulról felfelé felépített modellben. Részletezzük az üzemanyag vagy villamos energia előállításának lépései során felhasznált primer energia mennyiségét és a különböző energiahordozók részarányát, az átalakítások hatásfokát. A jelenlegi értékek számításán túl becslést adunk különböző várható jövőbeli esetekre. Az elektromos autókra nagy hatással van az áramtermeléshez felhasznált energiamix változása, a széndioxid-leválasztás, vagy az akkumulátorok, töltők hatásfokváltozása. A benzin és gázolaj előállításának széndioxid-kibocsátását jelentősen növelheti a nemkonvencionális kőolajforrások kitermelése. A bioüzemanyagok energiaegyensúlyára nagy hatással van az éves hektáronkénti hozam, valamint a felhasznált műtrágya mennyisége, a bioüzemanyag előállítás technológiája. A kúttól kerékig történő átalakítás vizsgálata során feltérképezzük tipikusnak tekintett elektromos és belsőégésű motoros autók fogyasztását, valamint megadjuk a megtett kilométerre fajlagosított primerenergia-felhasználást, széndioxid-kibocsátást városi és országúti körülmények között.

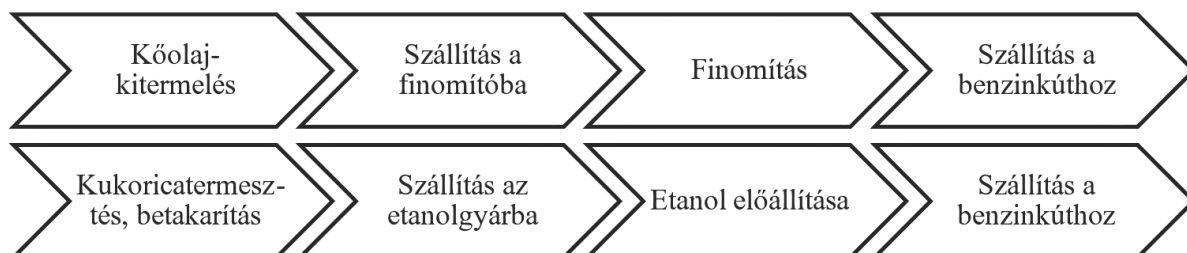
Kulcsszavak: hatékonyság, e-mobilitás, folyamatlánc, primerenergia felhasználás, kibocsátás

Abstract: The increasing atmospheric carbon-dioxide level and the increasing energy need for transportation are being considered as more and more serious problems nowadays. Some people think of electric vehicles as a solution; this would decrease the air pollution in cities as well. Another endeavour to reduce the carbon dioxide emission coming from transportation is the utilisation of biofuels in vehicles operating with internal combustion engines, which are considered carbon neutral. We can understand the effects of the technologies listed above, if we evaluate the whole process chain, from well to wheel. In our essay, we examine the energy need and carbon emission of electric and conventional cars based primarily on Hungarian data, with a bottom-up approach. We specify the amount of primary energy used, the energy mix and the conversion efficiency of the steps of producing fuel and electricity. The energy mix change and widespread CCS technologies in electricity production, or the efficiency change of chargers and batteries have a significant impact on electric cars. The carbon-dioxide emission of fossil fuels can increase greatly by the extraction of unconventional oil sources. We examine the fuel consumption of typical electric and conventional vehicles, and calculate the primary energy consumption and carbon dioxide emission per kilometres.

Keywords: efficiency; e-mobility; pathways; primary energy consumption; emission

1. FOSSZILIS ÉS BIOÜZEMANYAGOK ENERGIAIGÉNYE ÉS SZÉNDIOXID-KIBOCSÁTÁSA

Az 1. ábrán látható a fosszilis üzemanyagok, azaz benzin és gázolaj kúttól a tankig vett szakasz ellátási lánc, valamint kukoricaalapú bioetanolé, vagyis bioüzemanyagoké is. Az átalakítási folyamatok az autó tankjáig eljuttatott üzemanyag energiatartalmára vonatkoztatott mennyiségekkel szemléltethetők jól. A szakirodalom [1] alapján 1 liter benzin előállításához 0,19 liter benzinnel megfelelő energiát kell befektetni ahhoz, hogy a még kitermeletlen, nyers kőolajból az autó tankjáig eljuttatott, benzinkutakon is kapható üzemanyag legyen.



1. ábra: Fosszilis üzemanyagok ellátási lánc (fent), bioetanol ellátási lánc (lent)

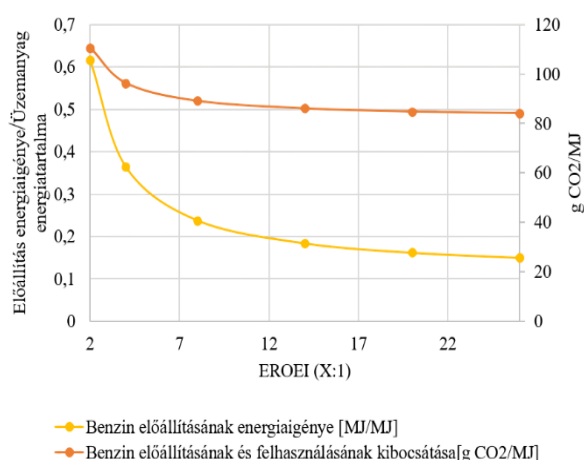
A fosszilis üzemanyagok közül a gázolaj előállításához kell befektetni a kevesebb energiát. A feldolgozási módszer nagymértékben hasonlít a benzinéhez, a két üzemanyag közötti különbség a feldolgozás és finomítás során használt eljárásokból adódik. A kisebb befektetett energia ellenére 1 MJ fosszilis üzemanyag felhasználásából a gázolaj összességében nagyobb széndioxid-kibocsátással rendelkezik. Ez az üzemanyag magasabb széntartalma miatt alakul ki. A szén-dioxid túlnyomó része mindkét fosszilis üzemanyag esetén az elégetés során szabadul fel. A nagy távolságok ellenére a kőolaj szállítása a finomítóig nem képvisel jelentős mennyiséget az előállítás energiaigényében, ugyanis a gyakori tengeri úton és csővezetéken történőállítás sokkal hatékonyabb, mint a vasúti, illetve a közúti.

Kukoricaalapú bioetanol előállítása során a földművelés, azon belül a műtrágya gyártása igényli a legtöbb energiát. A betakarított kukorica feldolgozása már kisebb energiaigényű, ez annak is betudható, hogy a folyamat során hasznos melléktermékek keletkeznek, amelyeket fel lehet használni energiatermelésre, ezáltal csökken a bioetanolra számolt energiaigény. Sajnos Magyarországon a bioetanol előállítása nem pozitív energiamérleggel rendelkező folyamat – azaz több energiabefektetést igényel, mint amennyit az elégetése során nyerünk –, ennek ellenére felhasználása kisebb széndioxid-kibocsátással jár, mint a benzin, vagy a gázolaj felhasználása, ha az elégetés folyamatát karbonsemlegesnek tekintjük. Amennyiben a bioetanol alapanyaga repce, akkor már megvalósulhat pozitív energiamérleg.

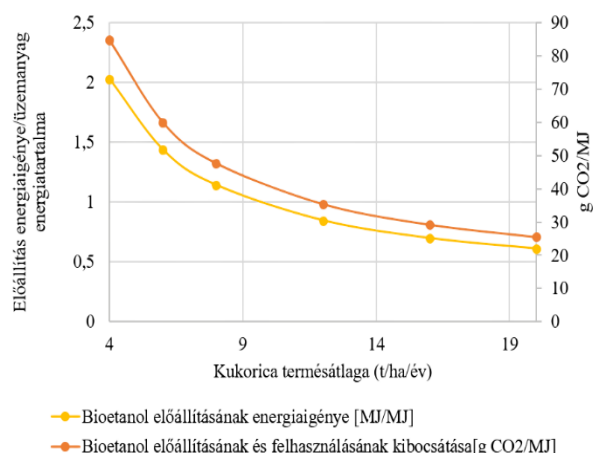
2. FOSSZILIS ÉS BIOÜZEMANYAGOK PARAMÉTEREIT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A 2. ábrán látható, hogy az olajkitermelés EROEI (Energy Returned On Energy Invested), a kinyert és a befektetett energia mennyiség arányának megváltozása milyen módon befolyásolja az eredményeket. Az 5:1 EROEI érték azt jelenti, hogy 5 MJ energiatartalmú olaj mennyiséghez 1 MJ energiát kell visszairányítani a kitermelés folyamatába. A közelmúltban felfedezett új típusú olajmezők ehhez közelítő EROEI értékeket mutatnak, a jelenleg kitermelés alatt álló mezők pedig 12:1 körüli értékre tehetők [3]. Az üzemanyag elégetése adja a teljes értékláncra vetített széndioxid-kibocsátás túlnyomó részét, így az összesített kibocsátás kis mértékben

változik a kitermelés energiaigényének ingadozásaira. Emiatt az új típusú, nem konvencionális olajmezők kitermelése – egyben az átlagos EROEI érték csökkenése - nem fogja jelentősen növelni a benzinhez és gázolajhoz köthető széndioxid-kibocsátást.



2. ábra: Az olajkitermelés változó EROEI értékének hatása a benzinre



3. ábra: Kukorica termésátlag-változásának hatása a bioetanol EROEI értékére

Az etanolgyártás legnagyobb energiabefektetést igénylő szakasza a kukorica termesztésére szolgáló föld művelése és a termés betakarítása, ezért fontos, hogy a mezőgazdasági területen minél nagyobb legyen a terményhozam. A 3. ábrán látható, hogy a pozitív energiamérleg – azaz több az etanol felhasználásából kinyert energia, mint amennyit befektetünk az előállításához – nagyjából 9,5 t/ha/év termésátlag felett valósul meg. Magyarországon átlagosan ennél jóval kevesebb terményt takarítanak be, és az elmúlt évek növekedési tendenciájának extrapolációjával sem valószínű, hogy a közeljövőben gazdaságossá válik a bioetanol előállítása [4].

3. A MAGYAR VILLAMOS HÁLÓZAT JELLEMZŐI

A hazai villamosenergia-felhasználás ellátásában egyre nagyobb szerepet vállal az olcsó importenergia vételezése. A gáztüzelésű erőművek üzemeltetése az évek során a földgáz árának növekedése és a piaci környezet változása miatt már nem gazdaságos. Ennek ellenére az egyensúly fenntartásához szükségesek az ilyen típusú csúcserőművek, vagyis szabályozáshoz, teljesítménytartalék biztosításához és a manapság egyre jobban terjedő távhőszolgáltatás alapjául is. Két nagy erőmű képes fenntartani helyzetét a jelen gazdasági helyzet mellett: a Paksi Atomerőmű és a Mátrai Erőmű, amelyek az itthon felhasznált energia több mint 50 százalékát adják [5]. A fennmaradó mennyiséget gázüzemű-, megújuló energiaforrásokat felhasználó erőművek termelik, valamint az importenergia biztosítja. Fontos megemlíteni a gyorsan növekvő biomassza-felhasználást, amely a lakossági fogyasztók körében kissé félreértelmezett fogalomra vált, gondolok itt az ebből fakadó fokozott erdőirtásra.

A bányától a villamos elosztóhálózati mérhető veszteségeket három szakaszban vizsgáltuk (ld. 4. ábra). Az első az energiahordozók kitermelése, szállítása és az előkészítés folyamata, amely szakasz veszteségeit a külföldről vásárolt energiahordozók meghatározhatatlan paraméterei miatt a szakirodalomban található EROEI értékek felhasználásával számítottuk ki. A nyers energiahordozók energiatartalmának átlagosan 4–5 százalékát szükséges befektetni a folyamat egyensúlyának fenntartásához [2]. Kivételt képez a biogáz előállítása, illetve a hulladékégetés szigorú előírásaival járó folyamatok energiaigénye. A második szakaszban meghatároztuk az erőművek energiaátalakítási hatásfokát és önfogyasztását, amelyet

importenergia esetén az Európai Unió tagállamainak primerenergia-faktor (PEF) értékének reciproka ad meg. „A számítási módszer figyelembe veszi a primerenergia-felhasználást a teljes életciklusra vetítve. Ebbe beletartozik a kitermelés, szállítás, energiaátalakítás, a tüzelőanyag-felhasználás, a kiadott energia, a folyamat fenntartásához szükséges ráfordítások, stb...” [6]



4. ábra: Villamosenergia felhasználás ellátási lánc

Ezáltal az importenergia előállításának, illetve az országhatárig történő elszállításának közelítő hatásfoka a 2013-as adatok alapján 40 százalék [2, 6]. Az elmúlt négy év során nagymértékben változott az európai energiapolitika. A nukleáris energiatermelés háttérbe szorult, a megújulók – főleg szél- és napenergia - térhódítása egyre csak növekszik. Ez növekedést jelent az összesített hatásfok értékében.

A magyarországi erőművek átlagos energiaátalakítási hatásfoka körülbelül 32 százalék [2] [7]. A hazai bruttó és import energia mennyiségéből levonva az erőművek önfogyasztását és a termelési folyamat igényeit a nettó, szektoron kívül értékesített energia mennyisége évente mintegy 39 000 gigawattóra becsülhető. A villamos hálózat vesztesége 2012 és 2015 között a nettó értékesített energiának csaknem 9 százaléka volt, amely azóta sem változott jelentősen. Ez éves szinten megközelítőleg 3700 gigawattórának felel meg [2].

A Mátrai Erőmű károsanyag-kibocsátása 1003 g CO₂/kWh (K_{CO₂,1}) volt 2014-ben., a magyar villamosenergia-termelő szektor fennmaradó részének kibocsátása pedig 717 g CO₂/kWh (K_{CO₂,2}) volt ugyanabban az évben [2]. Figyelembe véve azt, hogy atomenergia felhasználás igen jelentős és a megújuló energia is széndioxid semleges, az ország területén kiadott nettó, a fogyasztó által felhasználható energiára vonatkoztatott károsanyag-kibocsátási tényező (K_{CO₂,Mo}):

$$K_{CO_2,Mo} = 301 \text{ g CO}_2/\text{kWh} \cong 84 \text{ g CO}_2/\text{MJ} \quad (1)$$

A vizsgálat során a biomasszát széndioxid-semleges tüzelőanyagnak tekintettük. Az importenergia kibocsátási tényezője az International Energy Agency kiadványában található adatok alapján, Európa esetén 48,3 g CO₂/MJ, amely 174 g CO₂/kWh-t jelent [8].

A Magyarországon felhasznált villamos energia fajlagos széndioxid-kibocsátása a hazai és az importenergia részarányának – utóbbi 31,30 százalék volt 2014-ben – és az elosztóhálózat veszteségeinek figyelembevételével alább található:

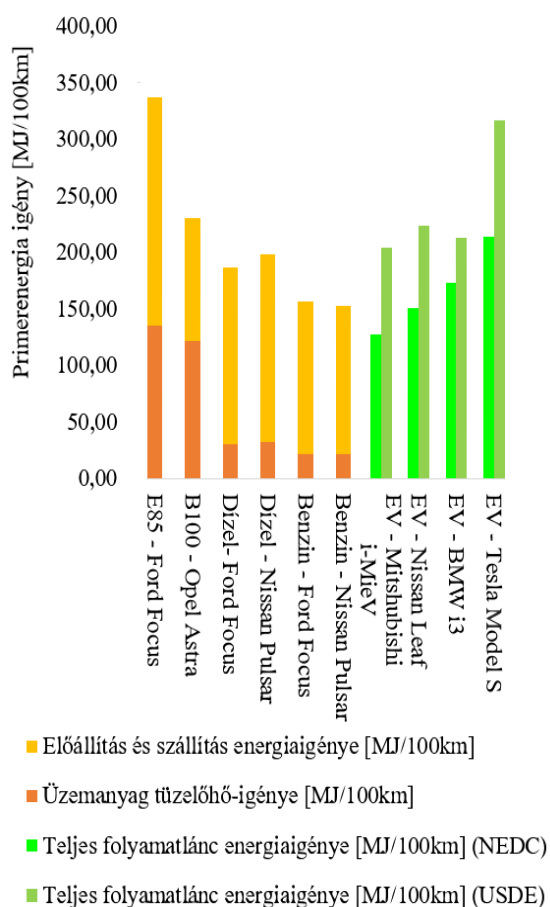
$$K_{CO_2,össz} = 288 \text{ g CO}_2/\text{kWh} \cong 80 \text{ g CO}_2/\text{MJ} \quad (1)$$

4. A MAGYAR VILLAMOS HÁLÓZAT JELLEMZŐI

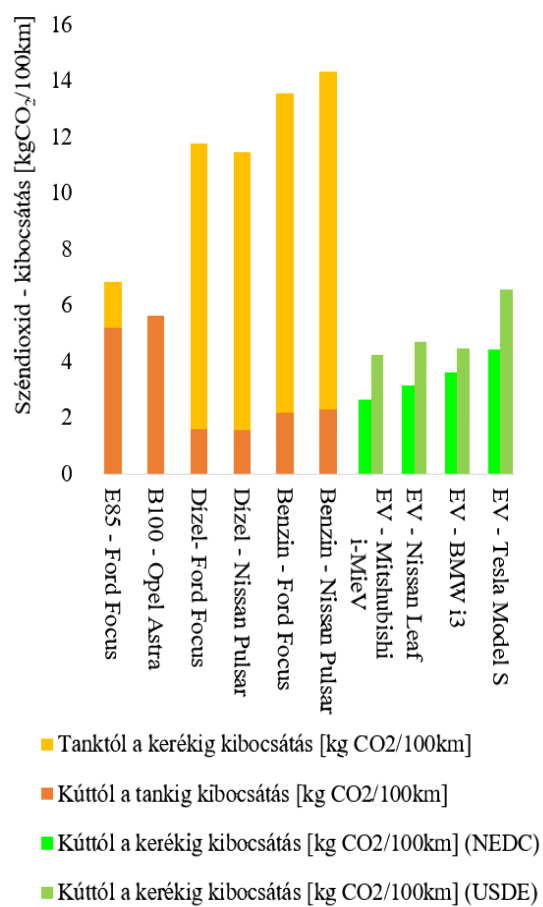
A mai technológia egyelőre nem teszi lehetővé, hogy az elektromos személyautók akkumulátoraiban hosszabb utak megtételéhez elegendő energiát raktározzunk el, ez jelentősen korlátozza ezen járművek elfogadottságát. Az akkumulátorok energiasűrűségének fejlesztése mellett az infrastruktúra bővítése is elengedhetetlen.

Fontos megemlíteni, hogy az elektromos járművek energiaigényét és széndioxid-

kibocsátását jelentősen befolyásolja az azokkal megtehető távolság. A 4. ábrán láthatóak a különbségek a New European Driving Cycle (NEDC), és az U.S. Department of Energy (USDE) által közzétett hatótáv adatok szerint számított energiaigény és széndioxid-kibocsátás között. Ez azzal magyarázható, hogy az NEDC egy, a gyártó által megrendelt, szabványosított tesztsorozat alapján, laboratóriumi körülmények között vizsgálja a személyautók hatótávolságát. Az USDE oldalán a felhasználók által beküldött, és nem a szabványosított tesztek során kapott értékek szerepelnek. Ennek eredményeképpen az elektromos személyautókkal megtehető távolság szempontjából a gyártói és a fogyasztói adatok között több tíz kilométeres eltérés is megfigyelhető. Következtetéseinket a fogyasztói adatok alapján számított értékekből vontuk le.



5. ábra: 100 kilométerre fajlagosított primerenergia-igény



6. ábra: 100 kilométerre fajlagosított széndioxid-kibocsátás

A tanulmányban vizsgált személyautók közül nem mindegyik feleltethető meg egymásnak, többek között terhelhetőség és belső tér szempontjából sem. A Nissan Leaf a vizsgált belső égésű motoros autókhoz hasonlóan „családi autónak” készült, így méreteiben és terhelhetőségben is felveszi a versenyt. Amíg BMW i3 és a Mitsubishi i-MieV városi autók, vagyis kialakításukban is kompaktabbak, addig a Tesla Model S a luxus autók kategóriájába tartozik, így méreteiben és terhelhetőségében is meghaladja a korábbiakat [9, 10].

Magyarországon napjainkban az elektromos autók primerenergia-felhasználás szempontjából nem mutatnak kedvezőbb értékeket, mint a benzint, gázolajat, bioetanolt vagy biodízelt felhasználó járművek, de fontos megemlíteni, hogy a különbség növelhető a magyar erőműpark energiaátalakítási hatásfokának javításával és a villamos elosztóhálózat

fejlesztésével, hiszen a legnagyobb veszteségek ezekben a fázisokban realizálhatók. Az 5. ábrán látható, hogy amennyiben átlagát képezzük az energiafelhasználásra vonatkoztatott értékeknek (200 MJ/100km), akkor az elektromos autók némely esetben még magasabb fogyasztással is rendelkeznek.

Ennek ellenére az elektromos autók jelentősen környezetkímélőbbek. Az E85 keverékkel, illetve tiszta biodízzel működő járművek kibocsátás szempontjából hasonlóan alacsony értékekkel rendelkeznek. Ezek elterjedésének lehetősége az első generációs bioüzemanyagok nagy termőföldigénye miatt nem számottevő. Amennyiben hasonló átlagolással élünk, mint korábban (8 kgCO₂/100km), látható, hogy az elektromos személyautók teljes folyamatláncra vetített kibocsátása nem sokkal több, mint a fele annak. Kivételt képez a Tesla Model S, mivel az nagyobb kapacitású akkumulátorral, de a kiegészítő elektronika miatt – amelyet a luxus megkövetel - nagyobb fogyasztással is bír. Az elektromos autók elterjedése – főleg városi környezetben – megoldást jelenthet több problémára is, segíthet például a zajszennyezés jelentős csökkentésében, a levegőminőség javításában, például a szállópor, a nitrogén-oxidok és egyéb káros anyagok arányának mérséklésében. Azt is fontos figyelembe venni, hogy az elektromos autók használata során a felsorolt káros anyagok nem a városokban, hanem az azoktól távolabb eső erőművekben kerülnek kibocsátásra. Ilyen módon csökkenthető lenne a szmog kialakulásának valószínűsége, illetve többek között, az azzal járó egészségügyi problémák és a közlekedési korlátozások is.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Bourgeois L., Ahmann M.:** *EU Refinery Energy Systems and Efficiency*. Brüsszel 2012
- [2] **KATONA MIHÁLY, RADNAI RÓBERT:** *Elektromos és belső égésű motorral rendelkező autók fajlagos energia-felhasználásának és széndioxid-kibocsátásának összehasonlítása a teljes folyamatláncra vetítve*. Budapest, 2016
- [3] **CHARLES A. S., LAMBERT, JESSICA G. ÉS BALOGH, STEPHEN B.:** *EROEI of different fuels and the implications for society*. Energy Policy (Elsevier), 2013
- [4] **KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL** *A kukorica termelése*. 2016 Hozzáférés ideje: 2017.02.01.
- [5] **MAVIR MAGYAR VILLAMOSENERGIA-IPARI ÁTVITELI RENDSZERIRÁNYÍTÓ:** *A magyar villamosenergia-rendszer adatai.2015* Hozzáférés ideje: 2017.12.20.
- [6] **UWE R. FRITSCHÉ ET AL.:** *Development of the Primary Energy Factor of Electricity Generation in the EU28 from 2010-2013*. Energy Policy (Elsevier), 2015
- [7] **MAVIR MAGYAR VILLAMOSENERGIA-IPARI ÁTVITELI RENDSZERIRÁNYÍTÓ:** *A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2015. évi adatai* 2016. Hozzáférés ideje: 2017.12.20.
- [8] **INTERNATIONAL ENERGY AGENCY:** *CO2 Emissions from fuel combustion Highlights*.
- [9] **PARKERS:** *Hatchback Car Reviews 2017* Hozzáférés ideje: 2017.12.20.
- [10] **ELECTRIC VEHICLE WIKI:** *Specs 2017* Hozzáférés ideje: 2017.12.20.

KÜLÖNBÖZŐ HAJTÁSÚ AUTÓK ÖSSZEHASONLÍTÁSA, ÉS EZEK HATÁSA A VILLAMOS HÁLÓZATRA

COMPARISON OF DIFFERENT POWERED CARS AND THAT OF IMPACT ON THE ELECTRIC SYSTEM

GÖNCZI Tamás¹, BODNÁR István²

¹Villamosmérnök BSc hallgató, tomirt1968@gmail.com
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

²Ph.D., egyetemi adjunktus, kutatócsoport vezető, vegybod@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: Ez a cikk a különböző hajtású autók hatékonyságát és környezetszennyezését mutatja be. Rövid történelmi előzményben ismerteti a különböző hajtások múltját. A belsőégésű motorok közvetlenül a felhasználási területen bocsátják ki a káros anyagokat, míg az elektromos autók a felhasználási területtől távolabb. Ezt az energiát is elő kell állítani valamilyen erőműben és az előállítás alapanyagától függ, hogy az elektromos autó károsabb-e a környezetre, mint a belsőégésű.

Kulcsszavak: elektromos motor, hibrid, belsőégésű motor, hatásfok, energia, környezetszennyezés

Abstract: This article discusses the efficiency and pollution of vehicles with different propulsions. A brief history describes the past of various propulsions. Internal combustion engines emit pollutants directly in the field of use, while electric cars do it far away from the application area. This energy must also be produced in a power plant and it depends on the raw material of the production whether the electric car is more harmful to the environment than the one with internal combustion.

Keywords: electric motor, hybrid, explosion engine, efficiency, energy, pollution of the environment

1. BEVEZETÉS

Napjainkban már szinte minden családban van legalább egy autó, épp ezért fontos ezeknek az energiaforrásáról gondoskodni. Ebben a cikkben próbáltuk meg összefoglalni, milyen lehetőségeink is vannak és ezek mennyire környezetbarátok.

Kiválasztottam a manapság három legelérhetőbb energiaforrású hajtást, ami belsőégésű, az elektromos és a hibrid. A belsőégésű motorok működése során valamilyen üzemanyagot porlasztunk be az égéstérbe, amely ott elég és ez szolgáltatja a hajtást. Az elektromos autókban az elektromos motor olyan villamos gép, amely az elektromos áram és az indukció elvén keresztül elektromos energiából mechanikai energiát állít elő. A hibrid hajtások az előző két megoldást kombinálják és próbálják kihasználni ezek előnyeit.

A belsőégésű motorokat a köztudat nem tekinti környezettudatos megoldásnak, míg az elektromos autókat igen, ám azt sokan elfelejtik, hogy az elektromos energiát is elő kell állítani. Kutatómunkánk során igyekeztünk utánajárni, hogy mi is az igazság, és az eredmény nagy meglepetést okozott.

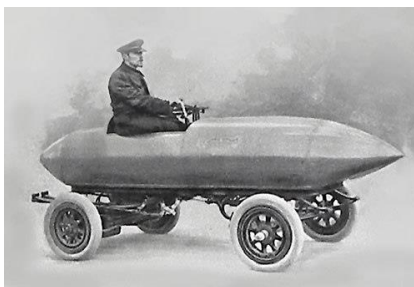
2. AUTÓK TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉSE

Kezdetben mind az elektromos, mind a belsőégésű meghajtás megtalálható volt a piacon, és nem lehetett tudni, hogy melyik kerekedik felül. A belsőégésű motorokat nem kellett tölteni, de ekkoriban az elektromos motorok még jóval erősebbek voltak.

2.1. Elektromos autók

1828-ban Jedlik Ányos feltalálta az elektromos motort, ami lehetővé tette, hogy 1888-ban Andreas Flocken megépítse az első elektromos autót. Az egyre növekvő teljesítmény miatt elkezdtek a haszongépjárműveknél is elektromos hajtást használni [1].

A Pope Manufacturing kora egyik talán legnagyobb elektromos autógyártó cége volt, 1899-ben 500 darab járművet gyártott. Szintén ebben az évben lépte át először egy elektromos autó a 100 km/h-s átlagsebességet, az autó az Örök Elégedetlen nevet viselte. 1450 kg volt és két darab 25 kW-os motor hajtotta [1].



1. ábra: Örök Elégedetlen

2.2. Robbanómotoros autók

1876-ban Nikolaus August Otto feltalálta a róla elnevezett Otto-motort. Több típus után a Ford T-modell jelentett igazi áttörést és hozott komolyabb sikereket a robbanómotoros hajtásnak. Sikerében nagy szerepet játszott a futószalag feltalálása, így vált ugyanis lehetővé az olcsó tömegtermelés. Tovább növelte a rajongók táborát, hogy 1912-ben megjelent az önindító [3].

1908 és 1927 között 15 millió darab autó gyártására került sor, ez a szám is bizonyítja a T-modell sikerét és az autógyártás gyors fejlődését [3].



3. ábra: Ford T-modell

2.3. Összegzés

A Ford T-modell volt, ami végül eldöntötte, hogy melyik meghajtás győzedelmeskedik, mellette szólt ugyanis a tömegtermelés és a megfizethetőség. Később még voltak próbálkozások az elektromos autók népszerűsítésére, ilyen volt például a CitiCar vagy az EV1,

de ezek nem igazán terjedtek el. A 2000-es évek után kezdtek teret hódítani újra az elektromos autók.

3. MODERN AUTÓK

Napjainkban ismét feltörekvően van az elektromos autóipar, de még mindig robbanómotoros járműből van több az utakon, ám ezek is nagyon sokat fejlődtek, van bennük például katalizátor, részecskeszűrő, stb. A cikk elején felsorolt, három különböző hajtásmódú autóból kiválasztottunk egy-egy középkategóriás modellt, melyeket elemeztünk.

3.1. Nissan Leaf

A Nissan Leaf egy középkategóriás elektromos autó, melyet egy váltóáramos szinkronmotor hajt, amely 109 lóerős, 254 Nm nyomatéka van és 10500 a motor maximális fordulatszáma. Kétféle akkumulátorral lehet kapni, egy 24 kWh-sal és egy 30 kWh-sal, az akkumulátor típusa pedig laminált lítiumion. Tömege körülbelül 1500 kg, de ez a felszereltségétől is függ. Hatótávolsága 100 és 200 km közé tehető, vezetési stílus és akkumulátor függvényében. Többféle töltővel kapható, 2,2 kW-ostól, amivel nagyjából 14 óra alatt töltődik fel, egészen az 50 kW-os gyorsöltőig, amivel 80%-ra félóra alatt töltődik fel. Az autohoz 3,6 kW-os és 6,6 kW-os töltők is kaphatók [2].



3. ábra Nissan Leaf

3.2. Toyota Prius

A Nissanhoz hasonlóan a Toyota Prius is egy középkategóriás autó, ám nem tisztán elektromos, hanem hibrid. Ezt az autót egy 1798cm³-es 16 szelepes, 122 lóerős és 142 Nm nyomatékú belsőégésű motor hajtja. Emellett még található benne egy szinkronmotor, ami 53 kW-os és 163 Nm nyomatékú. Ebben az autóban kisebb akkumulátor van, mint a Nissanban, ami 6,5 Ah, típusa pedig nikkel metál. Vegyes fogyasztása 3,3 l/100 km-re tehető [4].



4. ábra Toyota Prius

3.3. BMW 118i

Nehéz volt a választás, mert nagyon nagy a választék a belsőégésű motoros autók közül, de igyekeztünk egy hasonló árkategóriájú és felszereltségű járművet választani, mint az előző kettő. Kutatásaink során azt tapasztaltuk, hogy a modern benzin üzemű és dízel üzemű autók

között károsanyag-kibocsátásban nincs jelentős különbség, ezért ezeket nem tárgyaljuk külön-külön. A BMW 118I típusú autót egy 1499 cm³-es, 16 szelepes, 136 lóerős és 220 Nm nyomatékú bensőégésű motor hajtja. Kombinált fogyasztása 5-5,4 l/100 km közé tehető [3].



5. ábra BMW 118I

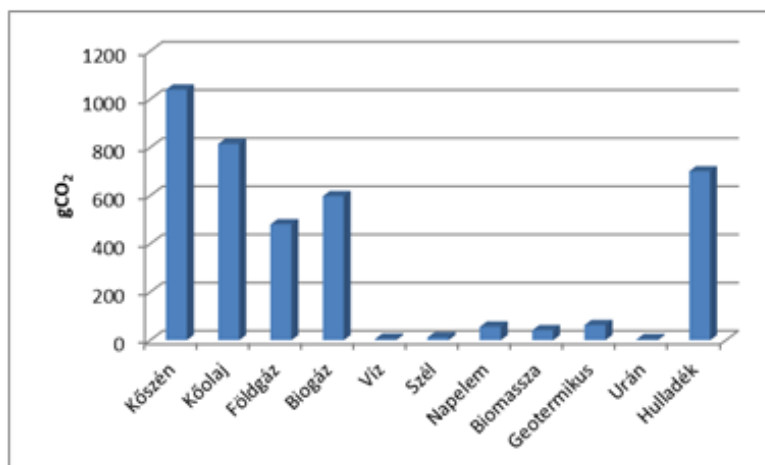
3.4. Károsanyag-kibocsátás összehasonlítás

A gyári adatok szerint a BMW-nek 112-126 g/km-es CO₂ kibocsátása van, míg a Toyotának ez az értéke csupán 70-76 g/km. A Nissan nem rendelkezik közvetlen károsanyag-kibocsátással. Látszólag az utóbbi típus a legkörnyezetbarátabb megoldás, ezzel azt a benyomást kelti, hogy meg van oldva a környezetszennyezési probléma, de számoljunk csak utána [3].

4. ENERGIAFORRÁSOK

Nagyon sokféle energiaforrásból tudunk elektromos energiát előállítani, ezek közül a leggyakrabban használtakat választottuk ki és megvizsgáltuk, hogy 1 kWh energia előállítása mennyi CO₂ kibocsátással jár.

Magyar átlag	370 gCO ₂
Kőszén	1040 gCO ₂
Kőolaj	815 gCO ₂
Földgáz	481 gCO ₂
Biogáz	598 gCO ₂
Víz	5,98 gCO ₂
Szél	11,8 gCO ₂
Napelem	55,9 gCO ₂
Biomassza	41,3 gCO ₂
Geotermikus	63 gCO ₂
Urán	4,62 gCO ₂
Hulladék	701 gCO ₂
Mátrai Erőmű	1220 gCO ₂

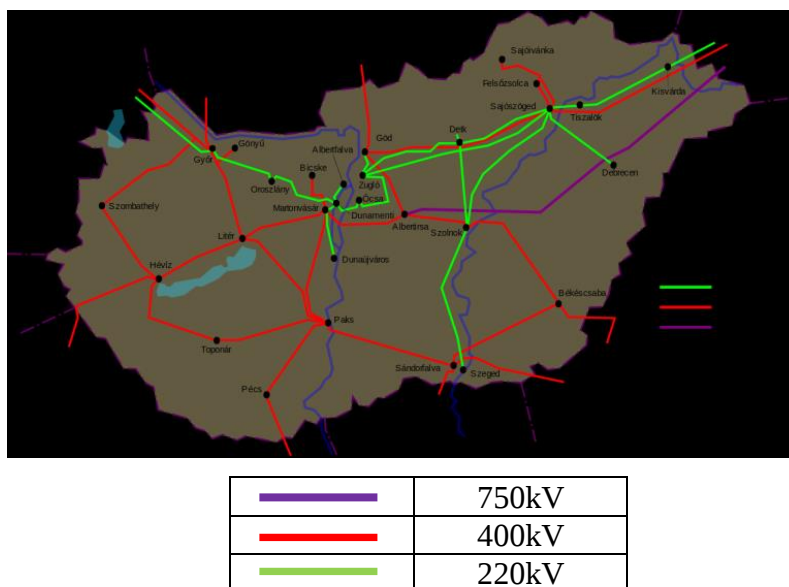


64. ábra 1kWh energiából származó káros anyag

Magyarországon a legtöbb energiát a Paksi Atomerőműben és a Mátrai Erőműben állítjuk elő. Hazánkban az atomerőmű tűnik a legjobb megoldásnak környezetvédelmi szempontból, illetve itt valósítható meg nagy mennyiségű központosított energia termelése. Azért van a táblázatban a megújuló energiaforrásoknak is károsanyag-kibocsátása, mert például a napelem is szilícium alapú, aminek a gyártása igen környezetszennyező és ezt vetítettük le az élettartamra és a várható termelt energiára.

4.1. Paksról Miskolc-Egyetemvárosba

A korábban kiszámoltak alapján az atomenergia bizonyul a legmegvalósíthatóbbnak és atomenergia termelés Magyarországon csak Pakson van, ezért utánajártunk, hogy milyen utat tesz meg a villamos energia, ha Miskolcon szeretnénk tölteni az elektromos autónkat.

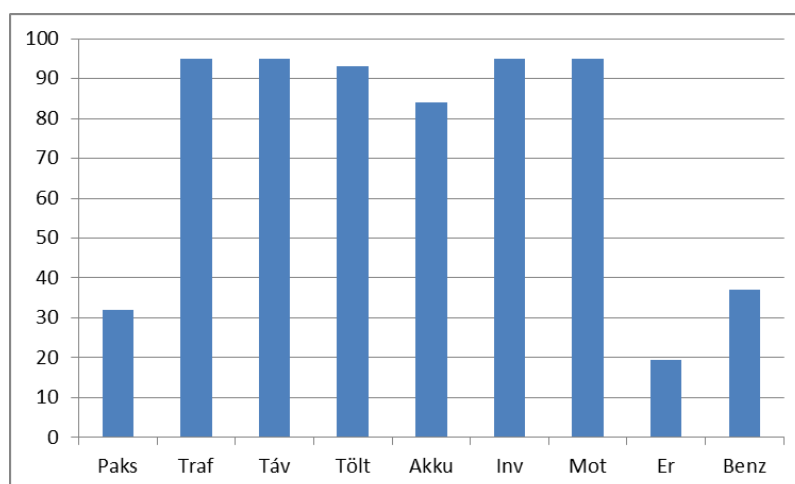


7. ábra Magyarország villamos térképe

Pakson megtermeljük a villamos energiát 10,5 kV-on, majd egy 10,5/400 kV-os transzformátorral rátáplálunk a 400 kV-os főelosztó hálózatra, ezen keresztül eljut az energia Felsőzsolcáig, ahol egy 400/120-as transzformátor állomásra fut be. Ezután a Déli Transzformátorállomáson 120/10 kV-ra alakítjuk, végül pedig az Egyetemvárosnál 10/0,4 kV-os transzformálás után tehetjük fel az autót tölteni.

4.2. Az energiatermelés és az utazás hatásfoka

Egy Otto-motor hatásfoka 25-30% közé tehető, ezzel szemben egy elektromos motor hatásfoka 95% körül mozog.



8. ábra Hatásfokok

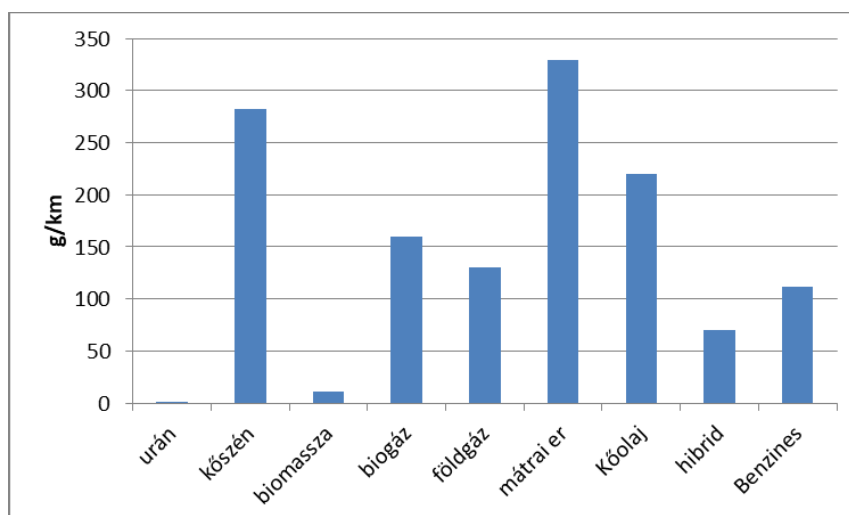
Ha a különböző elemeknek a hatásfokát összegezzük, eredő hatásfoknak 19,5% jön ki, ami jóval kevesebb, mint az előbb említett Otto-motoré.

Egy Paksi Atomerőműről töltött elektromos autó hatásfoka:

- Paksi Atomerőmű hatásfoka ~32%
- Transzformátorállomás hatásfoka ~98%
- Távvezeték hatásfoka ~97%
- Töltő hatásfoka ~93%
- Akkumulátor hatásfoka ~84%
- Inverter hatásfoka ~95%
- Elektromos motor hatásfoka ~95 %
- Eredő hatásfok ~19,5%

4.3. Elektromos autók károsanyag-kibocsátása

Ha az eredő hatásfokot és a kWh-ra vett CO₂ kibocsátást összegezzük, kiszámolhatjuk az elektromos autó km-ként kibocsátott CO₂ mennyiségét.



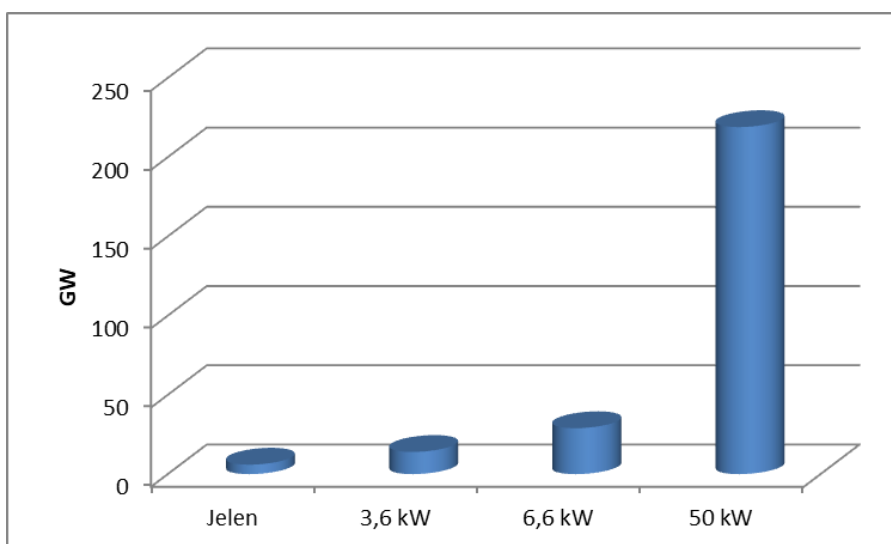
9. ábra Különböző energiaforrásokból származó károsanyag-kibocsátás

Az uránból 1 kWh energia előállítása 4,62 g CO₂ kibocsátással jár. Ha ezt beszorozzuk a nagyobb 30 kWh akkumulátorral és elosztjuk a 200 km-es maximális hatótávolsággal, majd megszorozzuk 1,805 értékkel, az eredő hatásfok miatt megkapjuk, hogy 1,25 g/km-es CO₂ kibocsátású az elektromos autó. Ez a számítás az optimális eseteket feltételezi, ennél a CO₂ kibocsátás csak nagyobb lehet. A fenti táblázatban ugyanígy végigszámolva a többi energiahordozóra vett károsanyag-kibocsátás látható. A táblázat jobbszélső oszlopa a BMW CO₂ kibocsátását mutatja. Az ábráról továbbá az is leolvasható, hogy uránból és biomasszából előállított energiával éri meg tölteni az elektromos autónkat, különben a károsanyag-kibocsátás nagyobb, mint egy hagyományos belsőégésű motor esetén.

4.4. Energiatermelési és hálózati igénybevétel

1995-ben 2,24 millió autó volt forgalomban Magyarországon, 2005-ben már 3,03 millió, 2015-ben pedig 3,37 millióra ugrott ez a szám.

Viszonyításképp 2017-ben közel 6 GW volt a napi csúcsfogyasztás, tehát ha 3,37 millió darab Nissan Leaf-fel számolunk, és ezeket egyszerre szeretnénk tölteni 50 kW-os gyorstöltővel, akkor ez 219 GW-ot venne fel a hálózathoz félórán keresztül. A 6,6 kW-os töltővel 29 GW-ot venne fel 5,5 órán keresztül, míg a 3,6 kW-os töltővel 14 GW-ot venne fel 9,5 óráig. Ezen értékek mellett eltörpül a jelenlegi, 6 GW-os nappali csúcsfogyasztásunk.



10. ábra Hálózati igénybevétel

A 10. ábra baloldalán a jelenlegi napi csúcsfogyasztás látható, míg a másik három oszlopban az előzőekben felvázolt töltők töltések által felvett energiafogyasztása.

5. ÖSSZEGZÉS

Az elektromos autó egyik nagy előnye, hogy nem ott bocsátja ki a káros anyagokat, ahol használjuk, viszont nem mindegy, hogy miből állítjuk elő az elektromos energiát. Az alapkoncepció nagyon jó, de sem megfelelő erőmű háttér nincs Magyarországon, sem megfelelő hálózat. Jelenleg még a hagyományos autók a piacvezetők, és talán a hibrid a legjobb választás és megoldás a környezetszennyezés csökkentésére és energiafelhasználás szempontjából.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <https://www.alapjarat.hu/tech/az-elektromos-autok-tortenete/>
- [2] <https://www.nissan.hu/jarmuvek/uj/leaf-2018.html>
- [3] <https://www.bmw.hu/hu/all-models.html>
- [4] <https://www.toyota.hu/new-cars/prius/index.json>

(Források megtekintésének dátuma: 2017. november-december)

MAGYARORSZÁG VASÚTI TÖRTÉNETE ÉS AZ ALKALMAZOTT MOZDONYOK ÖSSZEHAISONLÍTÁSA

HISTORY OF THE HUNGARIAN RAILWAYS AND THE COMPARISON OF ELECTRICAL TRAINS

GECSEI Sándor Márton¹, BODNÁR István²

¹Villamosmérnök BSc hallgató, gecsei.sandor93@gmail.com

¹Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

²Ph.D., egyetemi adjunktus, kutatócsoport vezető, vegybod@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A tanulmány Magyarország vasúti történetét mutatja be a kezdetektől napjainkig, továbbá magyar fejlesztésű és az országban működő főbb villamos mozdonyok típusait ismerteti energiaátalakítás szempontjából. Többek között diódás, tirisztoros és frekvenciaváltós mozdonyok kerülnek bemutatásra. Ezen felül a Magyar Államvasutak (MÁV) vonalain történő villamos energia fogyasztás és a vasúti pályaállapotok helyzete, állapota; illetve jövőbeli fejlesztéseket, technológiákat mutat be.

Kulcsszavak: történelem, mozdonyok, pályaállapotok, fogyasztás, technológiák

Abstract: The study presents Hungary's railway history from the beginnings to nowadays. Also includes the greatest electrical train innovations made in Hungary focusing on their energy conversion. Among the other things, diode, thyristor and frequency converter engines are mentioned. Finally, the study deals with the energy consumption of the Hungarian State Railway Ltd.'s (MÁV) lines, the current condition of the lines and shows some of the potential technologies in the future.

Keywords: history, engines, railway states, consumption, technologies

1. BEVEZETÉS

Világunk a vasút nélkül, talán nem is létezne. Annak ellenére, hogy megjelentek a gyorsabb és nagyobb repülőgépek, még mindig fontos szerepet tölt be a vasút az áru- és személyszállítás életében. A 2010-es évek óta ismételten nőtt a fontossága, és a növekvő igényekkel tartani kell a lépést, hogy a vasút minél gazdaságosabbá és kényelmesebbé válhasson. Gazdaságosabbá akkor válhat, ha minél kevesebb energia felhasználásával vagyunk képesek eljuttatni a szállítandó termékeket kijelölt céljukhoz. Jelenleg a villamos mozdonyok képesek a legjobban erre, mivel hatásfokuk jóval több, mint a gőz-, vagy dieselmozdonyoké. Azonban európai környezetben vizsgálva nem annyira egyszerű a nagy távolságú villamos vontatás kivitelezése, hiszen rengeteg áramtípussal találkozhatunk, akár ugyanabban az országban is. Kényelmesebbé pedig akkor válhat, ha elég pénzt fektetünk a vasúti pályákba és használjuk az új technológiákat. Tehát olyan mozdonyokra van szükség, amelyek több áramnem alatt is képesek működni, kedvező a villamos fogyasztásuk és kicsi a karbantartási költségük. Egy ilyen mozdony azonban igen drága és emiatt a mai napig, minden országban közlekednek 50-60 évnél idősebb mozdonyok. Magyarországi viszonylatban sokkal több az idősebb gép, mint a fejlettebb nyugati országokban és ahány gép, annyi technológia.

2. A KEZDETEKTŐL NAPJAINKIG

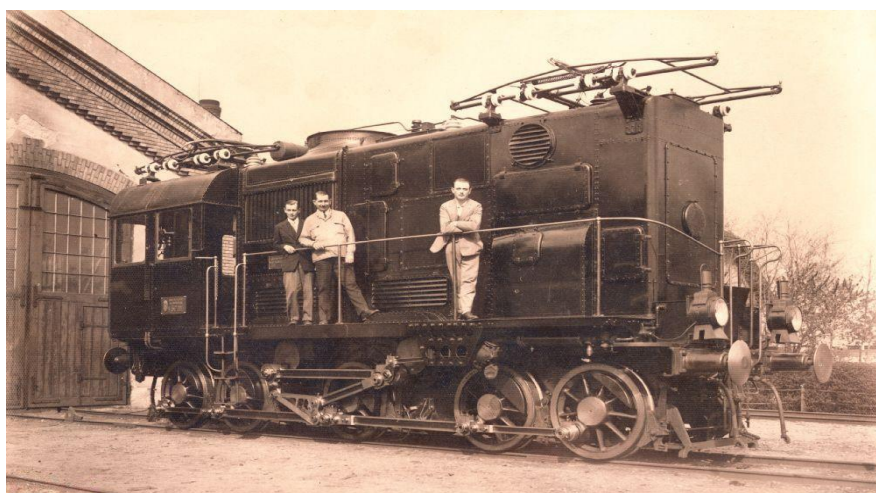
Ha a magyar vasúti múltat vizsgáljuk, akkor az első magyar vasúti vonal 1846. július 15-én nyitott meg a nagyközönség előtt. Ezen a vonalon még külföldről beszerzett gőzmozdonyok továbbították a szerelvényeket, saját mozdonyaink és mozdonygyárunk nem volt. 1923-ban lett kész az első magyar villamosított vasútvonal Budapest és Alag között. Itt már saját készítésű villamos mozdonyok továbbították a szerelvényeket. Ezek a mozdonyok V50-es jelzést kaptak és áramalakításuk szerint igen különleges kiépítéssel rendelkeztek. A szerkezet lényege, hogy egy fázisról kapták az energiát, pontosabban 16 kV 50 Hz-en. Ez azért fontos, mert addig nem az országos hálózatról vételeztek, hanem saját erőművekben állították elő a szükséges energiát. Ezáltal gazdaságosabbá és olcsóbbá vált az energiaellátás, hiszen elég volt csak transzformátorállomásokat kiépíteni, ahova állandó személyzetre sem volt szükség. A mozdony azonban háromfázisú aszinkronmotorral rendelkezett, így meg kellett oldani valahogy, hogy az egy fázisból három fázist állítsanak elő. Az a megoldás született, hogy a vezetékről egy szinkronmotort hajtottak meg állandó fordulatszámmal, ami egy háromfázisú generátorhoz csatlakozott. Innen az energiát eljuttatták az aszinkronmotorhoz, mely pólusszám-átkapcsolós volt, változtatható feszültségszinttel.

Bebizonyosodott, hogy hosszú távú ellátásnál az egyenáram nem megfelelő. A váltakozó áram gazdaságosabb volt, mivel kevesebb a vesztesége nagyobb távolságokon, de sokkal nehezebb volt az átalakítása. Egyenáramnál azonban városi közlekedés esetén jöttek elő az előnyök, ezért is láthatunk a mai napig villamosokat, metrókat és trolibuszokat közlekedni minden nagyvárosban. Mivel az energiaellátás helyben volt, nem volt szükség nagytávolságú rendszer kiépítésére és az egyenáram könnyebben alakítható. Ezért döntöttek úgy a Londoni Metrónál, hogy gőzhajtású szerelvényekről álljanak villamos ellátásúra. Erre a Ganz céget kérték fel, azonban az első teljesen villamos ellátású Metró Budapesten épült meg, amit ma „Kisföldalattinak” ismerhetünk.



1. ábra: Az M1-es metró „Kisföldalatti” (forrás: <http://hampage.hu/trams/fav>)

A váltakozó áram elterjedését Kandó Kálmánnak köszönhetjük, mivel háromfázisú váltakozó áramú vasúti rendszert épített ki Olaszország északi részén, aminek az energiaellátását a környező vízi erőművekből biztosították. Azonban továbbgondolta a technológiát és rájött, hogy a 3 fázisú ellátást meg lehet valósítani egy fázisról is és nem feltétlen kell külön erőmű, ha az országos hálózatról is kinyerhető a szükséges energia. Ennek köszönhetően született meg a V50, amelyről már korábban szó volt. Ennek az új technológiának és új mozdonytípusnak köszönhetően megindulhatott Európa szerte a vasutak villamosítása, és ezáltal csökkentették a fenntartási költségeket, illetve megindult a nagysebességű mozdonyok készítése, melyeknek köszönhetően jelentősen rövidült a távolságok megtételéhez szükséges idő.



2. ábra: V50-es mozdony (forrás: <https://hu.wikipedia.org>)

3. MAI ÁLLAPOTOK

A technológia fejlődött, és egyre modernebb és takarékosabb gépeket sikerült építeni, amely gyorsabbá és gazdaságosabbá tették a vasúti közlekedést. Sok mozdony született magyar tervezőasztalokon, de talán a leghíresebb a V43-as jelzésű szilíciumdiódás mozdony. Német licenc alapján készült, az első hetet Németországban gyártották le és utána a maradék 330-at már Magyarországon, magyar gyárakban. 1950-es évek technológiája és a mai napig közlekednek. Két darab, összesen 2.200 kW-os teljesítményű egyenáramú motor hajtja a kerekeket és a mozdony súlya 80 tonna. Áram átalakításáról több mint félezer szilíciumdióda gondoskodik, az akkori technológia legjobb megoldása. Létrejöttét nyilvánvalóan a félvezető elemek megjelenése tette lehetővé.



3. ábra: V43-as mozdony és a diódás egyenirányító szekrény

Ezután a rendszer után jött a tirisztoros áram átalakítási rendszer, aminél már lehetett vezérelni, hogy mekkora feszültség alakuljon át egyenáramra. Ilyen technológiával készült el a legerősebb magyar villamos mozdony a V63, amely 3.600 kW teljesítményű és egészen a MÁV 1047-es sorozatának megjelenéséig a legerősebb magyar mozdony volt. Az 1047-es már 7.000 kW teljesítményű gép, amely 2007-ben jelent meg hazánkban a SIEMENS cég jóvoltából. Ez a mozdony már a 2000-es évek technológiáját jeleníti meg előttünk, hiszen több áramtípus alatt is képes közlekedni és ez alkalmassá teszi több országban való közlekedésre is, anélkül, hogy gépet kellene cserélni. A gép teljesítménye majdnem háromszorosa a V43-asénak, és súlyuk közel azonos. Ez közel 60 év technológiai fejlődés eredménye.



4. ábra: V63-as és SIEMENS mozdonyok. (forrás: iho.hu)

Azonban vannak helyzetek, amikor a nagy teljesítmény felesleges. Ilyen például a személyszállítás. A nagy teljesítményű gépeket tehervontatásnál érdemes használni, de személyszállításnál annyira nem gazdaságosak. Ekkor jöhetnek képbe a motorvonatok. A MÁV és a GYSEV közbeszerzéseinek köszönhetően egyre nagyobb számban fordulnak elő a FLIRT nevű motorvonatok, amelyek kifejezetten személyszállításra lettek kialakítva és sokkal kevesebb teljesítménnyel képesek nagyszámú embertömeget szállítani, mivel könnyűek. A STADLER cég által gyártott motorvonatok előnye, hogy vásárlásnál ki lehet választani, hogy hány részes szerelvényből álljon a vonat, mennyi ülőhely legyen bennük és ezáltal a szükséges teljesítményt minimalizálni lehet. Így gazdaságossá válik az üzemeltetésük, hiszen csak annyi teljesítményt vesznek fel, ami valóban szükséges. A motorvonatokat úgy építik meg, hogy két szekció között csak egy forgószámlót alakítanak ki és ennek a súlyát viseli a forgóváz. Ezáltal csökkentették a gördülési ellenállást, hiszen, kevesebb forgóváza van a szerelvénynek. A motorvonatok, tehát úgy lettek kialakítva, hogy minél gazdaságosabban lehessen minél több embert kényelmesen szállítani.



5. ábra: FLIRT motorvonat (forrás: hvg.hu)

De ha már gazdaságosság, akkor felmerülhet a kérdés: Mennyi a MÁV egy éves áramfogyasztása? Nos, egy 2014-es adat szerint 1,085 TW; vagyis tulajdonképpen kicsit több, mint ezermilliárd Watt. Magyarország teljes áramfogyasztása egy évre 42,5 TW, melynek önrésze 29 TW, vagyis 68%-a a teljes termelésnek. Ebből fakadóan a MÁV teljes áramfogyasztása, beleértve a mozdonyoktól a peronok világításán át mindent, a teljes magyar áramfogyasztás 2-3,7%-át teszi ki. Ha 1 kW kisfogyasztói áram ára kb. 41 forintnál áll jelenleg, akkor a teljes áramszámla a MÁV-nak 44,5 milliárd forintra jön ki, de nyilván vannak kedvezmények. Más szemszögbe helyezve, a MÁV 1 évnyi fogyasztása egy Miskolc méretű (kb. 150.000 fős) városnak 4,6 évig lenne elég lakossági ellátáshoz.

A mai Magyarország vasúti állapota azonban nem áll a világ színvonalának élén. Rengeteg vonalat zártak be az elmúlt években, az utazások sokszor késésekkel tarkítottak és szembetűnően megnőtt a menetidő az 50 évvel ezelőtti viszonylathoz képest. Miért van ez? Nos, majdnem 3.000 milliárd forintnyi összeg hiányzik csak a vasúti pályákból. A közbeszerzések ellenére még mindig magas a mozdonyok és kocsik átlagéletkora és sehol az országban nem lehetséges a 160 km/h feletti közlekedés, pedig sok, az elmúlt években szerzett mozdony és motorkocsi képes lenne eme sebesség túllépésére.

Ha szeretnék Európai színvonalat, akkor rengeteg pénzt kell fektetni a vasúti pályába, és csak azután lenne lehetséges nagysebességű vonal kiépítése. Olyan nagysebességű vonalról van szó, mint a francia TGV, német ICE, osztrák Rail Jet, vagy a lengyel Pendolino. Itt megvalósították a 200 km/h feletti sebességet, és ezáltal sokkal gyorsabban lehetett hatalmas távokat megtenni.

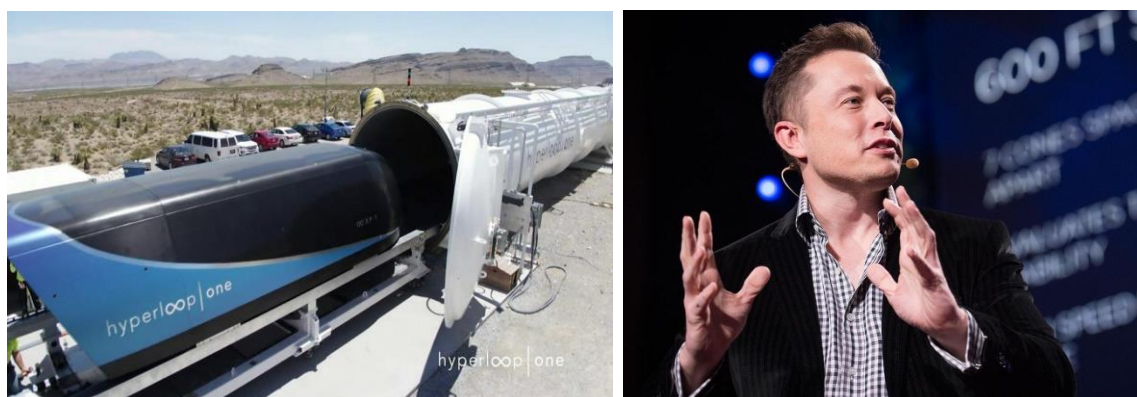
4. ÚJSZERŰ TECHNOLÓGIÁK ÉS KONCEPCIÓK

Az áramfogyasztás csökkentésének érdekében folyamatban vannak további FLIRT motorkocsik beszerzései, sőt egy most nyitott tender alapján lehetséges, hogy hamarosan emeletes szerelvények is közlekedni fognak nálunk az elővárosi vonalakon. Szóba jöhetnek még hibrid hajtású mozdonyok, mint a Lillafüredi Állami Erdei Vasút (LAEV) tulajdonában lévő keskeny nyomtávú mozdony, amely dízel-hidraulikus hajtású, és a legkorszerűbb dízel-elektromos fékezési technológiával látták el, ami a fékezésből fakadó energiát képes felhasználni. Ugyanez a technológia az AUDI ingolstadti gyárában is megtalálható két darab 1.000 lóerős mozdony személyében, amik évente 60 tonnával kevesebb CO₂-t bocsájtanak ki, ennek a technológiának a felhasználásával, mint társaik. Vagy említhetjük ugyanezt villamos üzemű mozdonyok esetén is, hogy a keletkezett energiát visszatáplálják a felsővezetékbe. Ezekkel mind-mind képesek kímélni a környezetünket és még gazdaságosabbá teszik a közlekedést.



6. ábra: Hibrid mozdonyok (forrás: iho.hu)

Elon Musk Hyperloop-ja egy tervezett, zárt vasúti rendszer, melynek lényege, hogy az utasszállító kapszulák légritkított csőben haladnának, melyeket egy lineáris motor hajtana meg. A rendszer sebessége elérhetné az 1.100 km/h-s sebességet is. A tervek egy Budapestet érintő vonalat is említene, így például Bécs elérése, kevesebb, mint negyed órába kerülne. Azonban ez még egy kezdeti stádiumban lévő projekt



7. ábra: Hyperloop és Elon Musk (forrás: hyperloop-one.com)

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Magyarország vasúti helyzete az 1900-as évek elején és közepén virágzott, mára azonban csak árnyéka önmagának. Kandó Kálmán bebizonyította, hogy Magyarország is tud versenyképes technológiákat, gépeket és szerkezeteket alkotni, melyek Európa szerte és a világ legeldugottabb részein a mai napig megállják a helyüket. A jövő pedig bizakodásra ad okot, hisz egyre több vonalat villamosítanak és újítanak fel. Egyre több jó hatásfokú mozdonyt és motorvonatot szereznek be és ezáltal javul az energiahatékonyság. Elon Musk Hyperloopja pedig egy igen jó kiindulópont az alternatív és hatékony kötöttpályás közlekedésre.

Addig meg, talán érdemes lenne fejleszteni a vasúti pályákat, hogy felzárkózhassunk az európai átlaghoz és versenyképesek maradhassunk a szolgáltatások és a minőség terén.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **T. HÁMORI F.:** *Magyarország mozdonyai*, Indóház Lap- és könyvkiadó, 2007.
- [2] **SCHMIDT, RAJKI, VINCZE:** *Járművillamosság*, Műegyetemi kiadó, 2002.
- [3] **KASSAI, KÓHALMI, OROSZVÁRY, SZLÁDIK:** *Nagyvasúti villamos mozdonyok*, Műszaki könyvkiadó, 2007.

ELEKTROMOS HAJTÁS A REPÜLÉS VILÁGÁBAN

ELECTRIC DRIVE IN THE WORLD OF FLYING

BARNÓTH Péter¹, BODNÁR István²

¹Villamosmérnök BSc hallgató, barnothpeti07@gmail.com

¹Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

²Ph.D., egyetemi adjunktus, kutatócsoport vezető, vegybod@gmail.com

²Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Villamos Energetikai Kutatócsoport, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A tanulmány a kisgépes repülésben esetlegesen használható elektromos hajtásokat, akkumulátorokat és a világ első elektromos kisrepülőjét mutatja be. A repülésben, és ezen belül a kisgépes, vagy sportrepülésben a repülőgépek nagy igénybevételnek vannak kitéve. A belsőégésű motorokkal kapcsolatos, repülés előtti teendők sok időt, üzemanyagot és ezáltal pénzt emésztene fel. Az elektromosan hajtott autók és hajók után a korszerű akkumulátoroknak és motoroknak köszönhetően villamos hajtású repülőgépek is épülhetnek. Elektromos motorokkal szerelt repülőgépeknél nem szükséges indítás után motort melegíteni, bonyolult olajozó berendezéseket használni, a kívánt teljesítmény a főkapcsoló felkapcsolása után rendelkezésre áll. A cikkben bemutatjuk a véleményünk szerint használható technikákat és berendezéseket.

Kulcsszavak: elektromos repülőgép, aszinkron motor, akkumulátor

Abstract: In the paper the aviation electric engines, batteries and the world's first electric plane are presented. Before flying on internal combustion engines consume a lot of time, fuel and therefore money. After the electrically driven cars and boats thanks to advanced batteries and electric motors powered airplanes can be built. The planes in which the electric motor is easy to handle, there is no need for complicated workshop. To start the airplane, turn on the main switch. In this article, we present the techniques and equipment we use in our opinion.

Keywords: electric airplane, asynchronous motor, lithium batteries

1. BEVEZETÉS

A Wright fivérek 1903 évi első sikeres motoros repülése óta a repülőgépek folyamatos fejlődésen mennek keresztül. Eleinte fa és vászon anyagokkal kísérleteztek, ezeket a különböző alumínium ötvözetek váltották, ám a mai korszerű anyagoknak köszönhetően a repülőgépek könnyebbek és erősebbek lehetnek, mint valaha.

A repülés fontos része az emberek életének. Hosszabb távok megtételéhez családi nyaralásokhoz, üzleti utakhoz előszeretettel választják. A kisgépes repülés a közforgalmi és cargo repülés alapját képezi. Fontos szerepet játszik a világ pilóta utánpótlás képzésében.

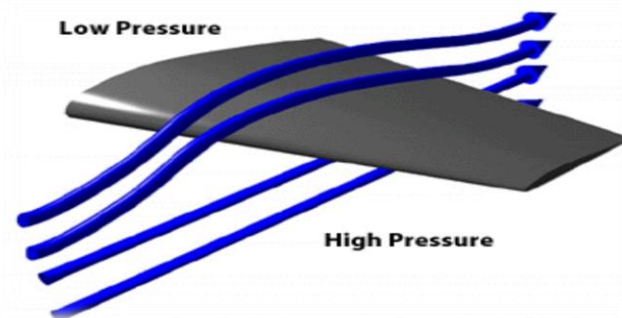
2. AERODINAMIKAI ALAPISMERETEK

Az áramló levegő az útjában lévő tárgyakra erőhatást gyakorol: munkavégző képességgel rendelkezik. Azt a tudományt, amely az áramló levegő által körüláramlott testekre kifejtett erőket vizsgálja, aerodinamikának vagy más néven légerőtanak nevezzük.

Közismert, hogy a közeg részecskéinek végtelen lassan történő elmozdításához nincs szükség erőre. A folyadékokban és gázokban nincs nyugvó sűrűlódás. Az áramló közegben akkor lép fel belső sűrűlódás, ha rétegei között sebességkülönbség van. A belső sűrűlódás hatása a szilárd test felülete mentén a különböző sebességű áramlások között viszonylag vékony rétegben érvényesül.

A folytonossági törvény az anyagmegmaradás törvénye áramló közegre. A repülés első szabálya, hogy a szárny felső felületén kisebb a nyomás, mint a szárny alsó felületén, aminek következtében felhajtóerő jön létre (1. ábra).

A szárnyprofil (Airfoil) a szárny keresztmetszete, amely alakja döntően meghatározza a gép repülési tulajdonságait. A szárnyra ható közegellenállás növeli az üzemanyag fogyasztást, ezért fontos a megfelelő szárnyprofil alkalmazása [1].



1. ábra: Felhajtóerő kialakulása

3. ELEKTROMOS MOTOROK

Elektromosan hajtott repülőgépek tervezésénél fontos szerepet játszik a gép számított tömege és teljesítménye. Ezt a kívánt teljesítményt jellemzően a 3 fázisú motorok tudják szolgáltatni. A belsőégésű repülőmotorokhoz hasonlóan viszonylag alacsony fordulát, nyomatékos motorokat használhatunk. A korszerű akkumulátorok jó teljesítmény-tömeg aránya és a kefe nélküli motorok lehetővé teszik a függőleges emelkedést is, a fokozatos emelkedés helyett.

Lenz törvénye szerint a forgó motor a forgási sebességgel arányos visszaható elektromotoros erőt hoz létre; a motor addig gyorsul, amíg ez egyenlővé nem válik a tápfeszültséggel, ekkor egyensúlyi állapot jön létre.

A kefe nélküli egyenáramú motorok (továbbiakban BLDC) különböző fizikai kivitelezésekben készülhetnek: A „hagyományos” belső forgórészű („inrunner”) kivitelnél az állandó mágnesek a forgó armatúrára vannak szerelve (rotor). Három állórész tekercs veszi körül a forgórészt. Az „outrunner” külső forgórészű kivitelnél fordított a sugárirányú kapcsolat a tekercsek és a mágnesek között; az állórész tekercsei alkotják a motor közepét (magját), míg az állandó mágnesek egy fölé lógó rotoron forognak, ami körülveszi a magot.

Ahol korlátozott a rendelkezésre álló hely lapos típust használnak, azaz álló- és forgórész tányérokat használ egymással szembe fordítva. Az outrunner típusoknak általában több pólusa van, hármasával elrendezve, amivel biztosítják a tekercsek hármas csoportját, és alacsony fordulatszámokon nagyobb lehet a forgatónyomaték. Az állórész tekercsei minden BLDC motornál rögzítettek.

Még két villamos kivitel létezik, ami a tekercsek huzalozásának egymással való összeköttetésében különbözik (nem a fizikai alakjukban, vagy elhelyezkedésében). A háromszög kapcsolású kivitelnél a három tekercs egymáshoz van kapcsolva (sorosan), és minden csatlakozási ponton táplálva van. Ez a háromfázisú delta kapcsolás. A csillag kivitelnél minden tekercs egy középső közös pontba csatlakozik (párhuzamosan), és a táplálást minden tekercs szabad végén oldják meg.

A háromszög kivitelű tekercselésnél alacsony a forgatónyomaték alacsony fordulatszámon, de magasabb lehet a legnagyobb fordulatszám. Csillag kivitelnél magas a forgatónyomaték alacsony fordulatszámon is, de nem olyan magas a legnagyobb fordulatszám [2]. Elektromotoros repülőgépek esetén a csillag kivitel lehet a leghasznosabb a magas forgatónyomaték és a nem túl magas fordulatszám miatt.

4. ALKALMAZHATÓ AKKUMULÁTOROK

A lítiumion-technológia onnan kapta a nevét, hogy a töltés tárolásáról lítium ionok gondoskodnak. Alacsony tömegük miatt hatalmas előnyük van, az azonos teljesítményű nikkell alapú akkumulátorokkal szemben. A cellák névleges feszültsége 3,3 V (LiCoO₂) vagy 3,7 V (LiFePO₄). Töltéskor, külső feszültség hatására a lítium-ionok az anódhoz, az elektronok a fém-oxid katódhoz áramlanak. Kisütéskor fordított a helyzet: a lítium-ionok a fém-oxid katódhoz, az elektronok mozgása a külső áramkörön keresztül, az anódhoz irányul. A lítium-ion akkumulátorok különösen érzékenyek az üzemeltetés villamos és termikus viszonyaira. A túlmelegedés ugyanis növeli az elektrolit belső ellenállását, és az aktív anyagok öregedéséhez vezet. Emiatt a lítium-ion akkumulátorok folyamatos működtetése a -25° – $+55^{\circ}$ °C közötti hőmérséklet intervallumban ajánlott, így érhető el a maximális hatásfok és a lehető leghosszabb élettartam. E tekintetben a nanotechnika alkalmazása jelentős lehetőségek forrása. Nanocsöves struktúrával különösen vékony elektródok, kisebb méretű cellák, a korábbinál nagyobb energiasűrűségű, kisebb tömegű és térfogatú lítium-ion akkumulátorok készíthetők. A nanocsöves felépítés különösen a pozitív elektródok és a háromkomponensű katódok kialakításában hordoz jelentős fejlesztési lehetőségeket [3]. Hasznos tulajdonságuk továbbá, hogy viszonylag hosszú ideig bírják a nagy erősségű áramterhelést, illetve gyorsan újratölthetők. Csekélyebb tömegük miatt könnyebben cserélhetők, így egy pár perces szünet után, töltött akkumulátorokkal ismét használható állapotba hozható.

5. A VILÁG ELSŐ ELEKTROMOS KISREPÜLŐJE

A világon elsőként a Magnus Aircraft csapata mutatta be az első olyan elektromos hajtású iskola/kiképző repülőgépet, amelyet akár sorozatban is gyárthatnak. A gép fejlesztése még napjainkban is tart, de a cég már így is számos előrendelést kapott.

Az ún. aerobatus ("műrepülő") kategóriában ilyen elektromos meghajtású karbongéppel még nem jöttek ki a gyártók és akkor még nem is beszéltünk további extrákról. Az elektromos szekcióban a fejlesztők el is nyerték az eFlight Award 2016 európai innovációs díjat, amit 2010 óta minden évben az AERO Friedrichshafen repülő kiállításon adnak át a legjobb elektromos fejlesztőnek.

Világszerte körülbelül tíz gyártó van, amik elektromos repülőgépen dolgoznak, de azt lehet mondani, hogy a Magnus Aircraft teljesen más koncepciók, ötletek mentén halad. Az eFusion-nek (2. ábra) jelenleg nincs konkurenciája, ami tulajdonságaiból, multifunkciós voltából adódik. A törzs, a szárnyak szénszálas kompozit anyagból készülnek, az egymás melletti ülések, a széles kabin, a műrepülés közeli, alap műrepülésre alkalmas repülési tulajdonságok (a robbanómotoros Fusion 212 +6G/-3G terheléseket is elbír), és a teljesen elektromos hajtás miatt nehezen lehet összehasonlítani más gyártók kísérleti gépeivel [4].



2. ábra: *Levegőben a kísérleti e-Fusion [4]*

Az elektromos repülőgépeknek számos előnye van a robbanómotoros társaikhoz képest. Mivel repülés közben nem fogy az üzemanyag, így a gép repülési tulajdonságai állandóak. Nem változik a súlypont, ez nagyban növeli a stabilitást. A pilótának elég egyszer, a felszállás után hossz stabil helyzetbe állítania. Ezt a stabil helyzetet a magassági kormányon lévő trimm-lapok segítségével tudja beállítani. További előnyei közé tartozik a csendes üzem, a motorok alacsony tömege, illetve megbízhatósága.

Sorozatgyártás esetén a pilótaképző iskolák kedvelt gyakorló gépe lehet nagy strapabírósága és alacsony karbantartási igénye miatt. Az elektromotornak nincs szüksége bonyolult olajozó, gyújtó és üzemanyag ellátó rendszerre, ezért a karbantartási költségek minimalizálhatók.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A gyors ütemben fejlődő elektromotorok, akkumulátorok és vezérlések miatt véleményünk szerint az elektromosan hajtott kiképző repülőgépek az elkövetkezendő 5-8 évben elterjedhetnek, amely kedvező hatással lesz az ország pilóta utánpótlására. A korszerű motorok terhelhetősége, nyomatéka és hirtelen gázreakciói miatt alkalmazható lehet még a műrepülésben is, ezzel új verseny kategóriát teremtve.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **FÁBIÁN A.:** (JAR-FCL)-PPL kézikönyv: *A repülőgép-vezetés elmélete*, Budapest, 2010. (SKYLIGHT CREATIVE EC.).
- [2] **WIKIPEDIA.:** Kefe nélküli egyenáramú motor .
- [3] **PETRÓFI J.:** *Autótechnika*, 2008.01.01. 17. old.
- [4] **MAGNUSAIRCRAFT.COM; INDEX; HVG.**

A BESZÉD MINŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA ÉS AUTOMATIKUS KIÉRTÉKELÉSE

EXAMINATION AND AUTOMATIC EVALUATION OF SPEECH QUALITY

CZAP László ¹, PINTÉR Judit Mária ²

¹Ph.D., egyetemi docens, czap@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetemi, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet
H-3515, Miskolc-Egyetemváros

²Ph.D., egyetemi adjunktus, pinterjm@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetemi, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet
H-3515, Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: „A beszédkutatókat a rendelkezésre álló korszerű eszközök szinte kötelezik a hallássérültek beszédével való foglalkozásra, annak élettani és akusztikai tanulmányozására. A számítógép az eddig láthatatlan jellemzőket is láthatóvá tudja tenni.” [1] Az „Alap- és alkalmazott kutatások hallássérültek internetes beszédfejlesztésére és az előrehaladás objektív mérésére” címet viselő projekt a siket és nagyothalló személyek számára – az eddigi eszköztár részbeni megújításával – a sikeres beszédtanulás egyik kulcsát nyújthatja. Cikkünk célja, hogy bemutassuk a projekt során kifejlesztett komplex rendszert és alkalmazásának eredményeit a hallássérült gyerekek beszédfejlesztésében központba helyezve a beszéd minőségének vizsgálatát és automatikus kiértékelését.

Kulcsszavak: beszédfelismerés, automatikus minősítés, beszédasszisztens

Abstract: The project TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV called ‘Basic and Applied Research for Internet-based Speech Development of Deaf and Hard of Hearing People and for Objective Measurement of Their Progress’ may provide the key to the successful language learning. The aim of the paper is to introduce the complete system developed in the project and the results of its application in the speech development of hard of hearing children.

Keywords: speech recognition, automatic evaluation, speech assistant

1. BEVEZETÉS

A hallássérülés viszonylag tág biológiai és orvosi fogalom, azonban eltér egymástól a hallássérülések orvosi és gyógypedagógiai kategorizálása.

„A hallássérülés gyógypedagógiai fogalma (hallási fogyatékoság) elsősorban a beszédértéshez szükséges hallásterületen közepes, vagy annál súlyosabb fokú nagyothallást, siketiséggel határos, vagy siketségnek diagnosztizált hallásvesztésről jelent. Más megközelítésben a hallássérültek pedagógiája a hallássérült kifejezést olyan halláscsökkenésre alkalmazza, amelynek következményeként a beszédfejlődés nem indul meg, vagy a beszéd oly mértékben sérült, hogy a beszéd megindításához, korrekciójához speciális beszédfejlesztő módszerek alkalmazására van szükség” [2].

Annak igénye, hogy minden egyes gyermek meglévő és hiányzó képességeinek pontos diagnosztizálása alapján a számára legmegfelelőbb fejlesztésben részesüljön, felhívja a figyelmet a módszertani változatosságra, a technikai újítások bővítésének szükségességére. Differenciálás nélkül nem beszélhetünk mai, modern pedagógiai szemléletről és gyakorlatról.

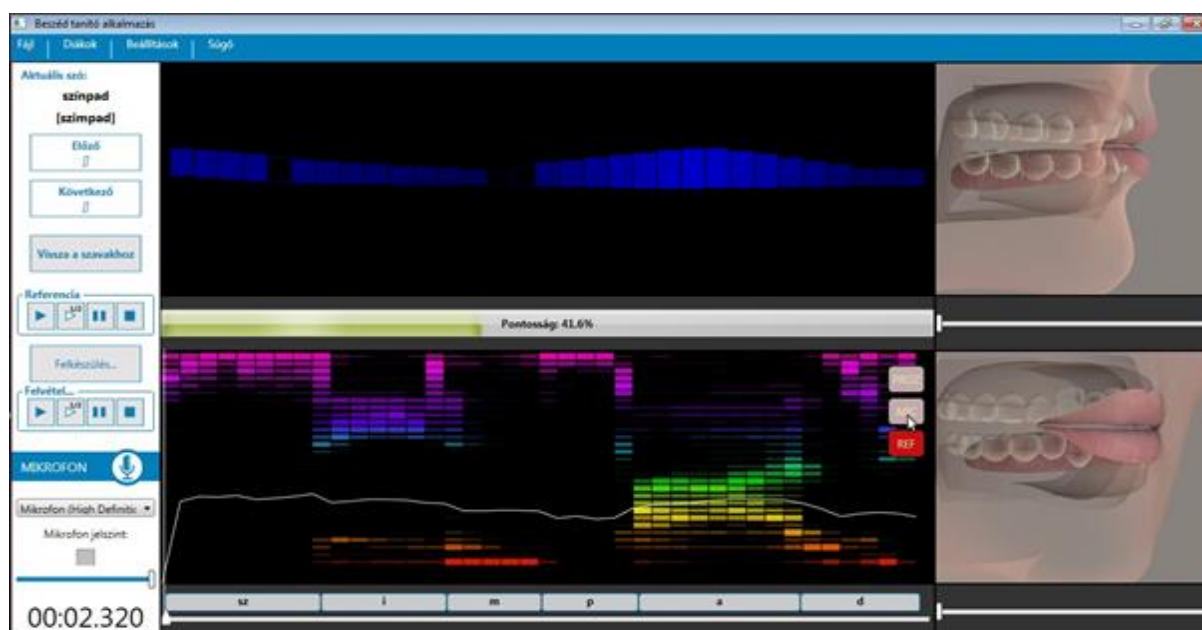
Az „Alap- és alkalmazott kutatások hallássérültek internetes beszédfejlesztésére és az előrehaladás objektív mérésére” címet viselő projekt és az azon belül végzett kutatásaink szempontjából kiemelt jelentőségű az artikuláció és a szupraszegmentumok vizsgálata [3]. Ezek tekintetében kiemelten fontos megjegyezni, hogy azok a beszédhangok alakulnak ki

késve, vagy hibásan, amelyeket a hallássérült (gyermek) akusztikusan nem jól érzékel. Mivel a helytelen képzésről nincs, vagy gyenge a visszacsatolás, a súlyos fokban hallássérültek általában nem tudják kijavítani azokat külső segítség nélkül. Általánosságban elmondható, hogy minél nagyobb a hallásvesztés, annál több beszédhangot érint a hibás ejtés [4].

2. A BESZÉDASSZISZTENS RENDSZER

A rendszer tesztelése 2013. szeptemberében kezdődött 14 szurdopedagógus (nagyothallókkal és siketekkel foglalkozó pedagógus) részvételével és eltérő korosztályú és a beszédprodukció különböző fejlettségi szintjén álló gyerekekkel.

A beszédasszisztens rendszer bárki számára elérhető és letölthető egy egyszerű regisztráció elvégzése után. A rendszerbe való bejelentkezés után a kezdőfelületen a szurdopedagógusok kiválaszthatják, hogy kinek szeretnék fejlesztő órát tartani és milyen szavakat akarnak gyakoroltatni. Gyakorlott szócsoportokat tudunk elmenteni és előhívni. Ha kiválasztottuk a diákot, akivel gyakorolni szeretnénk és a gyakorlandó szót, a beszédasszisztens tovább enged minket a gyakorlófelületre (1. ábra).



1. ábra: A beszédasszisztens kezdőfelülete

2.1 Referencia beszédadatbázis

Az előző fejezetben bemutatott beszédasszisztens rendszer egyik szolgáltatása az automatikus minősítés és visszajelzés, hogy a hallássérült diákok önállóan gyakorolhassák a mintaszavak kimondását. A tanulás során a referencia kiejtést a szerver, vagy a tanár produkálja. A diák ezt igyekszik utánózni az ő aktuális bemondásával. Ezzel rokon probléma merül fel a beszéd gépi felismerésénél. Előre (modellezés segítségével) eltárolt, valóságos beszédből származó beszédrészletek (hang, hangátmenet, szó, stb.) közül kell a felismerendő beszédrészlethez leghasonlóbbat megtalálni, és ha a hasonlóság elég nagy, akkor a beszédrészlet felismertnek tekinthető. A hallássérültek beszélni tanításánál a hasonlóság automatikus ellenőrzése és a visszajelzés generálása alapvető, amely megköveteli egy hasonlósági mérték kidolgozását. A hasonlósági mértéknek monoton összefüggésben kell

lennie a hallássérült és halló bemondók által kiejtett hangok, hangkapcsolatok, szavak szubjektív tesztek átlagos megítélésével. A különböző lényegkiemelési és távolság számítási módok elemzésével kidolgozható a szubjektív értékelésnek megfelelő hasonlósági mérték. Ez az alapja az előrehaladás értékelésének és a visszajelzés generálásának. Az értékelés nyilvánvalóan a korábbi eredményekkel összevetve alakítható ki, hiszen ugyanaz a kiejtés egyik tanulónál siker, a másikon kudarccá lehet. Az automatikus értékelés verifikálása érthetőség vizsgálattal történhet.

A referencia értékek felvételéhez hangadatbázist vettünk fel a beszédprodukción különböző fokán álló hallássérült gyerekekkel. Az adatbázisban 2421 szó szerepel (egy-egy szó többször is előfordulhat, de a bemondók eltérőek, ezért azok érthetősége is). A hangfelvételeket 13 szurdopedagógus és nyelvi képzésben nem részesült, 23 naiv egyetemi hallgató értékelte. Minden pedagógus csak a másik iskola diákjainak bemondását értékelte, hogy elkerüljék a beszélő felismeréséből eredő előítéleteket. A bemondást többször is meg-hallgathatták az értékelők és megjegyzéseket is fűzhettek a mintákhoz. (Néhány példa: érthetetlen, ritmushiba, szótagol, hangbetoldások, hangsúly rossz, o-ö csere) Az eredményeket internetes alkalmazáson keresztül rögzítettük. A minősítés alapját a pedagógusok esetén az általuk meghatározott ötfokozatú skála képezte:

- Érthetetlen (1): az artikuláció teljesen torz; felismerhetetlenek a magán- és mássalhangzók; a szótagszám visszaadása sem megfelelő, vagy nem kivehető; a levegővétel, a levegővel való gazdálkodás helytelen; rossz a tempó, a ritmus; dallamtalan, dinamikátlan vagy túlfeszített a hangadás.
- Nehezen érthető (2): súlyos torzítások, hangelhagyások, hangcserék; csak a magánhangzók egy része kivehető; a légzés elégtelensége miatt létrejövő torzítások, pl. túl levegős vagy fojtott; eltérő, zavaró hangszín, ritmus, tempó jellemzi.
- Közepesen érthető (3): a magánhangzók ejtése helyes, a szótagszám megfelelő; súlyos beszédhibák előfordulhatnak pl. diszlália (az a beszédzavar, mely szerint egyes hangzók hiányosan képeztetnek, orrhangzósság, fej-hangzósság, stb.), prozódiai elégtelenségek.
- Jól érthető (4): csekély mértékű beszédhibák; enyhe prozódiai elégtelenségek.
- Hallók beszédével azonos szinten érthető (5): legfeljebb 1-2 hanghiba fordulhat elő.

A naiv hallgatóknak a mindennapi nyelvhasználat alapján kellett 1-től 5-ig pontozniuk a bemondásokat.

Egy szűkített szóhalmazon kvantitatív elemzést készítettünk egy szakértővel. Ezt az értékelést próbáltuk az automatikus minősítéssel megközelíteni. A részletes elemzéshez ebből a 2421 szóból választottunk ki 300 szót. A kiválasztott szókészlet elég változatos nem csak a szavak hosszúsága alapján, hanem a hangkapcsolatok előfordulásának szempontjából is, ami az egész szóadatbázisra is jellemző.

3. A SZAKÉRTŐI ELEMZÉS

A kiértékelést végző szakembert megkértük, hogy elemezze a 300 szóból álló mintahalmazt. Az eredmények hitelességét a beszédfeldolgozás területén szerzett több évtizedes szakmai tapasztalata támasztja alá. A számítógépes beszédfeldolgozás egyik hazai megteremtője, munkája során már korábban is dolgozott hallássérültekkel.

A felkért szakértő feladata az volt, hogy kvantitatív értékelést adjon a kiejtésről. Azt feltételezte, hogy a beszéd 5 fő tényezőjének együttese alapján születik meg a megítélt pontszám.

Ezek a tényezők:

- a beszédtempó;
- a ritmus;
- a hangsúly;
- a dallam;
- és a hanghibák.

Tesztelései során ezek közül a hanghibára és a ritmushibára adott számszerű értékelést. Elkészítette 294 szó (a szakértő 6 szóról úgy ítélte meg, hogy nem a címke fájlban megadott szó szerepel a hangfelvételen) hanghullámának átírását. Először úgy hallgatta meg a felvételeket, hogy nem nézte meg a szó leírását, azt jegyezte le, amit hallott. A lejegyzéskor nem törekedett érthető szavak megadására. A hanghibát a hibásan ejtett – más hang, hiányzó vagy feleslegesen betoldott – hangok számának és a szóban szereplő hangok számának az arányával írta le.

A szakértő a ritmushiba meghatározásához a jó kiejtés referenciájaként a szavak PROFIVOX szövegfelolvasó rendszerrel generált szintetizált hanganyagot használta. A kézi szegmentáláskor a szabad felhasználású WaveSurfer programot használta. A szegmentálásnál már figyelembe vette, hogy mit kellene hallania, manuálisan végezte el a kényszerillesztést. Az időfüggvény, a spektrogram és hallás alapú elemzéssel, (a szegmenshatártól, vagy szegmenshatárig lejátszott hang együttese alapján) határozta meg a szegmenshatárokat. A címkefájlok adatait az eredeti és a szintetizált kimondásoknál átemelte egy-egy táblázatba szavanként. A hangok időarányát a hang és a teljes szó időtartamának arányaként értelmezte:

$$r(i)=t(i)/\text{szumma}(t(i)) , \quad (1)$$

ahol:

- i a szón belüli hang sorszáma,
- $t(i)$ az i -edik hang időtartama,
- $r(i)$ az időarány az i -edik hangra.

Az időarányokat a szintetizált referencia szóra és a vizsgált kiejtésre is meghatározta. A vizsgált bemondás és a referencia időarányának hányadosa egy hangra (relatív időarány) megmutatja a ritmusbeli különbséget. Ha egy hang rövidebb, vagy egy másik, túl hosszan ejtett hang miatt megnő a teljes időtartam, az arány egynél kisebb lesz. Az aránytalanul hosszan ejtett hangokra egynél nagyobb érték adódik. A szóra vonatkozó ritmushibát a szakértő a szóban szereplő hangok relatív időarányainak szórásával írta le.

4. AUTOMATIKUS ÉRTÉKEKÉLÉS MEGALKOTÁSA

Az automatikus értékelés verifikálása érthetőség vizsgálattal történhet. Amikor egy hang kiejtését vizsgáljuk, az merül fel, hogy hasonlítsuk össze egy referenciával és egy távolság függvény alapján értékeljük a hang megfelelését a referencia bemondáshoz képest. Megvizsgáltunk szokványos lényegkiemelési eljárásokat (MFCC, PLP, BARK) a hallássérült gyerekek bemondásainak elemzésére. A szegmentálási adatok alapján kijelöltük a hangok stacionárius szakaszát (amennyiben értelmezhető) és elvégeztük a lényegkiemelést. A stacionárius szakaszt a hanghoz tartozó időintervallum közepére helyeztük. Az aktuális jellemző vektorokat a teljes adatbázisra kiszámított jellemző vektorok átlagával vetettük össze. Így minden hangra kaptunk egy távolság értéket. A szó jellemzésére a hangokra kapott távolság

értékek átlagát vettük. A szavakra kapott átlagokat a szubjektív értékelés alapján kapott a csoportba tartozó szavakra átlagoltuk.

1. Táblázat: *A különböző lényegkiemelési módszerekkel számított hangokra adott távolságértékek átlaga a minősítési intervallumokra*

	MFCC	PLP	BARK	NN
[1-2]	0,9961	0,2603	0,201	0,209
[2-3]	0,9978	0,2555	0,2053	0,29
[3-4]	0,9989	0,2368	0,1875	0,425
[4-5]	0,9971	0,2458	0,1796	0,521

Az 1. táblázatból látható, hogy a kapott távolságok nem követik következetesen az osztályok monotonitását. Nincsenek monoton összefüggésben az osztályok minősítésével, nem következések. MFCC ezredékben tér el és nem is teljesül a monotonitás.

A több mint 300 beszélős 4,5 órás hangadatbázissal betanított HMM modell HTK implementációjából kiolvashatók, hogy egy adott hangot milyen valószínűséggel generál a hozzátartozó HMM modell. A hallássérült gyerekek bemondásainak felismerési eredményeiből kiolvasott valószínűségek és a szó szubjektív értékelése között nem fedeztünk fel korrelációt. Ennek oka lehet, hogy a felismerő szegmentálása nem volt megfelelő.

A jellemzők átlagához viszonyított távolság elemzés után egy neurális hálózat kimeneti aktivitásait kezdtük el vizsgálni. A neurális hálózat ideális esetben az adott hangra egységnyi, merőben eltérő hangra 0 kimeneti aktivitással válaszol. A helyesen artikulált hangra nagy, a hibásan artikulált hangra kis kimeneti aktivitást produkál. A hasonlósági mértéket az adott hanghoz tartozó outputtal azonosítjuk. Megvizsgáltuk a tanulmányozott szavak egyes hangjaihoz tartozó kimenetek átlagát (1. Táblázat, NN oszlop). A szubjektív tesztek minősítésével vizsgált Pearson-korreláció 0,553 lett az átlagra. A szakértői hanghiba és a szubjektív pontok korrelációja -0,7515. A szubjektív pontok és a ritmus hiba korrelációja -0,2648. A szubjektív tesztekkel az összehasonlítást részben korrelációs, részben a számított pontszámok különbsége szerint vizsgáltuk. Az összehasonlításhoz lineáris illesztést végeztünk a szubjektív tesztek pontjai és a hasonlóságmérték között. Az automatikus minősítés jóságát a szakértői értékeléssel vetettük össze. A szakértői értékelés a hanghibát és a ritmushibát jelölte meg a minősítés alapjaként. A hanghibára és a ritmushibára megállapítottuk az optimális együtthatókat. Megvizsgáltuk, hogy a szakértői minősítés korrigált pontszámai mennyiben térnek el a szubjektív minősítés eredményétől. A részletes elemzés alá vetett 294 szó közül megvizsgáltuk, hogy hány szó pontszám különbsége hány szónál kisebb a 2. táblázat oszlopaiban szereplő értékeknél. Az eredmények átlagosan 88,5 százalékos egyezőséget mutatnak. Azt is megvizsgáltuk, hogy a szakértői és az automatikus minősítés pontszáma hány szónál esik a hallgatói és a pedagógusi pontszám átlagok közé.

A szakértői hanghiba és a ritmushiba optimális illesztésekor a 294 szóból a hallgatói és a pedagógusi átlagok közé 54 szó esik. Ugyanez a neurális hálózatok kimeneteinek szavankénti átlagnál és a ritmushibánál, vagyis az automatikus minősítésnél 44 szó.

2. Táblázat A szakértői és az automatikus pontszámok referenciához mért különbsége intervallumokra bontva

	$\leq 0,1$	$\leq 0,2$	$\leq 0,5$	≤ 1	$\leq 1,5$	≤ 2
<i>Szakértői</i>	21	44	131	253	285	291
<i>Automatikus</i>	21	35	101	207	268	287
<i>(Automatikus/Szakértői)</i>	100%	80%	77%	82%	94%	99%

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Több módszert megvizsgáltunk a hallássérült gyerekek hangfelvételeinek elemzésére. Csak a hangfelismerésre betanított neurális hálózatok kimeneti aktivitására találtunk differenciált és monoton eredményeket a különböző minőségi osztályokra. Módszerünkkel a szubjektív értékelést a tolerancia tartományokban a szakértői becsléshez képest átlagosan 89 százalékos pontossággal közelítettük meg. Az automatikus minősítés a kísérletben résztvevő 36 szubjektív értékelőből 28-nál jobban megközelítette a szubjektív értékek átlagát. A 300 szó részletes értékelése a szakértőtől kéthetes elemző munkát igényelt. Az automatikus minősítés időigénye ezzel nem vethető össze, eredményei azonban megközelítik annak megbízhatóságát.

6. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MCGARR, N. S., WHITEHAED, R.:** *A hallássérültek fonéma-éjtésének kérdései. In Csányi Yvonne (szerk.) Tanulmányok a hallássérültek beszédérthetőségének fejlesztéséről.* Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Tanárképző Főiskola, Budapest, pp. 19-23, 1995.
- [2] **CSÁNYI, Y., ZSOLDOS, M., PERLUSZ, A.:** *Hallássérült (hallásfogyatékos) gyermekek, tanulók komplex vizsgálatának diagnosztikus protokollja.* Educatio Társadalmi Szolgáltató Nonprofit Kft., Budapest, 2012.
- [3] **CZAP, L., ILLÉS, B., VARGA, A.:** *Concept of a Speech Assistant System.* 4th Word Congress on Software Engineering WCSE 2013, Hong Kong: IEEE Computer Society, pp. 207-211, 2014.
- [4] **FARKAS, M., PERLUSZ, A.:** *A hallássérült gyermekek óvodai és iskolai nevelése és oktatása.* In: Illyés Sándor (szerk.): *Gyógypedagógiai alapismeretek*, ELTE Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Főiskola, Budapest, 2000.

25 ÉV FOLYAMATOS FEJLESZTÉS A TELJESÍTMÉNYELEKTRONIKA TERÜLETÉN

25 YEARS OF CONTINUOUS DEVELOPMENT IN THE FIELD OF POWER ELECTRONICS

MOLNÁR Károly¹, SZÚCS Attila²

¹fejlesztési igazgató, c. egyetemi docens, pqinfo@powerquattro.hu

¹PowerQuattro Egyesült Teljesítményelektronikai Zrt., H-1161 Budapest, János utca 175.

²erőáramú fejlesztőmérnök, pqinfo@powerquattro.hu

²PowerQuattro Egyesült Teljesítményelektronikai Zrt., H-1161 Budapest, János utca 175.

Kivonat: A cikkben bemutatásra kerül az idén 25 éves PowerQuattro Zrt. tevékenységi köre, főbb partnerei és termékei. Bemutatjuk a fejlesztés és gyártástechnológia fejlődését és azt, hogyan fejlődtek az áramellátó berendezéseink, milyen új kapcsolástechnikák és konstrukciós kialakítások kerültek bevezetésre az elmúlt 25 év során. Ismertetjük a megújuló energia felhasználásához kapcsolódó fejlesztéseket, valamint a jövőre vonatkozó fejlesztési irányokat.

Kulcsszavak: PowerQuattro, 25 év, teljesítményelektronika, fejlődés, fejlesztés

Abstract: In the article the activity, the main partners and products of PowerQuattro Co. will be presented which company was founded 25 years ago. We will demonstrate the progression in the development/research and in manufacturing technology during the past 25 years. In addition we will show how our power electronic equipments have evolved, what new switching techniques and construction designs have been introduced. We describe the developments related to the use of renewable energy and the directions of future development.

Keywords: PowerQuattro, 25 years, Power Electronics, Innovation, Development

1. A POWERQUATTRO ZRT. BEMUTATÁSA

1.1. A kezdetektől napjainkig

Cikkünk célja a PowerQuattro Zrt. 25 éves műszaki tevékenységének és fejlődéstörténetének bemutatása. A jelenleg működő PowerQuattro Zrt. létrejötte több jogelőd vállalkozás átalakulásának, ill. egyesülésének köszönhető. A rendszerváltás időszakáig működő **Villamosipari Kutató Intézet (röviden: VKI)** átalakulásakor létrejövő EPOS PVI Rt.-ből 1992-ben kiváló – korábban a kutatóintézet 8. Elektronikai Rendszerek főosztályán tevékenykedő – néhány dolgozó alapítja meg a **PowerQuattro Kft.-t**. A Kft. egy teljes egészében magyar tulajdonú kisvállalkozásként kezd fejlesztési és gyártási tevékenységbe a teljesítményelektronika területén, elsődlegesen a kutatóintézeti szakmai hagyományok és partnerkapcsolatok megőrzésének céljával. Az alapításkor a társaság nagyon kis létszámú, dolgozóinak száma összesen 11 fő. Pár év múlva, 1998-ban a XVI. kerületi Építőipari Vállalat Rt. és PowerQuattro Kft. fúziója révén a korlátolt felelősségű társaságból részvénytársasággá változik a szervezeti forma, így a vállalat innentől **PowerQuattro Teljesítményelektronikai és Építőipari Rt.** néven működik tovább. Az elmúlt években a társaság fejlődése-növekedése folyamatos, jelentős létszámbővülés zajlik le és megtörténik a korábbi bérelt telephely megvásárlása által a saját tulajdonú telephely kialakítása. 8 év elteltével ismét szervezeti forma váltás következik, 2006-tól **PowerQuattro Teljesítményelektronikai és Építőipari Zrt.-re**

változik meg a társaság neve. A VKI 2. Villamos Hajtások és Irányítástechnikai és 7. Erősáramú Elektronikai főosztályából – 1991-ben – alakult Villamos Hajtások és Járműelektronika Kft. (VHJ Kft.) és a PowerQuattro Teljesítményelektronikai és Építőipari Zrt. egyesüléséből 2013-ban megalakul a jelenleg működő **PowerQuattro Egyesült Teljesítményelektronikai Zrt.** Az egyesülés célja a két cég szellemi és fizikai tevékenységének összevonása révén az „erők egyesítése” a teljesítményelektronika területén, ezáltal új fejlesztési és gyártási lehetőségek kiaknázása, új piacok megszerzése.

1.2. Cégjellemzők

A PowerQuattro Zrt. dolgozóinak létszáma is jelentős növekedésen ment keresztül az elmúlt 25 évben. Jelenleg **116 fő** dolgozik a társaságnál és társult vállalkozásainál, ami tízszer több, mint a cég indulásakor. Budapest XVI. kerületében, a János utcában **saját tulajdonú telephellyel** rendelkezünk, amely **17.000 m² alapterületen** fekszik. Emellett a XV. kerületi Késmárk utcában – a korábbi kutatóintézeti telephelyen – egy olyan **nagyáramú mérőlaboratóriumot** is bérelünk, ami 3 tonnáig daruzható és ahol **1,6 MVA összteljesítményű, független háromfázisú betáplálás** áll rendelkezésre nagyteljesítményű berendezések vizsgálataihoz. A PowerQuattro Zrt. mindennemű működését az a – rendszeresen auditált – minőségirányítási rendszer határozza meg, amely az **MSZ EN ISO 9001 szabványnak** felel meg. A minőségügyi kérdésekben a társaság minőségirányítási kézikönyve nyújt teljes körű útmutatást. A **MSZ EN ISO 14001 szabványnak** megfelelően a társaság olyan környezetközpontú irányítási rendszert is működtet, ami az energiagazdálkodással és hulladékkezeléssel kapcsolatos kérdéseket szabályozza. A két és fél évtizedben sok olyan berendezést gyártottunk, amelyeknél követelmény volt a társaságunkkal szemben, hogy különféle **minősítésekkel és tanúsítványokkal** rendelkezünk. Ezek közül kiemelendő a Magyar Honvédség számára gyártott berendezések kapcsán a **NATO beszállításra alkalmas** minősítés, valamint – a Paksi Atomerőműben alkalmazott – berendezéseink esetén az **Atomerőművi berendezések biztonsági osztályainak való megfelelés** (ABOS 2, 3 és 4 osztály).

1.3. Műszaki tevékenység

A PowerQuattro Zrt. kezdetek óta, széles spektrumban alkalmazott **áramirányítók fejlesztésével és gyártásával** foglalkozik. Az alábbi felsorolás – a teljesség igénye nélkül – azokat a fontosabb rendszer- és berendezésfajtákat tartalmazza, amelyeket a **PowerQuattro 25 éves műszaki tevékenysége** során fejlesztett és gyártott:

- általános célú egyen- és váltakozó feszültségű szünetmentes áramellátó rendszerek a 0,5 kVA – 500 kVA teljesítmény tartományban
- moduláris felépítésű biztosítóberendezési és távközlési célú szünetmentes áramellátó rendszerek vasúti alkalmazásokhoz 50 kVA-ig
- állomási és vonali biztonsági ütemadók és vevők vasúti biztosítóberendezésekhez
- fénytechnikai célú áramellátó rendszerek
- erőművi és áramszolgáltatói alállomási segédüzemi áramellátó rendszerek
- katonai célú áramellátó rendszerek
- hírközlési célú eszközök táplálására és a kapcsolódó akkumulátortelep töltésére alkalmas különféle áramellátó rendszerek
- vontatási egyenirányító berendezések a metró, a HÉV, a villamos és a trolibuszok tápvezetékeinek áramellátására

A VHJ Kft. szakmai profilja a villamos hajtások területén **nagy teljesítményű egyenáramú és váltakozó áramú hajtások áramirányítóinak**, míg a járműelektronika területén elsődlegesen a **kötőpályás közlekedési eszközök** (vasút, városi villamos, HÉV) **segédüzemi átalakítóinak fejlesztése és gyártása** volt. Ezek közül kiemelendők az alábbiak:

- különféle tirisztoros áramirányítós DC hajtások hengerművi alkalmazásokra
- csúszógyűrűs aszinkron motoros kaszkád hajtások szivattyútelepi és bányai alkalmazásokra
- vasúti kocsira szerelt akkumulátortöltők
- különféle klíma- és bisztróinverterek

A két – ma már egyesült – társaság tevékenységi körei és piacai jól kiegészítik egymást. Az egyesült társaság képes a teljesítményelektronika területein felmerülő bármilyen – magas minőségi és megbízhatósági követelményeknek megfelelő – igény professzionális kielégítésére, sorozatgyártású vagy egyedi gyártású berendezésekkel.

1.4. Főbb partnerek

A PowerQuattro Zrt. legfontosabb partnerei az alábbi műszaki területekről kerülnek ki:

- ***partnerek a vasúti és városi közlekedési szektorból***
 - MÁV Zrt.
 - GYSEV Zrt.
 - BKV Zrt.
- ***partnerek az áramszolgáltatói és energetikai szektorból***
 - MVM Paksi Atomerőmű Zrt.
 - Mátrai Erőmű Zrt.
 - ELMŰ-ÉMÁSZ csoport
 - MAVIR Zrt.
- ***partnerek a szolgáltatói szektorból***
 - FŐTÁV Zrt.
 - Fővárosi Vízművek Zrt.
- ***egyéb partnerek***
 - Magyar Honvédség
 - MOL Nyrt.
 - Budapest Airport Zrt.
 - ISD Dunafer Zrt.

2. SZÜNETMENTES ÁRAMELLÁTÓ RENDSZEREK FEJLESZTÉSE ÉS GYÁRTÁSA A POWERQUATTRO ZRT.-NÉL

Azok a partnereink, akiknél PowerQuattro által gyártott berendezés üzemel, a PQ rövidítés hallatán nagy valószínűséggel a **szünetmentes áramellátás** jut eszükbe. Ez jogos is, hiszen a PowerQuattro Zrt. – és összes jogelődje – az alapítás óta elsődlegesen **különböző teljesítményű és felépítésű szünetmentes áramellátó rendszereket** fejleszt és gyárt.

Ezek a rendszerek jellemzően az alábbi fő részekeségekből állnak:

- **egyenirányítók**
- **akkumulátortöltők**
- **inverterek**
- **DC/DC-konverterek**
- **átkapcsoló egységek**

- felügyeleti rendszerek
- akkumulátortelepek
- akkumulátor diagnosztika

Az akkumulátortelepen kívül ezen részegységek, valamint ezekből a részegységekből felépülő áramellátó berendezések teljes körű fejlesztési és gyártási tevékenységét a PowerQuattro Zrt. végzi. Áramellátó rendszereket a velük szemben támasztott teljesítményigény függvényében **moduláris és szerelőtálcás konstrukcióban** is gyártunk. A kisebb teljesítményű szünetmentes áramellátó rendszerek moduláris, míg a nagyobb teljesítményű szünetmentes áramellátó rendszerek szerelőtálcás kivitelűek. **Moduláris kialakítású áramellátó rendszereket 50kVA névleges teljesítményig** gyártunk.

2.1. Az áramellátó rendszerek fejlődése

A társaság 25 éves működése alatt jelentős technikai-technológiai fejlődés zajlott le a világban, amellyel igyekezett a PowerQuattro Zrt. is lépést tartani. Fontosnak tartjuk az áramellátó rendszereink folyamatos továbbfejlesztését és korszerűsítését, ennek szellemében **2013-ban kifejlesztésre került egy olyan új áramellátó rendszercsalád**, amely távközlési célú fogyasztók táplálására is alkalmas. A rendszercsalád moduljai **19” szélességű kivitelben** készülnek, ezáltal illeszkednek a szabványos szekrényméretekhez (1. ábra). Működtetésük **korszerű digitális szabályozó/vezérlő áramkörökkel** történik, kapcsolatuk a felügyeleti egységgel **optikai kommunikáción** keresztül valósul meg. Ezekből a modulokból és a szükséges kiegészítő egységekből tetszőleges fogyasztói igényt kielégítő szünetmentes áramellátó rendszerek építhetők fel.



1. ábra: Távközlési célú berendezések táplálására alkalmas áramellátó rendszerek

A korábbi időszakban a szerelőtálcás kialakítású áramellátó rendszerek tekintetében is továbbléptünk. 2011-ben kifejlesztésre került a **PowerQuattro eddigi legnagyobb teljesítményű háromfázisú szünetmentes áramellátó berendezése**, amelynek **névleges kimenő teljesítménye 250 kVA/kW**. A 2. ábrán látható berendezésben **lemezelt kialakítású főáramkört és korszerű digitális szabályozó/vezérlő áramköröket** alkalmazunk. Az áramellátó rendszer bővíthető is, összesen 4 berendezés képes egymással párhuzamos üzemben működni, így az összteljesítmény 1 MVA-ig növelhető.



2. ábra: Nagyteljesítményű szünetmentes áramellátó rendszer szekrényei

2.2. A konstrukciós tervezés fejlődése

Az áramellátó rendszerek villamos és konstrukciós tervezését egyaránt a PowerQuattro Zrt. fejlesztői gárdája végzi. A mechanikai tervezési tevékenység is sokat fejlődött a kezdetek óta, hiszen a korábban papír alapon történő tervrajz-készítést kiváltották a különféle számítógépes, CAD rendszerű tervezőprogramok. A társaságnál először az AUTOCAD, majd azt követően a **ProENGINEER** nevű tervezőprogram került bevezetésre, amelyet napjainkban is használunk. Ez a program a **hagyományos mechanikai tervrajzok készítésén túlmenően 3D modellezésre** is alkalmas, amellyel a berendezések belső felépítésének, elrendezésének előzetes vizsgálatát teszi lehetővé.

2.3. Innováció a gyártási tevékenységben

A PowerQuattro Zrt. a fejlesztési tevékenységen túlmenően **gyártási tevékenységet** is végez, amelyet a **saját gyártó- és szerelőüzemében**, valamint a **FERR-VÁZ Kft. üzemében** valósít meg. (A FERR-VÁZ Kft. PowerQuattro tulajdonban lévő fémipari vállalkozás.) Mindkét üzem a János utcai telephelyen található. A gyártástechnológia fejlesztését elsősorban egyre több gyártási tevékenység gépesítésével sikerült elérni. A nyomtatott huzalozású lemezek gyártását külső partner, az alkatrészek beültetését azonban már a PowerQuattro végzi. E tevékenység megkönnyítésére **beültető gépet és forrasztó kemencét** vásároltunk, amelyekkel a felületszerelt alkatrészek forrasztása egyszerűsödött. A furatszerelt alkatrészek esetében **szelektív forrasztót** is alkalmazunk, valamint a prototípus kártyák gyorsabb elkészítéséhez 2 évvel ezelőtt vásároltunk egy **NYÁK-maró gépet**. Emellett a szerelőüzem több részlegén is bevezetésre került az **elektronikus alapú dokumentáció használata**, amellyel a gyártás során keletkező hibák száma jelentősen lecsökkent.



3. ábra: Modern gyártóberendezések a PowerQuattro Zrt. és a FERR-VÁZ Kft. üzemeiben

A mechanikai alkatrészek és részegységek gyártását végző FERR-VÁZ Kft. gyártó üzeme teljesen új, modern épületbe költözött a telephelyen belül, ahol megnövelt alapterületen és nagyobb létszámmal végzik a különféle fémipari tevékenységeket. Az új üzemben **eszközfejlesztés** is megvalósult, **új lézervágó gép és új hajlító gép** is helyet kapott, amelyekkel nagyobb termelékenység, rövidebb gyártási idő és ezáltal költséghatékonyabb gyártás biztosítható (3. ábra).

2.4. A megújuló energia felhasználásához kapcsolódó fejlesztések

Az utóbbi években egyre nagyobb teret hódítanak a megújuló energiák felhasználásával működő berendezések, amellyel a hagyományos energiaforrások alkalmazása redukálható. A PowerQuattro Zrt. ilyen alkalmazásokhoz szükséges energia-átalakító berendezések fejlesztésével és gyártásával is foglalkozik, elsősorban napelemes áramellátó rendszerekhez kapcsolódóan. Korábban fejlesztettünk már többféle, közüzemi hálózatra csatlakozó, **kisteljesítményű napelemes invertereket** 5 kVA teljesítményig, valamint az ELMŰ Hálózati Kft. részére a **fóti Élhető Jövő Parkba** is szállítottunk két, napenergiát hasznosító berendezést. Ezeket a berendezéseket oly módon alakítottuk ki, hogy a 4 évvel ezelőtt kifejlesztett távközlési célú áramellátó rendszercsalád bizonyos energia-átalakító moduljainak pusztán szoftverfejlesztéssel történő átalakításával teljesen új és más funkciójú modulokat hoztunk létre. Ezáltal kihasználtuk a digitális szabályozó/vezérlő áramkörök nyújtotta rugalmasságból származó előnyöket.

Mindkét, Fóton működő áramellátó rendszerünk a **napenergia felhasználásának és tárolásának** a vizsgálatához került kifejlesztésre.

3. TELEPHELY FEJLESZTÉS ÉS RENDEZÉS

A PowerQuattro Zrt. telephelyén 2016-ban kezdődött el egy nagyobb mértékű **telephelyi fejlesztési beruházás**, amely a telephely teljes területét és az azon található építményeket egyaránt érinti.



4. ábra. Új parkoló és raktárépület a telephelyen

A beruházás során egyrészt korábbi, kihasználatlan építmények elbontásával **nagyobb tereket nyertünk**, másrészt több meglévő építmény átalakításával, bővítésével igyekeztünk **növelni a munkaterületeket**. Az építési-rendezési folyamat jelenleg ott tart, hogy az eddigiekben kialakításra került egy teljesen **új fásított, térkövezett vendég és dolgozói parkoló**, felépült a **FERR-VÁZ Kft. teljesen új üzemcsarnoka**, megtörtént a **szerelőüzem**

bővítése új nagyobb alapterületű **anyagraktárral**, valamint elkészült egy **szociális funkciójú épület** is (4. ábra).

4. JÖVŐBENI TERVEK ÉS CÉLOK

A PowerQuattro Zrt. cégvezetése mindenkor fontosnak tartja a már meglévő és működő áramellátó rendszerek és azok részegységeinek **folyamatos korszerűsítését, továbbfejlesztését**. A hagyományos területeken kívül folynak fejlesztések a **megújuló energiák felhasználásához szükséges átalakítók** (pl. a megújuló energia tárolására szolgáló „smart” rendszerek), valamint az **elektromos járművek üzemeltetéséhez szükséges átalakítók** területén. A közelmúltban elindult telephely fejlesztés egyik fő célja, hogy a vállalat **minden egyes fejlesztő- és gyártórészlege nagyobb helyen** tevékenykedhessen. Ezzel összhangban a telephelyen lévő új épületekben az **anyaggazdálkodást és az egymásra épülő gyártási folyamatokat optimalizáló berendezkedést** alakítunk ki.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MOLNÁR, K., WEINER, GY.:** *Egyesülés/Új időszámítás. Megalakult a PowerQuattro Egyesült Teljesítményelektronikai Zrt.* Elektrotechnika folyóirat, Budapest, 2013/9.

VÍZMINTAVEVŐ VEZÉRLÉSÉNEK TERVEZÉSE, KIVITELEZÉSE

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A WATER SAMPLER

LÉNÁRT József

tanársegéd, lenart.jozsef@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Robert Bosch Mechatronikai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc Egyetemváros

Kivonat: A cikk egy vízmintavevő berendezés vezérlésének tervezését és megépítését mutatja be, amely egy autonóm felderítő tengeralattjáróba kerül majd beépítésre. Az UNEXMIN H2020 projektben kaptuk feladatul a vízmintavevő teljes megtervezését és kivitelezését, az én feladatom a vezérlés megvalósítása volt. Az eszköznek meglehetősen extrém feltételeknek kell megfelelnie, melyek közül a tervezés során a legtöbb nehézséget a kis méret és nagy külső nyomás jelentette, valamint, hogy a küldetés során emberi beavatkozás nélkül kell üzemelnie, ezért minden lehetséges fennakadást automatikusan le kell kezelni, vagy lehetőséget teremteni a robot központi vezérlője számára a lekezelésre.

Kulcsszavak: vízmintavevő, robot, vezérlés, kommunikáció

Abstract: This article presents the design and implementation of a water sampling unit controller that will be installed in an autonomous exploration robot submarine. In the UNEXMIN H2020 project the task of our department was to design the water sampler unit and my job was the implementation of the controller electronics. The sampler unit has to meet extreme conditions. The most difficult to design when it comes to small size and high external pressure, and to run without any human intervention during the mission, so any possible circumstances should be automatically handled or delegated to the robot's central controller to handle it.

Keywords: water sampler, robot, controller, communication

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a nyersanyagkutatás egy nagyon fontos területe a bányászatnak. Mivel a rendelkezésre álló nyersanyagok mennyisége csökken, illetve szükség van olyan új nyersanyagokra, amelyeket eddig nem alkalmaztak nagy mennyiségben, szükségessé vált új kutatási módszerek kifejlesztése. Az UNEXMIN (Underwater Explorer for Flooded Mines, víz alatti felderítő elárasztott bányákhoz) projekt célja egy olyan robot kifejlesztése, amely képes lemerülni felhagyott, vízzel elárasztott mélyművelésű bányákba, feltérképezni egyrészt a vágatok állapotát, másrészt az ott fellelhető nyersanyagok mennyiségét és minőségét. Erre azért van szükség, mert előfordulhat, hogy az adott bányában jelentős mennyiségű nyersanyag lapul, amelyet korábban nem termeltek ki, mert az akkori technológiákkal nem volt – gazdaságosan – kitermelhető, vagy mert korábban nem volt szükség rá. Mivel ezen bányák belső állapota nem ismert, illetve nagy mélységekről lehet szó, ember által végzett mérések nem jöhetnek szóba. A végső teszt helyszíne például a brit Ecton Mine, melynek legnagyobb ismert mélysége 500 m. Szükség van tehát egy robotra, amely képes lemerülni ilyen mélységbe és ott a ráépített műszerek segítségével a szükséges geofizikai és vízkémiai méréseket elvégezni, az adatokat rögzíteni, melyeket a küldetés után feldolgozva többé-kevésbé megállapítható a bánya vágatainak összetétele. Nehézséget jelent, hogy a küldetés során nem alkalmazható semmilyen kommunikáció a felszín és a robot között. Vezetékes kommunikáció nem lehetséges, a bejárando útvonal bonyolult és hosszú, a vezeték elakadna, illetve vezeték nélküli kommunikáció sem lehetséges, mert a föld leárnýékolja a jeleket már néhány méter alatt. A robotnak tehát önállóan kell tájékozódnia a vágatokban, döntéseket hozni, hogy hol végezzen esetleg alaposabb méréseket, vagy vegyen mintát a vízből későbbi laborban történő elemzés céljából, majd találjon vissza a bejárathoz. Valamint rendelkeznie kell megfelelő energiaforrással a küldetés tervezett időtartamára.

2. RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ VÍZMINTAVEVŐ MEGOLDÁSOK

A vízmintavevő egy viszonylag egyszerű berendezés, amely képes adott paraméterek alapján néhány mintát venni a vízből. Általában 4-16 tárolót tartalmaz, melyek térfogata a néhány millilitertől az akár több literesig terjed. Két megoldás látható az 1. ábrán.



1. ábra: két kereskedelmi forgalomban beszerezhető vízmintavevő (balra: Idronaut 1015, jobbra: Teledyne Isco 6712)

Alapvető tulajdonságaik:

- mintatárolók száma,
- tárolók térfogata,
- maximális üzemi nyomás,
- manuális, vagy programozott mintavételre alkalmas,
- tartalmaz-e szivattyút, vagy a külső nyomás tölti fel a tárolót [1].

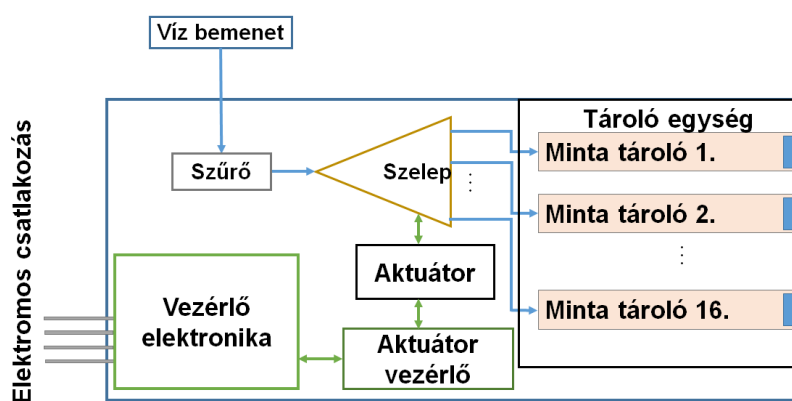
Mivel a projekt által meghatározott feltételeknek egyik kereskedelmi forgalomban beszerezhető berendezés sem felelt meg, saját eszköz fejlesztése szükséges, az alábbi paraméterek alapján:

- mintatárolók száma: 16,
- tárolók térfogata: min. 6.5 ml,
- maximális üzemi nyomás: 60 bar,
- RS-485 buszon keresztül kommunikál,
- befoglaló méretei: maximum $\varnothing 200 \times 150$ mm.

A meglehetősen magas maximális üzemi nyomás és a kis méret nem teszi lehetővé, hogy szivattyút alkalmazzunk a mintavételhez, ezért úgy kellett megtervezni, hogy minél kisebb külső nyomás feltöltse a tárolókat.

3. A TERVEZETT VÍZMINTAVEVŐ FELÉPÍTÉSE

Az általunk tervezett és megépített vízmintavevő működésének alapja megegyezik a kereskedelmi forgalomban kapható mintavevőkkel, azonban jóval kisebb méretű és képes ellenállni akár 60 bar külső víznyomásnak. Az eszköz a robot belsejébe, a nyomásálló burkolaton belülről lesz beépítve, így a nagy nyomás csak a be- és kivezető csatlakozásoknál, illetve a tárolókban, csövekben és a szelepből jelen. A tervezés első lépése a megfelelő szelep kiválasztása volt. A szelep feladata a beáramló víz irányítása a kiválasztott mintatárolóhoz. Erre a feladatra a Valco DCSD16UWEHC szelepet választottuk, mely egy 16 pozíciós nagynyomású szelep egy bemenettel és 16 kimenettel. A szelep pozicionálásához szükség van egy szervóhajtásra, amely pozicionálja. A pozicionáló hajtásnak legalább 1° pontossággal kell rendelkeznie és 4.5 Nm nyomaték szükséges a szelep tengelyének elfordításához. Az egység blokkdiagramja a 2. ábrán látható.



2. ábra: A vízmintavevő blokkdiagramja

3.1. A pozicionáló hajtás

A szelepet pozicionáló hajtás kiválasztásakor a következő szempontokat kellett figyelembe venni:

- legalább 1° beállási pontosság
- legalább 4.5 Nm forgatónyomaték
- 12V DC feszültségforrás
- a lehető legkisebb méretű legyen.

Ezeknek a szempontoknak a Maxon EC-i sorozatú BLDC motorja felelt meg Maxon GP32C 159:1 módosítású hajtóművel és Maxon ENC16 EASY forgó jeladóval. Ennek vezérlését egy Maxon EPOS4 Compact 50/5 vezérlő látja el. Az EPOS4 Compact USB, vagy CAN buszon, illetve RS-232 interfészen keresztül kommunikál. A robotban a műszerek RS-485 buszon fognak egymással és a központi egységgel kommunikálni, így ehhez kellett illeszteni a vezérlőt. Az illesztésre azért is szükség volt, mert az EPOS4 bináris protokollt használ [2], a robot RS-485 buszán viszont előírás az egyedi, ASCII alapú kommunikáció, melyet úgy kell kialakítani, hogy az egyes műszerek közösen használhassák. Az EPOS4 szervó vezérlő egység a kapott parancsban szereplő paramétereknek megfelelően vezérli a BLDC motort, pozíció visszacsatolásként az inkrementális forgójeladó jelét használja, amely motor fordulatonként 500 impulzust szolgáltat [3]. Itt figyelembe kell venni az alkalmazott hajtómű módosítását, amely névlegesen 159:1, valójában 158,7:1.

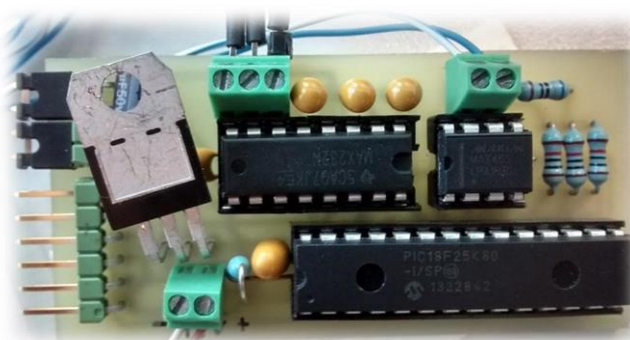
3.2. A vezérlő egység

A feladat tehát egy olyan vezérlő egység tervezése, amely RS-485 buszon megkapja a robotvezérlőtől az utasításokat (alaphelyzetre állás, mintavétel, ürítés, stb.), majd azok alapján utasítja a szervó vezérlőt RS-232 csatlakozáson keresztül. Erre a feladatra tökéletesen alkalmas egy mikrovezérlő, melyek közül a Microchip PIC18F25K80 típust választottam, mivel ez a legkisebb, ami rendelkezik két független UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter, univerzális aszinkron adó-vevő) egységgel.

A mikrovezérlő UART1 egysége a robot RS-485 buszán kommunikál, a szükséges szintillesztést egy MAX485 integrált áramkör biztosítja. A sebesség 19200 bps, a protokoll ASCII, a parancsokat <CR><LF> zárja. Az egység a következő parancsokra reagál:

- ?WSEN : a szervó vezérlő engedélyezése és a szelep alaphelyzetbe állítása,
- ?WSS<p>: mintavétel (ahol <p> az aktuális külső nyomás értéke bar-ban, mivel ettől függ, hogy mennyi időre kell nyitni a szelepet),
- ?WSO: a szelep a következő nyitott pozícióra áll (kimintázás),
- ?WSC: a szelep a következő zárt pozícióra áll,
- ?WST: hiba esetén a szervó vezérlő hibajelzésének kiolvasása.

A mikrovezérlő UART2 egysége az EPOS4 vezérlővel kommunikál RS232 interfészen keresztül, a szintillesztést (TTL-RS232) egy MAX232 integrált áramkör biztosítja. Az elkészült áramkör meglehetősen egyszerű, mivel az alkalmazott mikrovezérlő rendelkezik belső órajelgenerátorral, így csak egy feszültség stabilizátor (LM7805), a szintillesztő áramkörök (MAX485, MAX232), illetve a hozzájuk szükséges passzív (R, C) alkatrészecskék és a csatlakozók kerültek a nyomtatott áramkörösre, amely a 3. ábrán látható. Csavaros csatlakozók biztosítják a tápfeszültség, illetve az RS485 és RS232 bekötését, valamint egy tűsor szolgál a PICkit programozó eszköz csatlakoztatására, amelynek segítségével programozható a mikrovezérlő.



3. ábra: Az elkészített vezérlő áramkör

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ROMAN, C.:** *Design of a gas tight water sampler for AUV operations*. Deep-Sea Research I, vol. 70, pp 189-196, 2001
- [2] *EPOS4 communication guide*. Maxon motor ag., Document ID: rel7290, Svájc, 2017.
- [3] **DR. KORONDI, P., DR. FODOR, D., DÉCSEI-PARÓCZI, A.:** *Digitális szervó hajtások*. BME-MOGI, Budapest, 2014.

LED MÁTRIX KIJELZŐ KÉSZÍTÉSE

DESIGNING A LED MATRIX DISPLAY

ERDŐSY Dániel¹, TÓTH Lajos²

¹Tanszéki mérnök, elkedani@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

²Ph.D., egyetemi docens, elklll@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: Egyre több LED kijelzővel lehet találkozni napjainkban, azonban a cikk témája egy könnyen elkészíthető, viszonylag egyszerű mátrix kijelző készítése. A publikáció a különböző vezérlési és felépítési lehetőségeket vizsgálja, majd az egyik módszer konkrét megvalósítását írja le. A különböző készítési eljárások összehasonlítása mellett, a létrehozott kijelző fizikai felépítése és a vezérlőszoftver működése is tárgyalásra kerül. A módszer és a kijelző fejlesztési lehetőségeiről is szó esik.

Kulcsszavak: LED, mátrix kijelző, LED mátrix, STM32F407

Abstract: One can find more and more LED based displays on the market, but this article is about designing and making a simple, but useful matrix display. The goal of my publication is to examine the different methods including the control system and describe the real implementation. Besides comparing the design methods, there is a brief description of the control software. In the end, further implemenetations and development possibilities are discussed.

Keywords: LED, matrix display, LED matrix, STM32F407

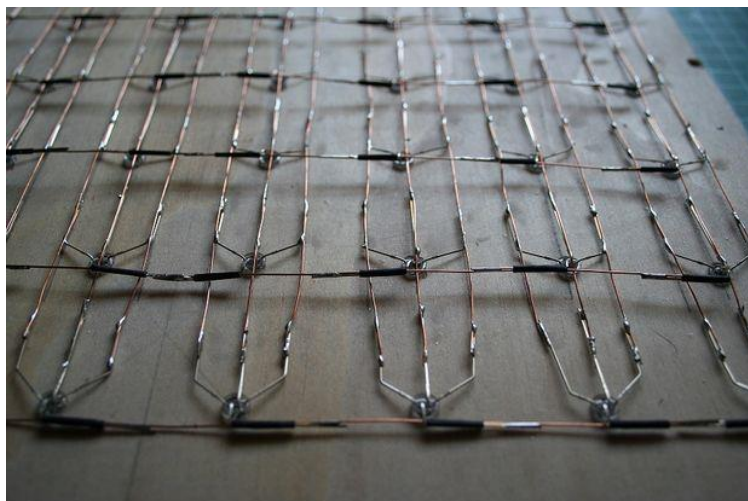
1. A MÁTRIX KIJELZŐ FELHASZNÁLÁSA

Napjainkban szinten minden nagy felbontású kijelző LED alapú, vagy legalábbis LED megvilágítású. Azonban a publikációm egy 7x12 pixeles, mátrix szerű kijelző építésével foglalkozik. A kijelző fő felhasználási területe, hogy zenék, zenei hangok megjelenítésére kiválóan alkalmas. Az oszlopok a zenei félhangokat jelölik, míg a sorok a különböző oktávtartományokat. Így a teljes kijelzőnek meg lehet feleltetni azt a 84 zenei hangot, amelyet zenei szempontból értelmezünk. Ez a megoldás, a hagyományos 5 vonalas kotta helyettesítője, vagy kiegészítője is lehet, hiszen a hagyományos relatív zenei ábrázolás (5 vonal, előjegyzés, zenei kulcsok stb.) helyett abszolút ábrázolást tesz lehetővé (minden pixel egy-egy hanghoz tartozik). Ezen felül vonalas spektrumanalizátorként, vagy akár egyszerű szövegek megjelenítésére is lehet használni. A későbbiekben látni fogjuk, hogy a kialakításnak köszönhetően fizikailag eltérő méretű, vagy kivitelű kijelzőre is könnyedén ki lehet cserélni, a vezérlő áramkör megváltoztatása nélkül, amely így még szélesebb körben történő felhasználást tesz lehetővé.

2. A MÁTRIX KIJELZŐ KÉSZÍTÉSE

Hagyományos értelemben vett mátrix kijelzők felépítése az egymás alá és mellé rendezett különálló LED diódákat jelenti. Ezen diódák anódját, illetve katódját soronként, illetve oszloponként kivezetve, akár egyesével is lehet a LED-eket kapcsolni. A módszernek hátránya, hogy a sor és oszlopszám függvényében, függetlenül a frissítési frekvenciától, egy-egy LED a

periódus idő hányadában fog csak világítani. Ezt a fényerősség csökkenést a diódákon átfolyó áramok növelésével valamelyest lehet kompenzálni, azonban ez a vezérlő áramkör plusz terhelését jelenti. További hátránya a kivitelezés nehézsége. Egy 8x8 pixeles RGB LED mátrix készítéséhez csak a LED-ek elhelyezésekor 192 forrasztási pont van (1. ábra), valamint legalább 32 vezeték vezérlését kell megvalósítani.



1. ábra: RGB LED mátrix forrasztási pontjai [1]

Az intelligens és sokoldalú felhasználhatóság miatt célszerű a vezérlést mikrovezérlővel megvalósítani. Hagyományos elrendezés esetén megoldhatjuk a sorok és oszlopok közvetlen vezérlésével (nem valószínű, hogy megfelelő számú GPIO¹ láb rendelkezésre áll), shift regiszterek használatával, vagy számlálók és dekóderek felhasználásával. Ezek a diszkrét áramkörök az alkatrészek számát, a vezérlőpanel méretét, valamint az összetettséget tovább növelik.

2.1. A kiválasztott módszer

Az előbbieken vázolt probléma kiküszöbölésére sikerült egy olyan megoldást találnom, amelynél mind a vezetékezési, mind a fényerősség problémák nincsenek jelen. Egy különleges vezérlő IC-t tartalmazó LED szalagról van szó, WS2812B néven kapható többféle gyártótól is (2. ábra). A LED szalag és az SMD LED-ek jelentősen megkönnyítik a kijelző fizikai kialakítását, a tápfeszültség ellátást.



5. ábra: WS2812b LED szalag részlete

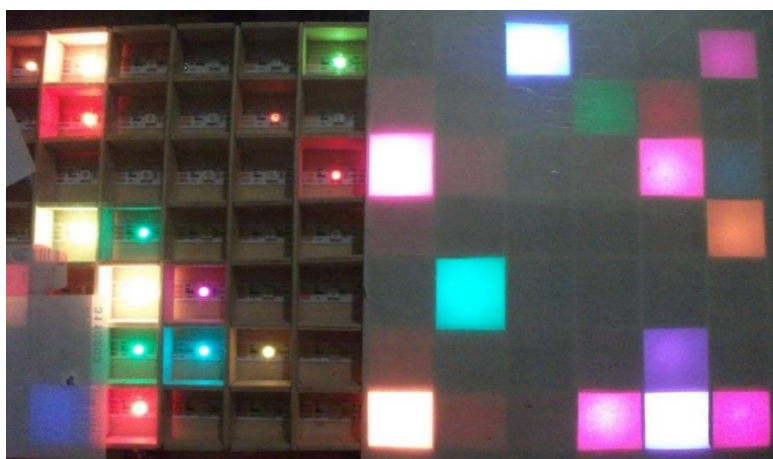
Az RGB LED-ekbe integrált vezérlő IC-k lehetővé teszik, hogy a teljes kijelző vezérlését

¹ General Purpose Input Output (GPIO) általános felhasználású be- és kimeneti láb a mikrovezérlőkben

egyetlen GPIO lábbal meg lehessen oldani. A LED szalag használatához 5V-os tápfeszültség szükséges, valamint a vezérlőjel soronkénti továbbítását kell biztosítani (az egyes sorok végét a következő sor elejével kell összekötni).

2.2. Fizikai megvalósítás

A kijelző fizikai paramétereit, a szélességet és a magasságot a LED-ek távolságához igazítottam. A pixelek fényének elválasztását végző rács vastagságát pedig a LED-ek vetítési szögéhez számítottam, így négyzet alakú fény jelenik meg a pixelekből, kör alakú helyett. Amiatt, hogy a kijelző ne vakítson, pauszpapírral fedtem be az elválasztó rácsot. A kijelző felépítése látható a 3. ábrán.



3. ábra: A kijelző felépítése működés közben, félig letakart pauszpapírral

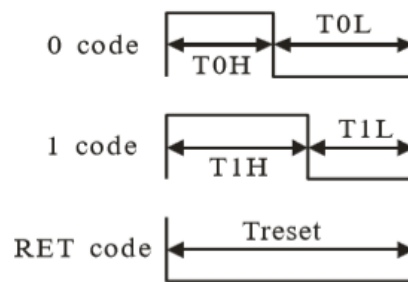
Gyártói ajánlás és saját méréseim alapján a kijelző tápellátásához egy 5 V-os, 4 A-es kapcsolóüzemű tápegységet választottam. Ez a teljesítmény meghaladja a kijelző teljes áramfelvételét, viszont így a mikrovezérlő és egyéb, felhasználói kezelést biztosító eszközök használata is lehetséges.

3. A KIJELZŐ VEZÉRLÉSE

A kijelző vezérléséhez az STM32F407 típusú mikrovezérlőt (továbbiakban STM32) választottam. Egy korábbi TDK dolgozatomban Arduino Nano-val is megvalósítottam a kijelző vezérlését [2], azonban az STM32 jelentősen nagyobb teljesítményű, így a későbbi fejlesztések folyamán felmerülő számítási igényeket is ki tudja majd szolgálni. Az STM32 használata során az egyetlen felmerülő probléma, hogy a GPIO láb kimeneti jelszintje a 3,3 V-os feszültség szint, azonban a WS2812B adatlapja alapján 5 V-os tápfeszültségnél ez a jelszint nem lenne elegendő a vezérléshez. Emiatt a kártya és a kijelző közé szintillesztésként egy Schmitt-trigger IC-t helyeztem. Az STM32-höz készítettem egy shield-et is, amely segítségével még könnyebben lehet csatlakoztatni a kijelzőhöz, illetve a tápegységhez. Ezen elhelyeztem a Schmitt-trigger IC-t is, valamint van hely a további fejlesztések megvalósítására is.

3.1. Vezérlőszoftver működése

A kijelző vezérlése egy kevésbé ismert, NZR jelsorozattal történik (4. ábra). A LED szalagba beépített vezérlő IC maximum 800 kbps-os adatfolyamot képes feldolgozni, tehát 800 kHz-nél nagyobb frekvenciát nem igényel.



4. ábra: NZR kód logikai „0” „1” és reset kódja [3]

A logikai „0” és „1” értékek közötti különbség viszont igen pontos időzítési követelményt támaszt a vezérlő programnak. Emiatt a vezérlést DMA kezeléssel valósítottam meg. A DMA kezeléshez, valamint a kiküldés teljes megvalósításához egy, az internetet megtalálható forráskódot használtam fel [4]. A megfelelő GPIO lábon egy időzítő kerül definiálásra, amely 800 kHz-es frekvencián működik. A számláló értékeivel egy „0” és „1” konstans van megadva. A kiküldendő értékeket ezekkel a definiált értékekkel komparálja a program, ez elmentésre kerül a memóriában. Ezután pedig DMA segítségével a memóriából közvetlenül a számlálóba (amely a kimeneti lábra van definiálva) küldi ki az adatokat a program. Ezzel a módszerrel az adatküldés rendkívül pontos lesz, valamint a processzor tevékenységétől is független marad. LED-enként 1 byte információt, tehát pixelenként 3 byte információt szükséges kiküldeni. A megvalósítás során néhány konstans szín értéket létrehoztam, de változók értékét is át lehet adni a megjelenítőfüggvénynek. Az adatsebességből és a küldendő adat mennyiségéből látható, hogy nagy frissítési frekvencián képes működni a kijelző, így animációk megjelenítésére is kiválóan alkalmas.

4. FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Az STM32 analóg bemeneti lábait felhasználva valós idejű spektrum analízálást fogok megvalósítani, a 12 oszlop miatt 12 frekvenciatartományra. Ezen felül a zenei hang megjelenítésének vezérlését fogom megvalósítani MIDI kommunikációval, majd valós idejű hangfelismeréssel is. Előbbi megvalósítást már Arduinoval elkészítettem [2], az utóbbi témában pedig már hosszabb ideje kutatást végzek [5].

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **B. Bubba:** *DIY 8x8 RGB LED matrix, Arduino*, 2016. [Online]. Elérhető: <http://www.instructables.com/id/DIY-8-X-8-RGB-LED-Matrix-With-Controller/>. [Ellenőrizve: 2017.11.04.].
- [2] **E. Dániel:** *LED mátrix kijelző készítése*, University of Miskolc, 2017.
- [3] **Worldsemi:** *WS2812B Intelligent control LED integrated light source*.
- [4] **P. Pemberton:** *WS281x driver for STM32F4 Discovery Board*, 2014. .
- [5] **E. Dániel:** *Zenei hangok valós idejű számítógépes analízise*, University of Miskolc, 2016.

IOT ESZKÖZ ENERGIAFELVÉTELÉNEK BECSLÉSE

IOT DEVICES POWER CONSUMPTION ESTIMATE

L. KISS Márton

tanársegéd, autkiss@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetemi, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet
H-3515, Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: Manapság egyre több IoT-s (Internet of Things) eszköz van, amelyek különböző környezeti paramétereket mérnek. Az eszközök terjedésével kialakultak bizonyos trendek, amelyek behatárolják az eszközök paramétereit: alacsony energiafogyasztás, alacsony ár, kis méret. A trendek alapján egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek az egyes fejlesztendő eszközök energiafelvételének minimalizálására. Cikkemben egy mérőeszköz fejlesztésén keresztül mutatom be hogyan kell ezen trendek alapján fejleszteni.

Kulcsszavak: IoT, STM32, alacsony energiafelvétel, mérés, Thingspeak

Abstract: Nowadays, more and more IoT (Internet of Things) device is to measure various environmental parameters. With the spread of the devices, some trends have emerged that limit certain parameters of the device: low energy consumption, low price, small size. On the basis of the trends, more and more efforts are being made to minimize the energy consumption of each device being developed. In my article, I'm introducing a tool to develop how to develop these trends.

Keywords: IoT, STM32, low power consumption, measurement, Thingspeak

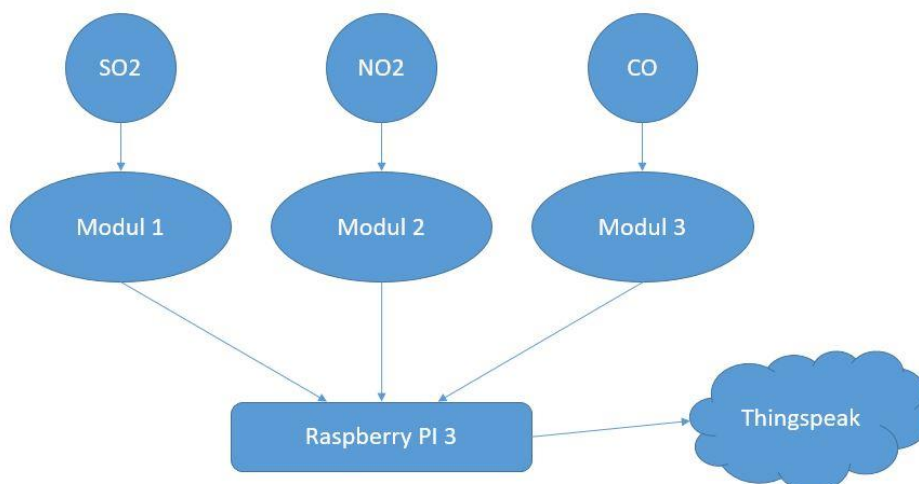
1. BEVEZETÉS

Manapság egyre több IoT-s (Internetre csatlakoztatott eszköz) eszköz kerül használatba, amelyek bizonyos környezeti paramétereket mérnek vagy valamilyen okos funkciót [3, 4] látnak el. Ezzel együtt egyre több okos ház épül, valamint az okos városokban is egyre több ilyen eszköz van. Az Ericsson becslése szerint 2020-re 30,5 milliárd IoT-s eszköz fog működni a világon.

A Miskolci Egyetem Automatizálási és Infokommunikációs Intézet egy levegő minőség mérő [1] kifejlesztésén dolgozik, amely az mért adatokat képes egy online IoT alapú megjelenítőre tovább küldeni. A cikkel továbbá szeretném szemléltetni, hogy egy IoT-s eszköz energiafelvétele [2] és inkább már a szoftveres mérnök munkáján is múlik.

2. ESZKÖZÖK BEMUTATÁSA

Manapság egyre nagyobb hangsúlyt fektetünk a városok levegő minőségének mérésére és szabályozására. Ennek ellenére a nagyobb városainkban nincsen elegendő mérőpont, amely képes mérni a levegő szennyezők koncentrációját. Ez részben a költségvetés hiánya miatt is van ugyanis egy hitelesített állomás több 10 millió forint. Manapság már találhatóak a piacon olyan olcsó szenzorok, amelyekkel a levegőt szennyező gázok koncentrációját lehet mérni. A fejlesztés során ezekre építettünk. A célunk, hogy ezeknek az analóg szenzoroknak a jelét a felhőbe továbbítsuk. A mérő rendszer központi egysége egy Raspberry PI, amely az adatokat valamilyen soros interfészen keresztül kiolvassa és továbbítja a felhőbe egy URL-en keresztül. A következő blokkvázlat (1. ábra) a rendszer felépítését szemlélteti.



1. ábra: Rendszer blokkvázlata

Ahogy a fenti blokkvázlaton is látszik törekedtünk a modularitásra ezért döntöttünk úgy, hogy minden egyes analóg szenzorhoz rendelünk egy kis mikrovezérlőt amely az analóg adatokat valamilyen soros interfészen tovább tudja küldeni a Raspberry PI felé. A továbbiakban egy ilyen szenzor modul feldolgozó egységet mutatok be és elemzem a mikrovezérlő energiafelvételét különböző működési módokban.

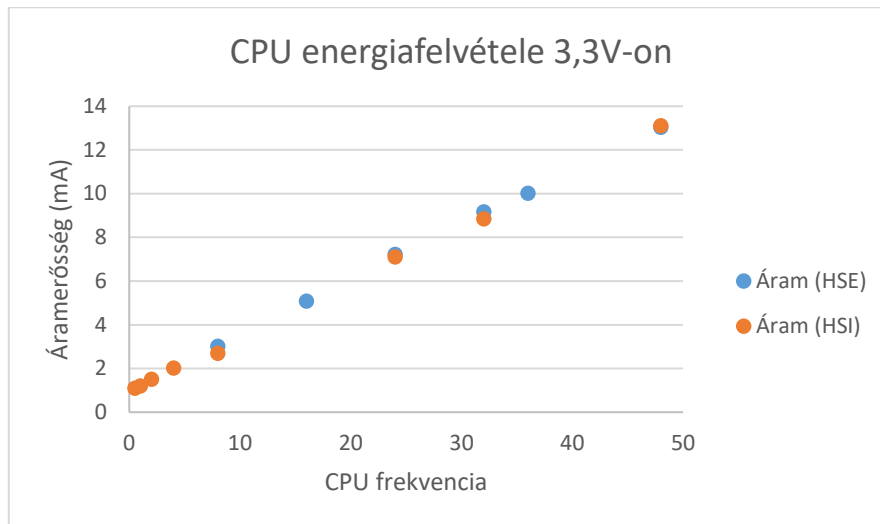
3. SZIMULÁCIÓ

A fejezetben bemutatott diagrammokat az STMicroelectronics STM32CubeMX szoftvere segítségével csináltam. A felhasznált processzor pedig az STM32F041F6 típusú TSSOP20 tokozású kis mikrovezérlő.

Amint már írtam egy eszköz energiafelvétele függ a szoftveres mérnök munkájától. Első lépésben meg kell határozni az eszköz ciklus idejét. A kültéri mérő rendszerek esetében a ciklusidő nagy, esetemben 1 másodperc.

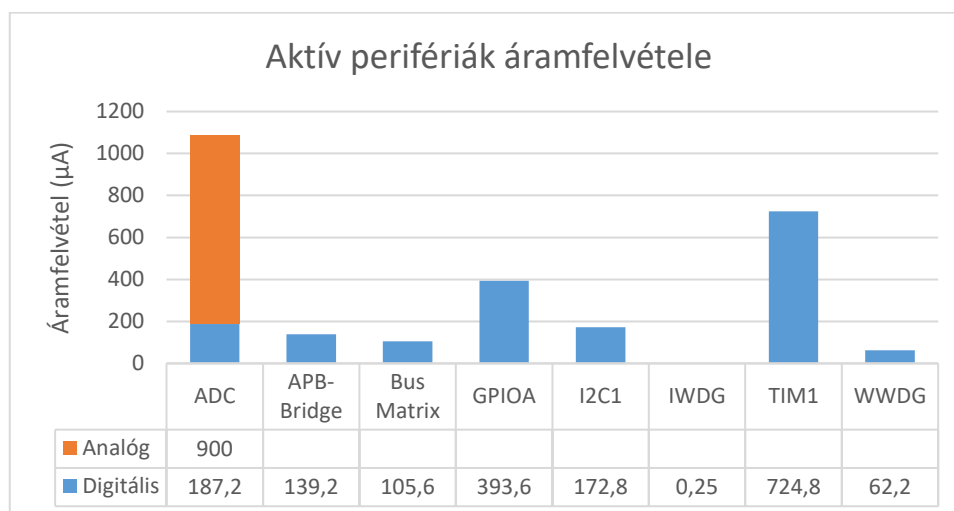
A következő lépésben meg kell határozni milyen számítási teljesítményt igényel a feladat, hogy ne lépjük túl a tervezett ciklusidőt. Amennyiben nem kell hőmérsékletkompenzálást vagy páratartalomkompenzálást végezni a feladat nem igényel nagy számítási kapacitást. Az általunk használt processzoroknál van lehetőség arra, hogy a processzor órajelét változtassuk. Az általunk használt processzor esetében van lehetőség arra, hogy hangoljuk a CPU frekvenciát.

A mikrovezérlő áramfelvétele nagyban függ a CPU működési frekvenciájától, valamint attól is, hogy az órajel forrás a belső (HSI) oszcillátor vagy külső (HSE) oszcillátortól származik, valamint, hogy a CPU frekvenciájának beállításához használtuk-e a belső PLL áramkört. A következő képen (2. ábra) a CPU áramfelvételét szemléltetem különböző órajel frekvenciákon és különböző órajelforrásokról.



2. ábra: CPU áramfelvétele

Bár a mikrovezérlő áramfelvételének számottevő része CPU, nem elhanyagolható az analóg és digitális perifériák fogyasztása sem. A fenti feladathoz mindössze egy ADC-re és egy I2C perifériára van szükség viszont ezek egy port-on (GPIOA) keresztül tudnak a külvilág fele kommunikálni, valamint a CPU belső sínrendszerén (APB-Bridge, Bus Martix) keresztül tudja konfigurálni ezeket a perifériákat. A szoftveres időzítésekhez pedig számlálók (IWDG, WWDG, TIM1) szükségesek. A következő (3. ábra) kép-e perifériák áramfelvételét szemlélteti.



3. ábra: Perifériák áramfelvétele

A képen kiemelkedően magas az ADC analóg része, amely a számos passzív precíziós ellenálláson eldisszipálódott hőből adódhat. A digitális perifériák fogyasztása lényegesen kisebb mivel CMOS technológiájú digitális áramkörökben lévő kapcsolóelemeket (FET) szinte nulla teljesítménnyel lehet vezérelni.

Összegzésképpen a mikrovezérlő áramfelvétele a fent használt perifériákkal 15,65 mA, amelyből a CPU fogyasztása 12,96 mA 48 MHz-es órajel frekvencia mellett.

A fenti futási paraméterek mellett az STM32CubeMX szoftver megbecsülte, hogy meddig tudna működni a processzor egy 2850mAh-s 1,5V-os elemről. A szimuláció során feltételeztem, hogy a mérést és az ADC regiszter értékének skálázását a processzor 10 ms alatt elvégzi, így a ciklusidőből fentmaradt 990 ms-ot vagy STANDBY vagy SLEEP módba tölti. A kettő között lényeges különbség van.

Amennyiben STANDBY módba megy csak egy belső (IWDG) számláló működik, amely egy magadott idő után felkelti a processzort, hogy végezze el a mérést. Ebben a módban nem működnek az portok sem viszont abban az esetben jó, ha a mikrovezérlő mint master elküldi az üzenetet és elmegy STANDBY módba. További előnye ennek a működési módnak, hogy az áramfelvétel mindössze 4,9µA.

A másik eset amikor a mikrovezérlő SLEEP módba megy ilyenkor bármelyik periféria által generált megszakítással aktivizálható a processzor így a központi egység bármikor lekérdezheti a szenzorok értékeit. Ebben a módban az áramfelvétel 6,18mA.

1. Táblázat: Működési paraméterek

Futási mód	Idő	Mód	CPU	Órajel forrás	Áramfelvétel	Tápfesz.	Átlag
1	10ms	RUN	48MHz	HSE PLL	15,65 mA	3,3V	160,65µA
	990ms	STANDBY	0 Hz	LSI IWDG	4,9µA	3,3V	
2	10ms	RUN	48MHz	HSE PLL	15,65 mA	3,3V	6,27mA
	990ms	SLEEP	48MHz	HSE PLL	6,18mA	3,3V	

4. KONKLÚZIÓ

A becslés alapján az első futási módban a processzor 1 év 10 hónap 23 nap 7 órát bír az elemről, a második esetben pedig 18 nap 21 órát bír. A két futási mód között hatalmas különbség van, viszont funkcionalitásban teljesen megegyezik a kettő. Ebből is látszik, hogy a szoftverfejlesztő mérnöknek mekkora felelőssége van egy alacsony energiafelvételű mérő egység fejlesztésénél.

5. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] JALADI, A. R., KHITHANI, K., PAWAR, P., MALVI, K., & SAHOO, G.: *Environmental Monitoring Using Wireless Sensor Networks (WSN) based on IOT*, 2017.
- [2] ROSSI, D., LOI, I., PULLINI, A., & BENINI, L.: *Ultra-Low-Power Digital Architectures for the Internet of Things*. In *Enabling the Internet of Things*, Springer International Publishing. 2017.
- [3] VÁSÁRHELYI J.: *Beágyazott rendszerek elektromos energia fogyasztása*, XII Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia Kolozsvár, Románia, 2011.

TÖBBFUNKCIÓS WEB ALAPÚ VEZÉRLŐ FELÜLET TERVEZÉSE ROS ALAPÚ AUTONÓM MOBIL ROBOTHOZ

DESIGN A MULTIFUNCTIONAL WEB BASED CONTROL CENTER FOR ROS BASED AUTONOMOUS MOBILE ROBOT

MOLNÁR István

MSc hallgató, molnar.istvan13@gmail.com

Miskolci Egyetem, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: Egy web alapú vezérlő felület került megvalósításra autonóm mobil robothoz. A felület Bootstrap-el készült. Az oldal és a roboton futó ROS (Robot Operating System) Websocketen keresztül létesít kapcsolatot. A felületen a felhasználó azonosítása megvalósult. Az autonóm mobil robot távirányítható, elindítható a labdázás viselkedés, megjeleníthető URDF robot modell, valamint a robot által ismert térkép is.

Kulcsszavak: ROS, vezérlő felület, autonóm mobil robot

Abstract: A multifunctional web based control center is implemented for the autonomous mobile robot. The control center has been made with Bootstrap. The connection between the ROS (Robot Operating System) and the control center is being connected by the Websocket. User identification has been implemented. The autonomous mobile robot can be remote controlled, play with a ball behavior description, URDF robot model can be shown and a map is available from the control center.

Keywords: ROS, control center, autonomous mobile robot

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

1. BEVEZETÉS

Az autonóm mobil robotok fejlődésének köszönhetően, a mindennapi élet számos területén találkozhatunk robotokkal. Már nem csak nagyobb gyáregységek használják ki a robotika által kínált lehetőségeket hanem kórházak, egészségügyi intézmények, egyetemek is hasznosítják ezt a tudást kutatási és fejlesztési céllal. A felhasználó és a robot közötti folyamatos kommunikáció elengedhetetlen a megfelelő működtetéshez. Ismereteink segítségével képesek vagyunk különböző utasítások adni a robotnak, ami az általunk betáplált működési paraméterek után képes megvalósítani a feladatot.

A robottal való kommunikációt többféleképpen elérhetjük. A kapcsolat felvétel történhet a távolból hálózaton keresztül, a roboton elhelyezett perifériák használatával, fejlettebb robotoknál hangvezérléssel vagy érzékelők segítségével.

A cikkben bemutatott web alapú vezérlő felület autonóm mobil robothoz készült és hálózaton keresztül vezetékek nélkül egy egyszerű webböngészővel tudjuk operálni működés közben a rajta található funkciókat.

2. ROBOT

2.1. A robotról

Az Automatizálási és Infokommunikációs Intézetben fejlesztett kutatási célú robothoz készült a web alapú vezérlő felület.

Hardveresen a robot több szintből áll, ezek a szintek a funkciók elkülönítése és szerelhetőség miatt még több szintre vannak szétbontva. A meghajtás holonomikus [3], amit 3 darab többirányú kerék biztosít. Az alacsony szintű vezérlést egy STM32F4 Discovery kártya végzi el, ami a Raspberry Pi 2 mikroszámítógéptől kapja az utasításokat.

Erre a mikroszámítógépre csatlakoznak a webkamerák is, amik biztosítják a videó képet távirányításhoz, valamint a labdázás viselkedéshez [4]. Ezzel az eszközzel tartja a kapcsolatot a robot a külvilággal WiFi kapcsolaton keresztül, valamint ezen fut a robotot szoftveresen irányító keretrendszer is. A robot részét képezi még három darab ultrahangos érzékelő, ami segíti a robotot a tájékozódásban.

A roboton megtalálható egy webservert, ami a weboldal működtetéséhez szükséges, valamint, az URDF modell eléréséhez.

2.2. A ROS

A ROS (Robot Operating System) magyarul Robot Operációs Rendszer, egy nyílt forráskódú rugalmas robot keretrendszer, Linux operációs rendszerre fejlesztve [1]. A fejlesztő csapat, Ubuntu Mate 16.04-re telepítette fel a ROS Kinetic verzióját.

A ROS csomópontokból áll, amelyeket a roscore nevű központi csomópont felügyel. A csomópontok aszinkron és szinkron kommunikációt használnak. A ROS lehetővé teszi, hogy a robotot több számítógép vezérelje, a feladatok számítási igényének megfelelően elosztva a terhelést.

Az Unified Robot Description Format (URDF) segítségével, robot modelleket tudunk vizualizálni a ROS segítségével.

2.3. Topic és Node

A Node egy olyan folyamat, program, ami műveleteket hajt végre. Célszerűbb, ha több kisebb Node-unk van, mint egy sok funkciót magába foglaló, mert így robosztusabb lesz a rendszerünk. A ROS alapú robot vezérlő rendszer sok Node-al és Topic-al dolgozik.

A Topic-ok aszinkron adatstruktúrák, amik lehetővé teszik a Node-ok közötti kommunikációt. A Topic-ok egy publish/subscribe sémát használnak. Az egyes csomópontok üzenetekkel tartják a kapcsolatot. A csomópontok nyilvánosságra hozzák az üzeneteiket, amely lehet kamerakép, vezérlő utasítás, ezek a Topic-ok, amelyekre más csomópontok feliratkozhatnak és feldolgozzák az üzenetet, majd ennek megfelelően újabbat küldenek vagy vezérlik a robotot. Az üzenetek továbbítása hálózaton keresztül történik.

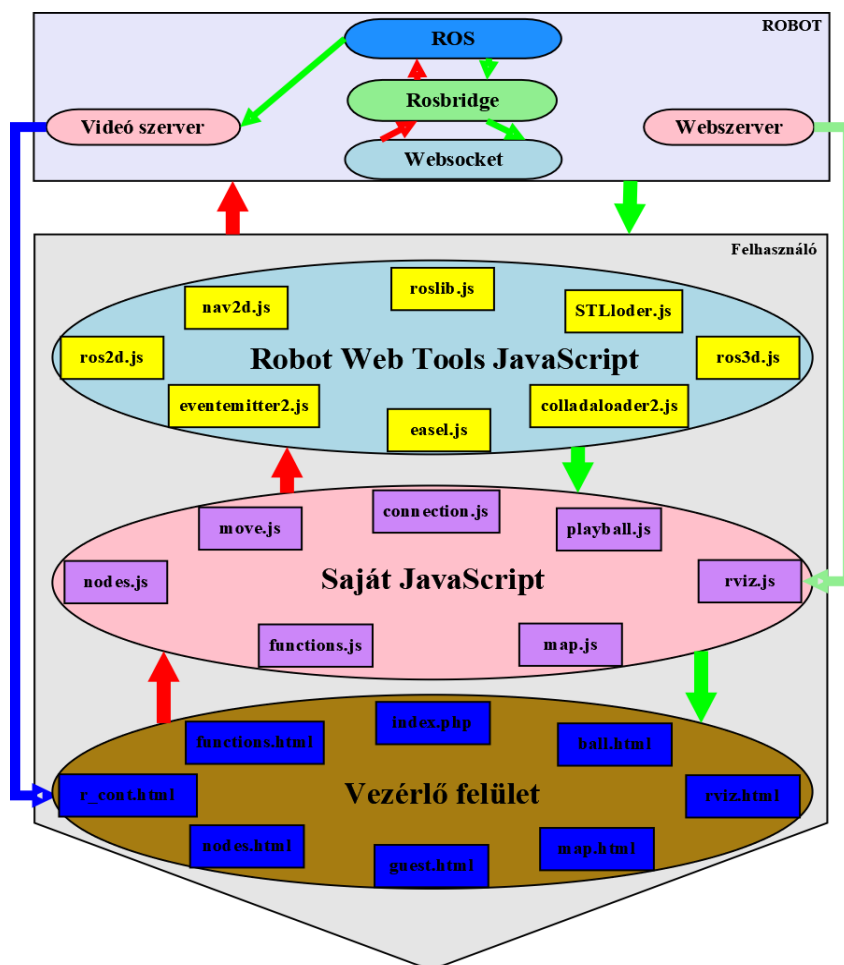
3. RENDSZERVÁZLAT

3.1. Rendszervázlat

A vezérlő felület két részből áll, amit az 1-es ábra szemléltet. Egyfelől az autonóm mobil roboton megtalálható eszközök, ilyen a ROS, a Rosbridge, a Websocket, a web és videó szerver.

A másrészt pedig a felhasználó felőli rész. Ez három különböző rétegre bontható fel. A

Robot Web Tools JavaScript fájlokat tartalmazó keretrendszer, a vezérlő felület, amit a felhasználó lát, végezetül pedig az ezeket összekötő vezérlő JavaScript fájlok.



1. ábra: A rendszervázlat rétegei

3.2. Robot Web Tools

A Robot Web Tools [2] egy JavaScript fájlokat tartalmazó keretrendszer, amik szükségesek a ROS-on található funkciók eléréséhez, valamint ezek a fájlok könnyítik meg a használatot a webes vezérlő felület és a robot között.

3.3. Vezérlő fájlok

A webes vezérlő felület és az autonóm mobil robot között kapcsolatot kell létrehoznunk. A felülethez készített JavaScript fájl a hálózaton keresztül kapcsolódik a ROS-on futó rosbridge Node-hoz, ami biztosítja a kommunikációt a felület és a ROS között JSON objektumokkal. A kapcsolathoz tudnunk kell a hálózaton csatlakozott robot IP vagy URL címét és a használt Port-ját, ha ezt tudjuk, tudunk csatlakozni rá és utasításokat tudunk küldeni felé.

Minden funkciónak megvannak a saját vezérlő JavaScript fájljai. Így könnyen átlátható és módosíthatók a programkódok. Ilyen vezérlő fájlok a távirányításért, a labdázás viselkedést, a Topic és Node és a Rviz és térképért felelősek.

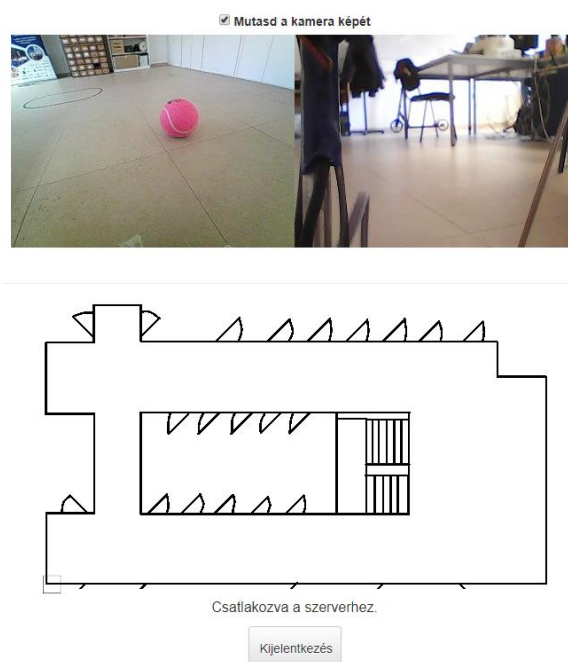
4. WEBES VEZÉRLŐ FELÜLET

4.1. Felhasználó azonosítás

A robotot irányító felhasználók külön jogkörökkel rendelkeznek. A rendszer különbséget tesz az egyszerű felhasználó és a karbantartók között. Utóbbiak a teljes rendszer működését megváltoztathatják, előbbiek csak a rendszer állapotát láthatják, míg mások csak irányíthatják a robotot. Ez a funkció egy későbbi kereskedelmi felhasználás esetén szükséges.

4.2.1. Vendég felhasználó

Az egyik jogkör a vendég jogkör. Ennek a felhasználónak korlátozva van a robot funkcióihoz való hozzáférése. Hozzáférhet a webkamerák képéhez, valamint láthatja a térképet. Ez a felület a 2-es ábrán látható.

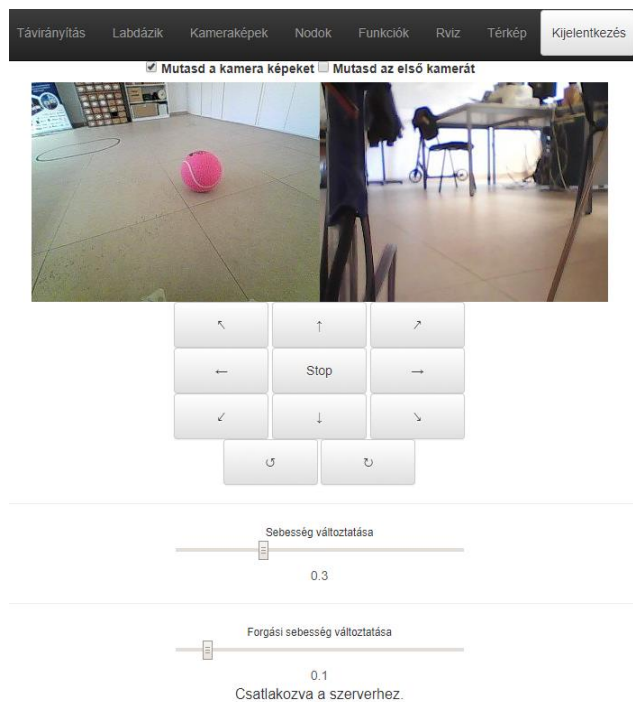


2. ábra: A vendég felhasználó felülete

4.2.2. Admin felhasználó

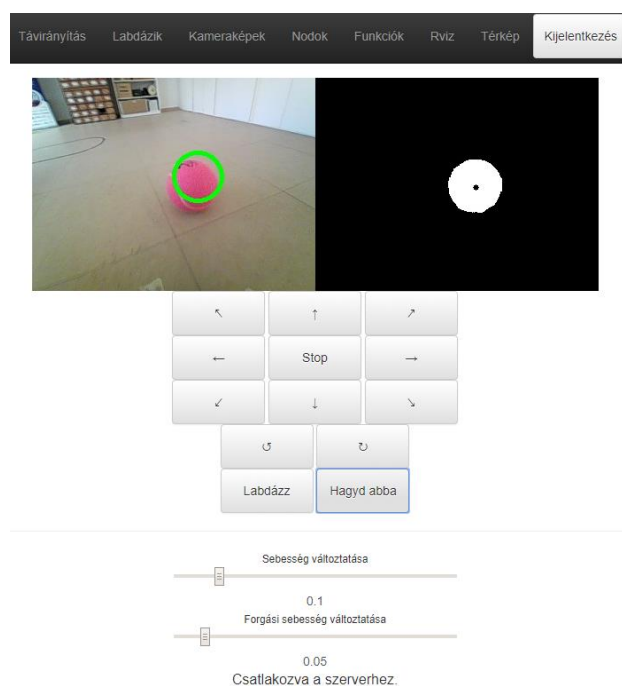
Az Admin felhasználónak, van teljeskörű hozzáférése a vezérlő felületen lévő funkciókhoz. Bejelentkezés után a távirányítás fül jelenik meg először. Minden fülön megtalálható az, hogy sikeresen csatlakoztunk-e, él-e a kapcsolat a vezérlő felület és a robot között.

A távirányítás fül a robot irányítására szolgál, az ehhez szükséges irányító gombok, sebesség állító csúszka és a webkamerák képe található meg itt. Ez volt az első funkció, ami használható volt a webes vezérlő felületről. A távirányítás funkció a 3-as ábrán látható.



3. ábra: A távirányítás felülete

A labdázás viselkedés elindítása és leállítása volt a következő funkció, ami elkészült. Itt elindíthatjuk és leállíthatjuk a labdázás viselkedést, valamint a gyors beavatkozás végett, itt is megtalálhatók a távirányításnál látott irányító gombok. Az itt megjelenő webkamera képek az előre néző webkamera képe látható felismert és megjelölt labdával, valamint a szín és forma szerint szűrt képet is megtalálhatók, ami alapján vezérli a mozgását a robot. [4] A felület a 4-es ábrán látható.



4. ábra: A labdázás viselkedés felülete

Létezik egy olyan fül is, ahol csak a webkamerák képe található meg.

A Nodeok fülön lekérdezhetők a ROS-on éppen futó Node-ok listája, valamint már elérhető az a funkció is, hogy leállíthatók a kívánt Node-ok.

A funkciók fülön egy leírás található a roboton működő funkciókról és az általuk használt Node-okat is felsorolja. Ez a roboton lévő XML fájlból kéri le a vezérlő felület.

Az Rviz felületen megtekinthető a robotról készült URDF modell, itt körbetekinthető. A fejlesztési terv az, hogy a robot kar modellje is megjelenhet, így azt láthatjuk, valamint majd kedvünk szerint beállíthatjuk pozícióját, ami a vezérlő felületen és a valós roboton is változni fog.

Végezetül pedig a térkép fülön megtalálható egy térkép, amelyen a jövőben megjeleníthető lesz a robot pozíciója és célt is megadhatunk majd számára, ahova elmenjen önállóan.

5. EREDMÉNYEK, FEJLESZTÉSI TERVEK

A vezérlő felületen a kért funkciók megfelelően működnek, a robot távirányítható, lehet a webkamera képét figyelni az elkészült weboldalon, valamint a labdázás viselkedés is indítható.

A vezérlő felületen van egy szöveg felolvasási funkció is, ami azt jelenti, hogy a beírt szöveg a robot hangszóróin keresztül felolvassa. Valamint az éppen futó Node-okat is kedvünk szerint leállíthatjuk, ha már nincs szükségünk valamelyikre.

Fejlesztési tervek között van, hogy a robothoz készülő robotkar legyen megjelenítve és lehessen manipulálni a webes vezérlő felületről. Az is terv, hogy az ultrahangos szenzorok és az új részletesebb térkép alapján, a robot pontosan meg tudja határozni a helyzetét és ezt a felületen meg lehessen jeleníteni, valamint pozíciót lehessen megadni a felületen.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Robot Operating System: www.ros.org
- [2] Robot Web Tools: www.robotwebtools.org
- [3] **BARTÓK, R.; L KISS, M.; VÁSÁRHELYI, J.; FERENCZI, I.:** *Holonomikus hajtású robot vezérlése Fuzzy alapú viselkedés leírással. Arad, Románia ,2015.*
- [4] **BARTÓK, R.; KORCSOK, E.; VÁSÁRHELYI, J.:** *Fuzzy szabály interpoláció alapú objektumkövetés megvalósítása Robot Operációs Rendszerben: Implementation of Fuzzy Rule Interpolation Based Object Tracking in Robot Operating System, Nagyvárad, Románia 2017.*

KOMPLEX MÉRŐ-ADATGYŰJTŐ-FELDOLGOZÓ SZOFTVER FEJLESZTÉSE LABVIEW-BAN AZ AKUSZTIKUS HISZTERÉZIS VIZSGÁLATÁRA

DEVELOPMENT OF A COMPLEX MEASURING-DATA ACQUISITION SOFTWARE IN LABVIEW FOR INVESTIGATING ACOUSTIC HYSTERESIS

SOMOGYINÉ MOLNÁR Judit

egyetemi docens, tudományos munkatárs, gfmj@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros
MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: Szeizmikus adatok értelmezésénél jelentős szerepet játszik egy adott nyomásállapotban lévő kőzetmintán mért akusztikus tulajdonságok extrapolálása. A laboratóriumi mérések in-situ jellemzőkkel történő összefüggésbe hozásához és a hullámsebességek nyomásfüggését magyarázó kvantitatív kőzetfizikai modellek értelmezéséhez pontos mérési (főként P és S hullámsebesség) adatok szükségesek. A cikkben LabVIEW fejlesztői környezetben fejlesztett, kőzetmintákon longitudinális és transzverzális hullámsebességek nyomás alatt történő mérésére alkalmas adatgyűjtő szoftvert mutatok be, mellyel az akusztikus hiszterézis jelensége is vizsgálható. A mért adatok kiértékelésére geofizikai együttes inverziós eljárás szolgált. A MATLAB-ban fejlesztett inverziós algoritmusnak a mérő-adatgyűjtő LabVIEW programba történő integrálása egy komplex szoftvert eredményezett.

Kulcsszavak: akusztikus hullámsebességek, akusztikus hiszterézis, LabVIEW, kőzetminta, nyomás

Abstract: Extrapolation of seismic/acoustic properties measured on rock samples at a given pressure state plays a significant role at interpretation of seismic data. Accurate measurement data (especially P and S wave velocity) are required to associate laboratory measurements with in-situ characteristics and to interpret quantitative petrophysical models explaining the pressure dependence of wave velocities. In this study a new software is introduced developed in LabVIEW to measure longitudinal and transverse wave velocities under pressure on rock samples with which the phenomenon of acoustic hysteresis can be investigated, too. Geophysical joint inversion method was used for data processing. The inversion algorithm was realized in MATLAB which was implemented in the LabVIEW measuring and data acquisition program resulting in a complex software.

Keywords: acoustic wave velocities, acoustic hysteresis, LabVIEW, rock sample, pressure

1. BEVEZETÉS

Mivel szeizmikus adatok értelmezésénél jelentős szerepet játszik egy adott nyomásállapotban lévő kőzetmintán mért szeizmikus/akusztikus tulajdonságok extrapolálása, az akusztikus hullámsebességek (longitudinális/P és transzverzális/S) nyomásfüggésének laboratóriumban történő tanulmányozása fontos információt szolgáltat ahhoz, hogy a szeizmikus méréseket kőzetfizikai paraméterek vonatkozásában tudjuk értelmezni. A hullámsebességek és a nyomás közötti kapcsolat leírására számos kvalitatív és kvantitatív modell létezik [1].

Közismert, hogy a kőzetekben terjedő akusztikus hullám sebessége a nyomás nemlineáris függvénye és a kőzetek kvázisztatikus rugalmas tulajdonságai ún. akusztikus hiszterézist mutatnak (azaz a kőzetet a mechanikai felterhelés, ill. a leterhelés során eltérő hullámterjedési sebesség jellemzi) [2]. A hiszterézis jelenségének megismerése lényeges a rezervoármechanika és az építőmérnöki mérések (pl. hidak ívszerkezetének süllyedésének vizsgálata) gyakorlatában [3]. A hullámsebességek nyomásfüggését magyarázó kvantitatív kőzetfizikai modellek értelmezéséhez és a laboratóriumi mérések in-situ jellemzőkkel történő összefüggésbe

hozásához pontos, laboratóriumban mért longitudinális és transzverzális hullámsebesség adatok szükségesek.

2. LABORATÓRIUMI MÉRŐRENDSZER

Az akusztikus hullámsebességek laboratóriumi mérésére a legelterjedtebb módszer az impulzus átviteli technika [4]. A módszer lényege, hogy az akusztikus mérőegység impulzus generátora feszültség impulzust ad a piezoelektromos adó kristályra, amely akusztikus hullámot indít a közetmintában. A vevő kristály a beérkező akusztikus jelet elektromos impulzussá alakítja, melynek a beérkezési idejét detektálhatjuk. A terjedési sebesség a minta hosszából és a hullám beérkezési idejéből számolható.

Az alkalmazott mérőrendszer tartalmaz egy mérőcellát, egy kétcsatornás akusztikus mérőrendszert, egy terhelőkeretet és egy nyomásgenerátort [5]. A kétcsatornás akusztikus mérőberendezés lehetővé teszi longitudinális és transzverzális hullámsebességek mérését is. Mivel a hullámok terjedési sebességét a LabVIEW-ban fejlesztett szoftver az egyszerű út-idő összefüggéssel számolja, mérés előtt a szoftver bekéri a vizsgált közetminta hosszát. A sebesség helyes számításához előzetesen meg kell mérni az akusztikus hullám, kizárólag a mérőfejekben való terjedésének idejét (ún. t_{dead}), melyet korrekcióba kell venni a méréskor. A jel/zaj viszony növelése érdekében 256-szoros összegzést alkalmaztam, amely 256 egymást követő mérés futó átlagolását jelenti. Ezzel a módszerrel lényegesen csökkenthetőek a megjelenített hullámképben a külső zajok amplitúdói, és ennek következtében az első beérkezések pontosan meghatározhatóvá válnak.

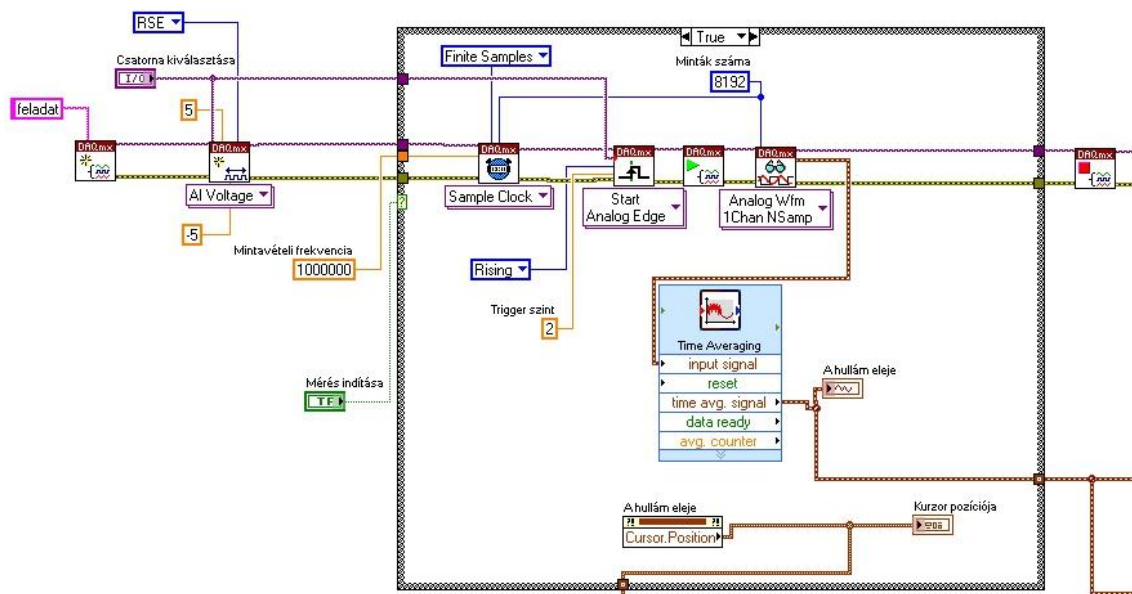
A méréshez National Instruments PCI-6251 típusú mérőkártyát, és egy hozzá csatlakoztatott National Instruments BNC-2110 típusú adaptert használtam. A jel erősítésére Tektronix AM 502 típusú differenciál erősítő szolgált.

3. A KOMPLEX MÉRŐ-ADATGYŰJTŐ-FELDOLGOZÓ SZOFTVER

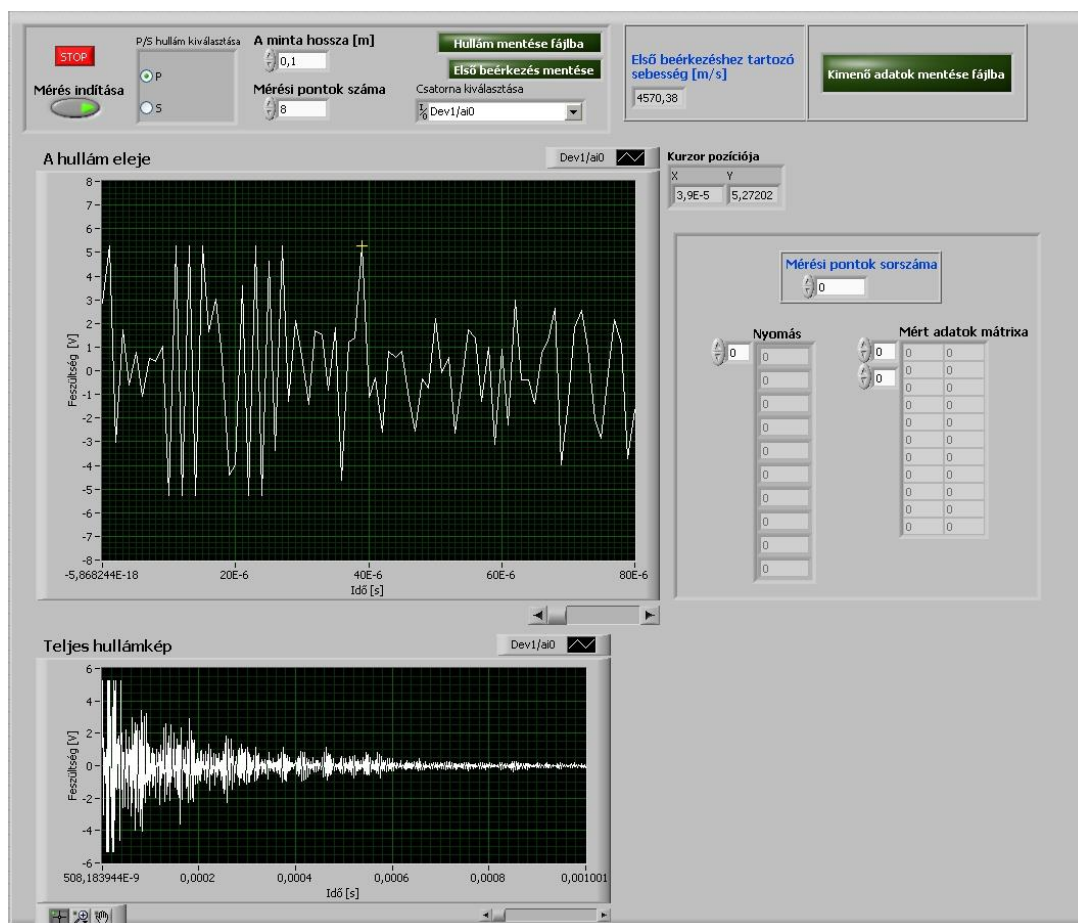
A LabVIEW-ban a „feladat” elnevezésű task keretében az alábbi paramétereket definiáltam: csatornák, időzítések, triggerelés, olvasás. Az adatgyűjtő konkrét fizikai csatornáját a front panel-en létrehozott legördülő menüből lehet kiválasztani (pl. AI0). Az egyes előre definiált paraméterek (pl. mérési tartomány, mintavételi frekvencia, stb.) az 1. ábrán láthatóak.

A mérést egy „Mérés indítása” című gombbal lehet elindítani. A mintavételezés indítására az AI Start Trigger Signal függvényt alkalmaztam, azaz triggerelő jel indítja a mintavételezést. A triggerelési módok közül az élvezéreltet választottam (felfutó/2V). A megfelelő jelszint elérése érdekében 50 dB erősítést alkalmaztam.

A jelet az átlagolás után könnyedén meg lehet jeleníteni (2. ábra). Mivel a kijelölendő első beérkezés a minta hosszától függően, várhatóan a detektált jel első negyedében fog megjelenni, ezért a kezelőfelületen két gráfot hoztam létre: „A hullám eleje” elnevezésű mutatja értelemszerűen az első negyedet, míg az egész jelet a „Teljes hullámkép” láthatjuk.



1. ábra: A program magja

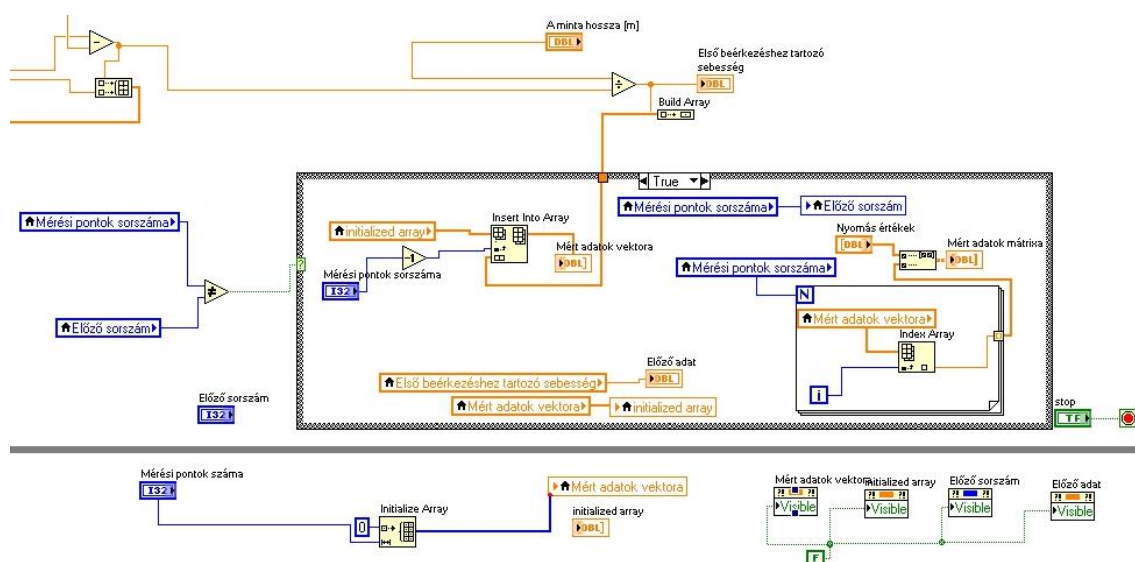


2. ábra: A szoftver kezelőfelülete

Kurzor hozzáadásával a hullámon könnyedén kijelölhető első beérkezés. Amennyiben a kijelölt első beérkezést a későbbiekben módosítani szeretnénk, célszerű elmenteni a kijelölt első

beérkezéshez tartozó feszültség-idő értéket (2. ábra: Első beérkezés mentése gomb). A mérési adatok utólagos kiértékelése miatt a hullámkép (mért idő-feszültség adatok) automatikus mentése is megtehető .txt formátumban (2. ábra: Hullám mentés fájlba gomb). Ahogy említettem, a programmal alapvetően terjedési sebességet szeretnék mérni, amely az első beérkezéshez tartozó időből, valamint a mérés elején bekért minta hosszából könnyedén kiszámolható (a „t dead” idők figyelembe vételével). Ez a számított sebesség megjelenik a kezelőfelületen is.

A 2. ábrán látható „Nyomás” értékeket a felhasználó tudja kitölteni a kezelőfelületen. A szoftverrel a valós idejű hullámkép megjelenítése után, az első beérkezések manuális kijelölését követően, az egyes nyomásértékek mellett mért nyomás-sebesség adatokat táblázatban lehet elmenteni. Az ehhez tartozó programrészlet a 3. ábrán látható. A „mért adatok mátrixának” első oszlopa fogja tartalmazni a nyomás értékeket, második oszlopa pedig a mért sebességeket. Ez a mátrix szolgáltatja a későbbiekben az inverziós MATLAB program bemenő adatait. A mátrixot a „Kimenő adatok mentése” gomb megnyomásával .txt formátumban lehet elmenteni.



3. ábra: A mérési adatok gyűjtésének programrészlete

4. A LABVIEW ALATT FUTÓ ADATFELDOLGOZÓ MATLAB ALGORITMUS

A mért sebesség adatok kiértékelésére geofizikai együttes inverziós módszer szolgál. Korábbi kutatásaim során olyan közetfizikai modellt fejlesztettem ki, melyek megadja a P és S hullámsebességek, valamint a közetnyomás közti kapcsolatot, így megteremti annak a lehetőségét, hogy a közet paramétereinek ismeretében a modellegyenletek segítségével tetszőleges nyomásnál meg tudjuk határozni a terjedési sebesség értékeket (a későbbiekben α : longitudinális, β : transzverzális sebesség) [5]. Mivel a modell különböző egyenletekkel írja le a fel- és leterhelési szakaszt, alkalmas az akusztikus hiszterézis vizsgálatára is. A geofizikai inverzió terminológiájával fogalmazva, ezek az egyenletek a direkt feladat megoldását jelentik. A közetfizikai modellben szereplő ismeretlen modellparaméterek, laboratóriumi mérési adatok alapján együttes inverziós eljárással határozhatóak meg. Mivel az adatrendszerek kismértékű zajt tartalmaztak és az inverz probléma jelentősen túlhatározott, a paraméterek meghatározására a legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztam [6]. Az együttes inverziós adatkiértékelő eljárást a mérő-adatgyűjtő szoftverbe MATLAB fejlesztői környezetben írt algoritmus formájában implementáltam. Modellparaméter vektorként P hullámra a $\{a_0, \Delta a_0, \lambda_V, \alpha_1, \Delta \alpha_1, \lambda'_V\}$, míg S

hullámra a $\{\beta_0, \Delta\beta_0, \lambda_v, \beta_1, \Delta\beta_1, \lambda'_v\}$ vektorokat, valamint elméleti összefüggésként (direkt feladat) az alábbi formulákat tekintettem

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha_0[1 - \exp(-\lambda_v\sigma)] \quad (1)$$

$$\beta = \beta_0 + \Delta\beta_0[1 - \exp(-\lambda_v\sigma)] \quad (2)$$

$$\alpha = \alpha_1 + \Delta\alpha_1[1 - \exp(-\lambda'_v\sigma)] \quad (3)$$

$$\beta = \beta_1 + \Delta\beta_1[1 - \exp(-\lambda'_v\sigma)], \quad (4)$$

ahol:

α_0, β_0	–	longitudinális/transzverzális sebesség nyomásmentes állapotban felterhelés esetén;
α_1, β_1	–	longitudinális/transzverzális sebesség nyomásmentes állapotban leterhelés esetén;
$\Delta\alpha_0, \Delta\beta_0$	–	longitudinális/transzverzális sebességese felterhelés esetén;
$\Delta\alpha_1, \Delta\beta_1$	–	longitudinális/transzverzális sebességese leterhelés esetén;
λ_v	–	kőzetfizikai paraméter a felterhelési szakaszon;
λ'_v	–	kőzetfizikai paraméter a leterhelési szakaszon;
σ	–	kőzetnyomás.

Ahogy már említettem, az inverziós program bemenő adatait a mérő-adatgyűjtő szoftver által, az egyes nyomásértékek mellett fel- és leterhelés során mért P/S hullámsebesség adatok szolgáltatják. Az adatfeldolgozás kimenő adatai pedig a becsült modellparaméterek, valamint az inverziós eljárás jóságát jellemző mennyiségek (RMS, átlagkorreláció) [6]. Emellett a szoftver az adatok minél gyorsabb értelmezése miatt a mért és számított adatokat grafikusán is megjeleníti.

5. A SZOFTVER TESZTELÉSE

A kifejlesztett szoftvert nyomásfokozó és akusztikus berendezéssel teszteltem. A közetmintákon egytengelyű terhelést alkalmazva mértem a longitudinális és transzverzális terjedési sebességeket fel- és leterhelés során. A közetminták törési szilárdságai ismertek voltak, melyeket a mérések során nem közelítettem meg, hogy újabb repedéseket ne hozzak létre a közetmintákban. A cikkben egy kiválasztott közetmintán mért longitudinális sebesség adatok feldolgozását mutatom be. Az inverziós algoritmus bekéri a szoftverrel lementett nyomás-sebesség adatokat tartalmazó .txt fájlt a LabVIEW indításakor automatikusan megnyíló MATLAB Command Window-ban. Az együttes inverziós adatfeldolgozás során számított modellparaméter értékeket az 1. táblázat foglalja össze.

1. Táblázat: Az együttes inverziós adatfeldolgozás eredménye

Minta	Felterhelés			Leterhelés			RMS (%)	S (-)
	α_0 (km/s)	$\Delta\alpha_0$ (km/s)	λ_v (1/MPa)	α_1 (km/s)	$\Delta\alpha_1$ (km/s)	λ'_v (1/MPa)		
A	1,89	1,7	0,161	2,11	1,28	0,329	1,18	0,59

Az 1. táblázatban szereplő relatív adattérbeli távolságot (RMS) az alábbi egyenlet alapján számoltam az inverziós eljárás megbízhatóságának jellemzése érdekében

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left(\frac{d_k^{(m)} - d_k^{(sz)}}{d_k^{(sz)}} \right)^2} * 100 (\%), \quad (5)$$

ahol:

- $d_k^{(m)}$ – a k-adik nyomásérték mellett a fel- és leterhelési szakaszban mért longitudinális hullámsebesség
- $d_k^{(sz)}$ – a k-adik nyomásérték mellett a fel- és leterhelési szakaszban számított longitudinális hullámsebesség
- N – a mérési adatok száma.

Az átlagkorreláció (S) az alábbi formula alapján

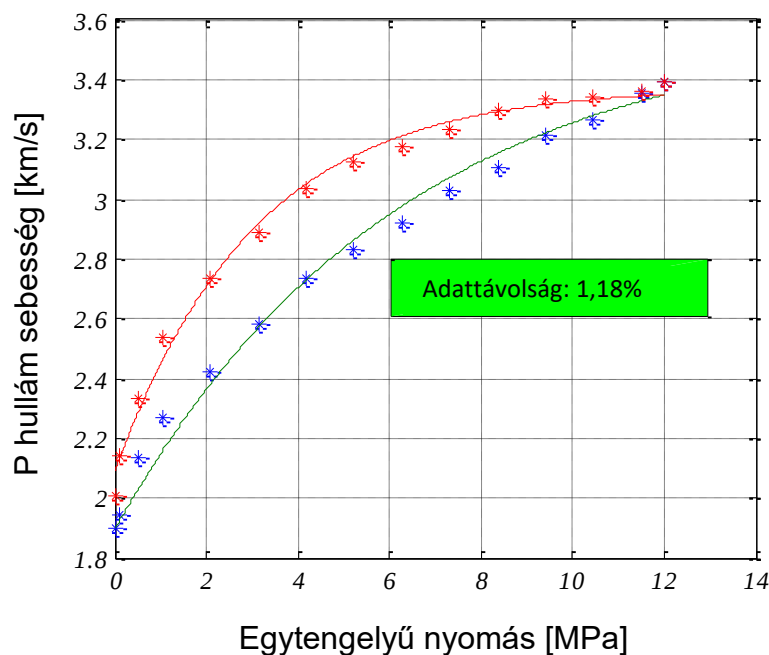
$$S = \sqrt{\frac{1}{M(M-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^M [\text{corr}(\vec{m})_{ij} - \delta_{ij}]^2}, \quad (6)$$

ahol:

- δ – a Kronecker-delta szimbólum ($i = j$ esetén 1, egyébként 0)
- $\text{corr}(m)$ – a korrelációs mátrix
- M – a modellparaméterek száma.

A cikkben példaként bemutatott mintára számított illeszkedési hiba 1% körüli, valamint az átlagkorreláció 0,6 alatti, amely szerint a modellparaméterek közepes korrelációs kapcsolatban vannak egymással. Az inverziós paraméterbecslés pontosságát a bemutatott eredmények alátámasztják.

A modellparaméterekkel fel- és leterhelés esetén is számíthatóvá válnak a sebesség-nyomás függvények (folytonos vonalak), melyek a mérési adatok mellett (szimbólumok) a 4. ábrán láthatóak. Ezáltal vizsgálható az akusztikus hiszterézis jelensége (zöld/kék: felterhelés, piros: leterhelés). A mérő-adatgyűjtő szoftver helyes működését, pontosságát a fel- és leterhelés során, a mért adatokra illeszkedő, a szakirodalommal összhangban lévő exponenciális függvények támasztják alá. Egyúttal megállapítható, hogy mivel a mért értékek jó egyezést mutatnak a számított adatokkal, az együttes inverziós MATLAB algoritmus megfelelően működik LabVIEW alatt.



4. ábra: A LabVIEW-ban mért és együttes inverziós eljárással becsült longitudinális hullámsebesség-nyomás értékek akusztikus hiszterézise

6. ÖSSZEFOGLALÁS

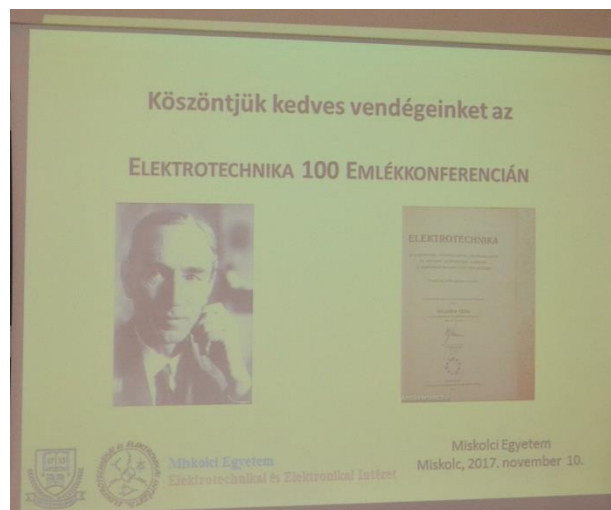
A cikkben bemutattam a kőzetmintákon P és S hullámsebességek nyomás alatt történő mérését lehetővé tevő, LabVIEW-ban fejlesztett szoftvert. Mivel a programmal a fel- és leterhelési szakaszban is mérhetünk, az akusztikus hiszterézis jelenségét is tanulmányozni lehet. A LabVIEW-ban mért sebesség-nyomás adatok lementése lehetővé teszi az adatok azonnali feldolgozását. A mért sebesség adatok kiértékelése geofizikai együttes inverziós módszerrel történt. A MATLAB fejlesztő környezetben írt inverziós algoritmus bemenő adatait az új szoftver segítségével az egyes nyomásértékek mellett, az első beérkezésnél mért P/S hullámsebesség-nyomás adatok szolgáltatják. Az adatfeldolgozó együttes inverziós eljárás direkt feladatát olyan közfizikai modellegyletek adják, amelyekkel megadható a kőzetnyomás és a longitudinális/transzverzális hullám terjedési sebességének kapcsolata mind a fel- és leterhelési szakasz esetén, ezáltal a modell sikeresen írja le az akusztikus hiszterézist is. A programírás során a legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztam. Az adatfeldolgozás kimenő adatai a becsült modellparaméterek, valamint az együttes inverziós eljárás jóságát jellemző mennyiségek. A szoftver az inverziós eljárással meghatározott modellparaméterek ismeretében, a közfizikai modell alapján számított és a mért adatokat a minél gyorsabb értelmezés miatt grafikusán is megjeleníti. Munkám során sikeresen teszteltem a mérő-adatgyűjtő és az inverziós szoftvereket.

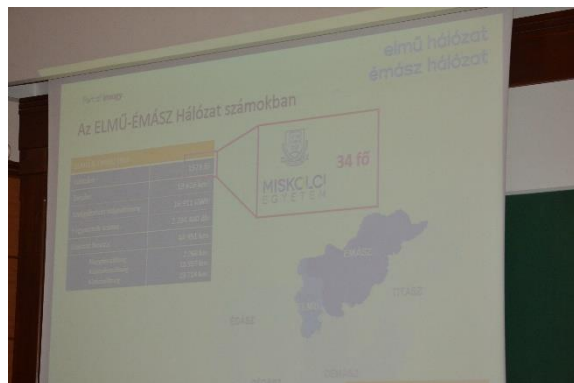
7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GOMEZ, C. T, DVORKIN, J., VANORIO, T.:** *Laboratory measurements of porosity, permeability, resistivity, and velocity on Fontainebleau sandstones.* GEOPHYSICS 75 E191-E204. 2010.
- [2] **WEPFER W. W., CHRISTENSEN, N. I.:** *A seismic velocity-confining pressure relation, with applications.* INTERNATIONAL JOURNAL OF ROCK MECHANICS AND MINING SCIENCES 28 pp. 451-456. 1991.

- [3] **RUDENKO, O. V., ROBSMAN, V. A.:** *Nonlinear process in media with an acoustic hysteresis and the problems of dynamic interaction between piles and earth foundation.* ACOUSTIC PHYSICS 50:(6) pp. 725-731. 2004.
- [4] **TOKSÖZ, M. N., JOHNSTON, D. H., TIMUR, A.:** *Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks: I. Laboratory measurements.* GEOPHYSICS 44:(4) pp. 681-690. 1979.
- [5] **DOBRÓKA, M., SOMOGYINÉ MOLNÁR, J., KISS, A.:** *Kőzetfeszültségek és hatásuk a hullámterjedés jellemzőire - nyomásfüggő kőzetfizikai modellek.* Milagrossa Kft., Miskolc, 2014.
- [6] **MENKE, W.:** *Geophysical data analysis – Discrete inverse theory.* Academic Press, Inc. London Ltd, 1984.

Elektrotechnika 100 Emlékkonferencia Képgaléria





Ipari partnereink kiállítása és a látogatók



Regisztráció és köszöntés



Szekcióülések



A fényképeket Kovács Anita készítette, akinek ezúton is köszönjük a munkáját!