



ELEKTROTECHNIKAI ÉS ELEKTRONIKAI SZEMINÁRIUM

2022

KONFERENCIA
ELŐADÁSAI

Miskolc, 2022. december 2.



Miskolc, 2022

ISBN 978-963-358-279-4

Kiadta:

Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar

Fizikai és Elektrotechnikai Intézet

Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék

Szerkesztette:

Dr. Pintér Judit Mária

tudományos főmunkatárs

Miskolci Egyetem

Szervező- és Tudományos Bizottság tagjai:

Dr. Bodnár István, Dr. Kozsely Gábor, Dr. Olajos Péter,

Dr. Pintér Judit Mária, Somogyiné Dr. Molnár Judit

ISBN 978-963-358-279-4

Miskolc, 2022

A kiadványban megjelenő publikációk lektoráltak!

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

A teljes felelősség a szerző(ke)t terheli!

ELŐSZÓ

A Miskolci Egyetem számos közleményt jelentet meg, amelyek évtizedek óta hozzájárulnak a tudományos élet fejlődéséhez. E fejlődéshez csatlakozva az Elektrotechnikai és Elektronikai Szeminárium 2022 című konferencia előadásából készült publikációk elektronikus kiadványa a villamosmérnöki tématerületen folytatott kutatómunkák legújabb közleményeit tartalmazza.

A szeminárium szervezőbizottsága fontos feladatának tekinti a villamosmérnökség különböző szakágain folyó tudományos publikációs tevékenységnek színvonalas publikálási lehetőséget biztosítani. A színvonalat a szervezőbizottság 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 megkapták, ezzel is elősegítve a minőségi publikáció megjelenését. A lektorálás alapos és szakmailag igényes elvégzése nem kis feladatot ró a felkért lektorokra, amiért ezúton is köszönetünket fejezzük ki valamennyi közreműködő lektornak.

A kiadvány – a 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 kiadvány 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.

Jelen kiadványban az Elektrotechnikai és Elektronikai Szeminárium 2022 című konferencia 2022. december 2-án elhangzott előadások írásos anyagai olvashatók, amely konferencia a Magyar Tudomány Ünnepe 2022. évi rendezvénysorozatának részeként került megszervezésre.

Kelt: Miskolc, 2022. december 2.

Szervező- és Tudományos Bizottság

TARTALOMJEGYZÉK

Balaton Ákos István, Somogyiné Molnár Judit:

Különböző erőművek környezeti hatásainak elemzése5

Bárány Bence, Pintér Judit Mária, Zajzon Norbert, Papp Richárd, Topa Boglárka:

Unexmin projektben fejlesztett víz alatti felderítő robot műszerezése.....18

Bárdos Krisztián, Erdősy Dániel:

SDR Rádióvevő Felhasználási Lehetőségei27

Bodnár István. Szabó Norbert:

Biomassza alapú kapcsolt villamosenergia-termelés33

Bodnár István, Boros Rafael Ruben, Matusz-Kalász Dávid, Olajos Péter, Szabó Norbert, Somogyiné Molnár Judit, Kozsely Gábor, Erdősy Dániel, Molnár Sándor, Jenyó Tamás, Pintér Judit:

Az Elektrotechnikai és Elektronikai Tanszék Villamos gépek és hajtások, alias LIE2 laboratóriumának felújítása.....42

Boros Rafael Ruben:

Szünetmentes aszinkron motor hajtás integrálása szigetüzemű inverterbe56

Hajdú Róbert, Dojcsák György, Somogyiné Molnár Judit:

Nyékládháza MÁV 132/25 kV-os vontatási alállomás korszerűsítése60

Jobbágy Marcell:

Dízel, CNG és elektromos buszok összehasonlítása.....73

Lipták Róbert:

Különböző típusú napelemes rendszerek összehasonlító vizsgálata műszaki és gazdasági oldalról82

Matusz-Kalász Dávid:

Hűtött napelemek laboratóriumi és szabadtéri vizsgálata98

Orosz Máté, Pintér Judit Mária:

Formula Student versenyautó biztonsági rendszerének fejlesztése104

Sipos Szilárd Zsolt:

Háromfázisú Aszinkronmotor Lágyindító Tervezése114

Somogyiné Molnár Judit, Szalánczi Dávid:

Napelemes rendszerek megtérülési idejének vizsgálata119

KÜLÖNBÖZŐ ERŐMŰVEK KÖRNYEZETI HATÁSAINAK ELEMZÉSE

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF DIFFERENT POWER PLANTS

BALATONI Ákos István¹, SOMOGYINÉ MOLNÁR Judit²,

¹ egyetemi hallgató, balatoni1994@gmail.com
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

² PhD, egyetemi docens, gfmj@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

Kivonat: *A tanulmányban az egyes erőműtípusok környezeti hatásait elemezzük. Vizsgáljuk az erőművek fajlagos anyagszükségletét és földhasználatát a teljes életciklusuk alatt termelt energiára vonatkoztatva, valamint a savasodási, globális felmelegedési, ózonlebontó potenciálokat és az édesvízi eutrofizációt is. Mivel Magyarországon a legjelentősebb ágazatok az atomenergia, a földgáz, a kőolaj, illetve szén alapú erőművek, ezek hatásait helyezük előtérbe. Emellett a megújuló energiaforrások közül a biomassza, geotermikus, szél-, víz- és naperőművek környezetre gyakorolt hatásait is elemezzük.*

Kulcsszavak: *erőművek, környezeti hatás, potenciál, LCA analízis*

Abstract: *In the study the environmental effects of several power plant are analysed. The specific material requirements and land use of power plants in relation to the energy produced during their entire life cycle, as well as acidification, global warming, ozone depletion potentials and freshwater eutrophication are investigated. Since the most significant sectors in Hungary are nuclear energy, natural gas, petroleum, and coal-based power plants, their effects are prioritized. In addition, among the renewable energy sources, the environmental effects of biomass, geothermal, wind, water and solar power plants are also analysed.*

Keywords: *power plants, environmental effect, potential, LCA analysis*

1. BEVEZETÉS

A Föld villamosenergia igénye egyre nő, ezért a folyamatos ellátás érdekében egyre több erőműre lesz szükség. Az energiatermelés jelenleg többségében fosszilis energiahordozókra alapul, melyek az üvegházhatású gázok kibocsátásának fő forrásai, így a fejlődés előrehaladásával, az energiaigény növekedésével párhuzamosan az üvegházhatású gázok kibocsátásának növekedése várható. Mivel a villamosenergia-termelés napjainkban még jellemzően magas környezeti kibocsátással jár, ezért az alternatív energiaforrásokon alapuló erőművek alkalmazása elkerülhetetlen a környezettudatosság szemléletének gyakorlati megvalósításában. A cél, hogy minél kevesebb környezetre gyakorolt negatív hatással lehessen elektromos áramot termelni, ezzel fenntarthatóbbá téve az energiatermelést és ellátást.

A különböző típusú erőművek különböző mértékben és módon terhelik a környezetet. Amennyiben a jövőben nem csökken a károsanyag-kibocsátásuk, a globális felmelegedés fokozódni fog, amely további környezeti problémákat okoz majd. Megnő a belvizek, árvizek gyakorisága és a talajerózió mértéke is. A hegyvidéki területeken a gleccserek visszahúzódnak, a hóval borított területek jelentős mértékben zsugorodnak és az élővilág széleskörű kipusztulása várható. Az időjárási ingadozások által eddig is érintett területeken gyakoribbak lesznek a szárazságok. Csökken a rendelkezésre álló víz mennyisége, ami kedvezőtlenül befolyásolja a vízenergia-termelést és visszaesést okoz a mezőgazdasági termelésben is. Ezért nagyon fontos

a különböző erőművek környezeti hatásainak elemzése, összehasonlítása, hogy a létesítendő erőművek közül, a környezet minimális terhelését előtérbe helyezve melyiket érdemes megépíteni egyúttal figyelembe véve a helyi adottságokat is. [1, 2, 3]

2. VILLAMOSENERGIA-MÉRLEG

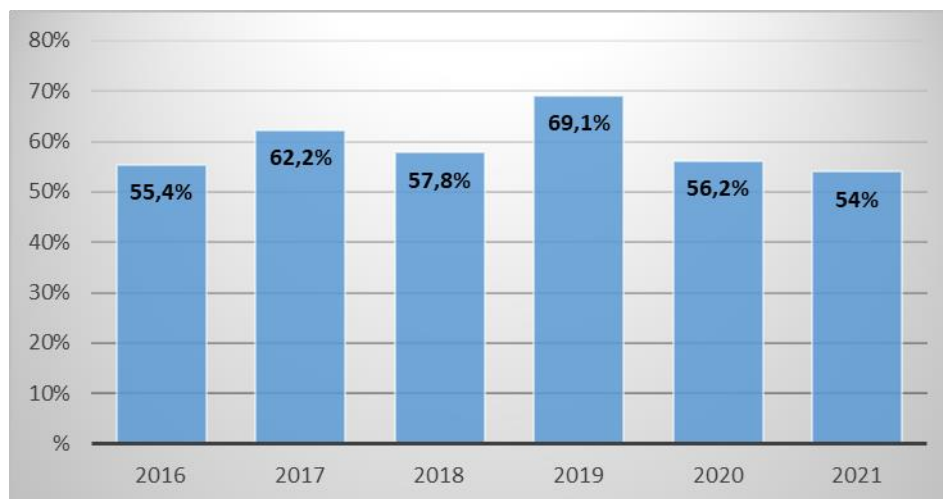
Magyarország éves villamosenergia-mérlegét az *1. táblázat* foglalja össze. Látható, hogy a bruttó termelés 2021-ben a MEKH adatai szerint 36.121 GWh volt és 19.967 GWh energiát importáltunk. [4]. A 2022. szeptemberig megadott adatok alapján az év háromnegyedében a bruttó termelés 27.124 GWh és 15.608 GWh energiát importáltunk. Az is megfigyelhető, hogy Magyarország villamosenergia fogyasztása évről évre növekszik. Ez a tendencia valószínűleg a következő években is folytatódni fog, így elkerülhetetlen lesz újabb erőművek építése, vagy az importált energia növelése.

1. táblázat: Magyarország éves villamosenergia-mérlege [4].

Megnevezés	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022. 1-9. hó
Bruttó termelés [GWh]	29403	30360	31902	32915	32067	34291	34930	36121	27124
Behozatal [GWh]	19079	19935	17951	19803	18613	19853	19176	19967	15608
Önfogyasztás [GWh]	2262	2210	2354	2187	2176	2154	2016	1972	1408
Hálózati veszteség [GWh]	3631	3695	3566	3456	3357	3292	3139	3052	2086
Kivitel [GWh]	5689	6249	5240	6925	4265	7269	7499	7213	6577
Belföldi felhasználás [GWh]	36900	38141	38693	40150	40882	41429	41452	43851	32661

A KSH adatai alapján az *1. ábra* mutatja Magyarország energiainport-függőségét 2016-2021 között [5]. 2021-ig 55% felett volt az energiainport-függőség, illetve 2019-ben megfigyelhető egy nagyobb ugrás, ahol 69,1% volt. Az azóta eltelt években folyamatosan csökkent ez a szám, 2021-ben már csak 54% volt az energiainport-függőség. Ez azonban drasztikusan megnőhet, ha megépülnek és üzembe helyezik a tervezett Paks 2 reaktorait, hiszen a reaktorokba szükséges uránt importálni kell.

Az energiainport elsősorban a csúcsfogyasztás idején történik, amikor az ország villamosenergia-rendszerében lévő erőművek kevesebbet termelnek, mint amekkora a fogyasztói igény. Mivel a többi ország energiaigénye is valószínűleg növekedni fog, számottevően az energiainportot nem lehet és nem is célszerű növelni. Magyarország energiafüggetlensége miatt inkább további erőművek építése lenne szükséges.



1. ábra: Magyarország energiaimport-függősége 2016 és 2021 között.

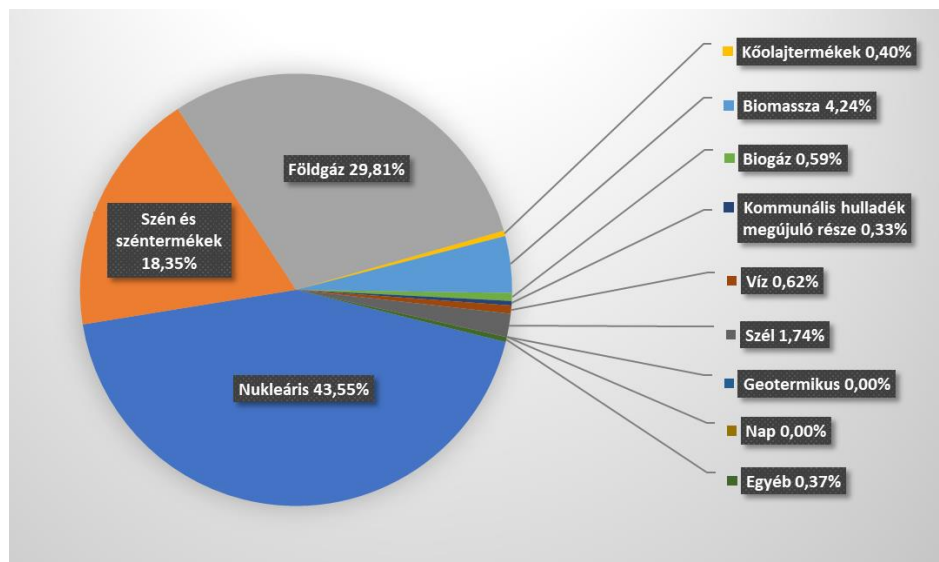
Az erőműveket energiaforrás szerint csoportosítva megkülönböztetünk nem megújuló és megújuló erőműveket. A nem megújuló energiaforrások korlátozottan találhatók meg a Földön, tehát kitermelésük egyre költségesebb és bonyolultabb, ezáltal egyre inkább terheli a környezetet. Ilyen nem megújuló, hagyományos energiaforrások a fosszilis energiaforrások, azaz a kőszén, földgáz, kőolaj, valamint a nukleáris energiaforrás az uránium. A megújuló energiaforrások nagy előnye, hogy folyamatosan rendelkezésre állnak, vagy újratermelődnek és működésük során kisebb a szén-dioxid kibocsátásuk. Azonban vannak hátrányaik is, hiszen az energiát nem minden esetben előre eltervezhető és szabályozható módon biztosítják, valamint hatékonyságuk nagyban függ a földrajzi adottságoktól is. Megújuló energiaforrások a biomassza, szél, víz, nap és a geotermikus energia. Magyarországon a megújuló energiát használó erőművek száma a háztartási méretű napelemekkel együtt meghaladja a 100.000-et, míg a víz, szél és biomassza erőművek száma 50-re tehető. Ezek a számok folyamatosan növekednek, de összteljesítményben még mindig elmaradnak az előbbieken felsorolt típusoktól. A jövőben ez feltehetően változni fog, mert előbb-utóbb a hagyományos erőművek üzemeltetése rendkívül költségessé fog válni. A megújuló energiaforrások nem igénylik az üzemeltetéshez szükséges üzemanyag importját, tehát nem kell egy másik országra támaszkodni, így Magyarország energiafüggetlensége növelhető.

3. MAGYAR ENERGIAMIX

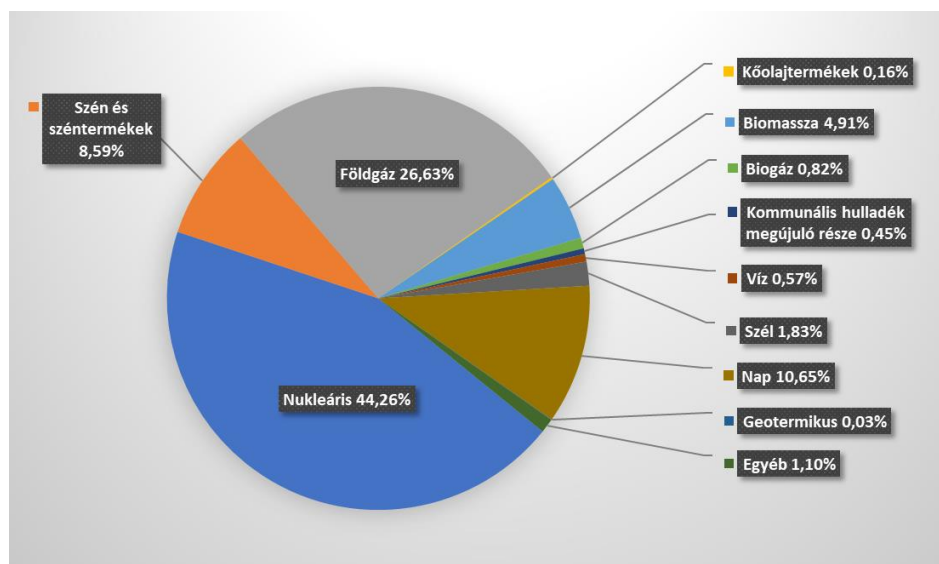
Az energiamix az energiatermelésben a különböző forrásokból származó termelt energiák összege. A KSH adatai alapján [6] a 2., valamint a 3. ábra Magyarország bruttó villamosenergia-termelésének megoszlását szemlélteti 2011-ben és 2021-ben, így megfigyelhető 10 év alatt hogyan változott az energiamix. Látható, hogy a nukleáris forrásból származó energia aránya kicsit nőtt és ez adja Magyarország energiatermelésének közel felét. Az atomenergia szerepe az országban a jövőben várhatóan még nagyobb lesz, hiszen a Paksi Atomerőművet várhatóan bővíteni fogják. A tervek szerint 2 db 1200 MW teljesítményű blokk fog épülni. Ezzel az ország jövőbeli energiaigényét nagy mértékben megoldaná, de az energiaimport-függés is nőne, hiszen a reaktorba szükséges uránt Oroszország szolgáltatná.

A 2. és 3. ábrán azt is megfigyelhetjük, hogy a kőolajtermékekből, biomasszából, biogázból, kommunális hulladékból, vízből és szélből származó energiaszelet nem változott jelentősen, valamint 2011-hez képest 2021-ben már üzemeltek geotermikus erőművek, de mindössze 12 GWh-val járultak hozzá az országos termeléshez, ami elenyésző. Jelentősebb változás történt a földgáz tekintetében. A földgázból termelt bruttó energia aránya 29,81%-ról 26,63%-ra

csökkent. A szén és széntermékek megoszlásában történt a legjelentősebb változás, a termelt energia aránya pedig 18,35%-ról 8,59%-ra csökkent. Mindkettő erőműtípus jelentősége csökkenni fog a tervek szerint, mert az Európai Unió klímaterve alapján 2030-ra növelni kell a megújuló energiaforrásból termelt energia részarányát 40%-ra. A legnagyobb fejlődés a napenergia ágazatban történt. 2011-ben a legkisebb energiatermelők közé tartozott, de 2021-re már a bruttó termelés több mint egy tizedét adta (10,65%). Ezzel megelőzi a szénforrású erőműveket is és összességében a harmadik legnagyobb energiatermelő ágazat lett Magyarországon.



2. ábra: Magyarország bruttó villamosenergia-termelésének megoszlása 2011-ben.



3. ábra: Magyarország bruttó villamosenergia-termelésének megoszlása 2021-ben.

4. ÉLETCIKLUS ELEMZÉS

A környezeti hatások vizsgálatának egyik módszere, az életciklus elemzés (Life Cycle Assessment, röviden LCA). Ez az egyik legátfogóbb és legrészletesebb módszer, ha erőművek vagy bármilyen más létesítmény teljeskörű környezetre való hatását szeretnénk meghatározni.

Az életciklus hatásvizsgálat célja, hogy megkeressük azokat a termékeket, technológiákat és szervezeteket, amelyek egy adott szükséglet kielégítésére alkalmasak és ezek közül egységnyi időtartam alatt a legkedvezőbb környezeti összehatást, azaz a lehető legkisebb környezetterhelést adják [7].

Az életciklus elemzésnek négy fő szakasza ismeretes. Az első szakaszban meghatározzuk, hogy mi az elemzés célja és tárgyköre. A második szakaszban leltárelemzést végzünk, megvizsgáljuk, hogy az alapvető fizikai törvényszerűségek, mint például az anyag és az energiamegmaradás törvénye érvényesül-e. A harmadik szakaszban történik a hatáselemzés. A leltáradatok alapján minden anyaghoz és energiaáramhoz hozzákötünk egy környezeti hatást, melyeket környezeti hatáskategóriákba sorolunk. Végezetül a negyedik szakaszban vannak maguk az LCA eredmények [1].

Az életciklus-elemzésre az elmúlt évtizedekben számos különböző módszert dolgoztak ki. A módszerek mindegyike a termékek, folyamatok környezeti hatásának mérésének megoldását tűzte ki célul. Végül a sokféle hatást egyetlen, dimenzió nélküli pontértékben fejezték ki. A környezetben lejátszódó átalakulások, kémiai folyamatok mind-mind leírhatóak matematikailag reakció kinetikai modellezéssel, így egy objektív eredményt kapunk a terhelésről, valamint az embert és környezetét érintő változásokról.

Az LCA elemzéshez elengedhetetlen ismerni, hogy az egyes erőműveknél milyen emissziók és potenciálok fordulhatnak elő. A legfontosabb emissziók és potenciálok:

- a globális felmelegedési potenciál (Global Warming Potential, GWP), amely megmutatja a különböző üvegházhatású gázok éghajlat-melegedést okozó mértékét. A számítás módja, hogy egy üvegházhatású gáz egy kg-jának 100 éves időszakra vonatkozó felmelegedési potenciálját viszonyítani kell egy kg szén-dioxid ugyanezen potenciáljához. Tehát az üvegházhatású gázok idő szerint integrált aránya a referens gáz (CO₂) 1 kg-jához viszonyítva. A különböző gázok jövőbeni hatását tudjuk ebből meghatározni, így tudni lehet előre, hogy mekkora mértékű lesz a hatás.
- a savasodási potenciál (Acidification Potential, AP), melyet csak regionális hatásként értelmezhetünk. A savasodásért főként a kén-oxidok, a nitrogén-oxidok és az ammónia a felelős. A savasodást kiváltó anyagok közvetlenül, vagy oldatként, a levegőből kimosódva gyakorolnak hatást az élővilágra és az infrastruktúrára egyaránt. A savasodási potenciál meghatározására a kén-dioxid egyenértéket használják. Ez megadja, hogy a kén-dioxidhoz viszonyítva milyen mértékű a hatása a különböző savasodást okozó anyagoknak, ha a kén-dioxid savasodási potenciálja 1-gyel egyenlő.
- az ózonlebontó potenciál (Ozone Depletion Potential, ODP) megadja, hogy a vizsgált anyag mekkora kárt okoz az ózonrétegben. Az ózonréteg legnagyobb károsítói a klórozott szénhidrogének, a dinitrogén-oxid, a szén-monoxid, a metán és a freonok egyes bomlástermékei. Az ózonlebontó potenciál megadja egy kémiai vegyület ózonbontó képességét a fluor-triklórmetánhoz (CFC-11) képest, amit egységnyinek tekintünk.
- az eutrofizáció (vízvirágzás) az a folyamat, amely során egy állóvíz a foszfor, nitrogén, nitrit tartalom megváltozása miatt elalgásodik, illetve a hínárok elszaporodnak. A folyók és tavak eutrofizációs szintjének leírásához megállapított kritikus érték a foszfátra 0,15 mg/l, míg a nitrátra 2,2 mg/l. Ilyen értékek mellett nem okoz gondot az eutrofizáció, de az ezt meghaladó értékeknél a szint csökkentésére van szükség [7].

5. ERŐMŰVEK KÖRNYEZETI HATÁSAI

Minden erőmű hatással van a környezetre életciklusuk, működésük alatt. Ezek a hatások legtöbbször negatívak az élővilágra nézve, de nem minden erőműtípus károsítja a környezetet ugyanolyan mértékben. A 2. táblázatban láthatjuk az egyes erőművek tüzelőanyag-felhasználását és szennyezőanyag-kibocsátását évi 6600 GWh villamosenergia termelés esetén,

tonnában. Megfigyelhetjük, hogy a lignit tüzelésű erőművek okozzák a legnagyobb terhelést a környezetre, mind fogyasztásban, mind kibocsátásban. Utánuk következnek a szénerőművek, majd az olaj- és földgáztüzelésű erőművek. A fosszilis erőművek nagy méretű és kiterjedésű létesítmények, amely azt eredményezi, hogy megépítésükhöz és karbantartásukhoz nagy anyagszükséglet kell, de emellett nagyobb területeket vesznek el a növények és állatok elől, ami ugyanúgy terheli a környezetet, hiszen kevesebb erdő kevesebb fotoszintézist jelent, így növelve az üvegházhatást. A fosszilis erőművek tehát nagyon nagy mértékben hozzájárulnak a globális felmelegedéshez és a légszennyezéshez, magas GWP-vel, AP-vel és ODP-vel rendelkeznek.

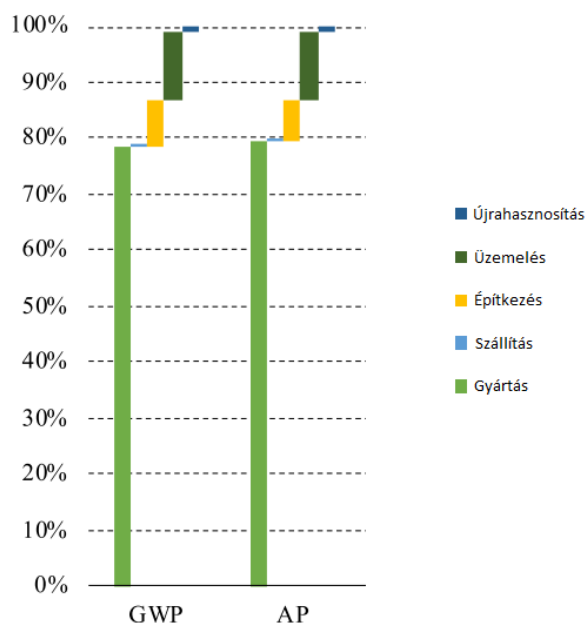
2. táblázat: Különböző erőművek tüzelőanyag-felhasználása és szennyezőanyag-kibocsátása évi 6600 GWh villamos energia termelése esetén, tonnában [8].

	Szénerőmű	Lignit-erőmű	Olajtüzelésű erőmű	Földgáz-tüzelésű erőmű	Atomerőmű
Tüzelőanyag-fogyasztás	2 000 000	7 600 000	1 289 768	920 000	21
Szén-dioxid-kibocsátás	5 200 000	6 600 000	4 496 314	2 200 000	0
Kén-dioxid-kibocsátás	3 800	4 300	3 134	1 200	0
Nitrogén-oxidok	3 800	4 300	3 134	3 500	0
Por	600	640	470	200	0
Hamu	150 000	950 000	2 000	0	0

A 2. táblázat alapján elmondható, hogy az atomerőművek, ellentétben a többi fosszilis erőművel nem bocsátanak ki a környezetre káros gázokat és a többi erőműnél jellemző port, illetve hamut. Ez azt jelenti, hogy sem a globális felmelegedéshez, sem savasesők kialakulásához nem járulnak hozzá. Az anyagfelhasználása is nagyságrendekkel kisebb, hiszen egy évnyi 6600 GWh-nyi termeléshez csak 21 tonnányi urániumra van szükség. Üzemszerű működés esetén a környezetet érő többletsugárzás elhanyagolható, mindössze tízezred része a természetes háttérsugárzásnak. A többi fosszilis erőműhöz hasonlóan ez is nagy földterületet foglal el és rengeteg nyersanyagot igényel a felépítése, amiknek előállításuk is gyakran szennyezi a környezetet. A termelésnek nagy vízszükséglete van [8]. Az ilyen erőművek fő problémáját a sugárzó anyag jelenti. Az uránt jellemzően messziről kell importálni és a tárolását is meg kell oldani. A már elhasznált uránium is sugároz és ezt is tárolni kell. Az atomenergia legnagyobb környezetkárosító hatása akkor lép fel, amikor üzemzavar vagy meghibásodás miatt a sugárzás kikerül a környezetbe. Ilyenkor nem csak az erőmű közvetlen környezetét éri sugárzás, hiszen a felhőkbe is bekerül, így több ezer kilométerrel messzebb szintén magasabb radioaktivitást okoz, illetve a folyókat, vizeket is beszennyezi. Emellett hosszú távú egészségkárosító hatása is van a sugárzásnak.

Ha a megújuló energiaforrásokat nézzük, akkor a pl. szélerőművek nem bocsátanak ki káros anyagokat a környezetbe. A fosszilis erőművekkel összevetve megállapítható, hogy lényeges szén-dioxid, kén-dioxid és nitrogén-oxid kibocsátás kerülhető el. A káros kibocsátások túlnyomó része – ahogyan a 4. ábrán is látható – a turbina elemeinek a legyártásakor keletkezik, ezt követi az üzemelési és az építkezési fázis. Hasonló arányban van (kb. 80%) az eutrofizáció és az ODP is a gyártási fázisban. Ennek oka a szükséges fém legyártásához szükséges anyagok

és áram felhasználása. Egy szélerőmű építése során a környezet csak minimális mértékben kerül átalakításra és nagyon kevés nyersanyagot igényel egy hagyományos erőműhöz képest.



4. ábra: Szélerőmű életciklusa alatti globális felmelegedési és savasodási potenciálja az életciklusok arányában [9].

A napelemes rendszerek szintén nem bocsátanak ki káros gázokat a levegőbe, így nincs globálisan hatásuk a környezetre. De helyileg még gondokat okozhatnak a nagy kiterjedésű napelemparkok, illetve a napelemek gyártása során is szennyeződik a környezet. A szélerőműveknél nagyobb területet foglal el egy napelempark, így élőhelyet, illetve művelhető területet vesz el. Ennél nagyobb probléma, hogy a szilícium bányászata közben egészségre káros SiO_2 por keletkezik. Emellett ahhoz, hogy a szilícium megfelelő állapotba kerüljön több folyamaton esik át, amik során CO_2 , SO_2 és SiO_2 keletkezik. Egyes helyeken salétromsavas maratást alkalmaznak, amihez NO_x -et és nitrátot használnak. Tehát a gyártási folyamat nem a legkörnyezetkímélőbb. Itt még a szélerőműnél is nagyobb arányú az életciklus alatti kibocsátás, körülbelül 95-99%. Azonban leszereléskor a szilícium nagy része újrahasznosítható [9].

A vízenergiának is vannak hátrányai. Akkor lehet igazán gazdaságos egy erőmű, ha előtte felduzzasztják a folyót. Ezért elárasztják a mögötte fekvő területeket, így csökkentve a megművelhető területeket. Ez sokszor már meglévő települések elárasztásával is jár [10]. Számos új tanulmány kimutatta, hogy az elárasztott növények és mezők üvegházhatású gázokat fejlesztenek. Ez az üzemelés első 10 évében történik, 2-3 év körül a legmagasabb [11]. A legtöbb környezetkárosító hatás a karbantartáshoz és az építéshez köthető. A gátakhoz nagy mennyiségű beton és egyéb alapanyag szükséges. Ezeket pedig oda is kell szállítani, ami még plusz kibocsátást jelent. Mindezek ellenére is zöld energiának tekinthető, még ha nem is olyan tiszta, mint a nap- vagy szélenergia.

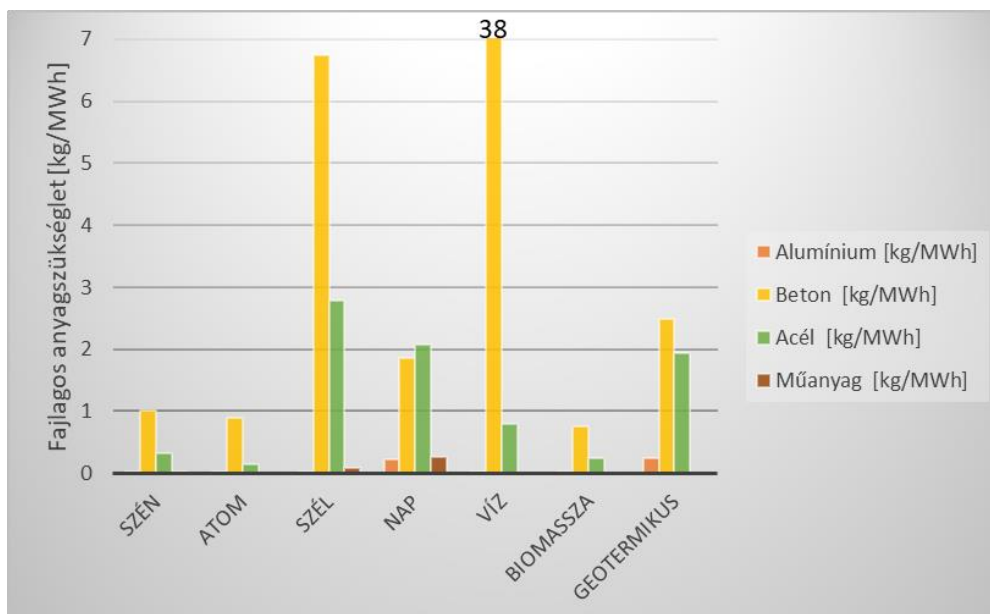
Bár a biomassza megújuló energiaforrás, azonban hozzájárul az üvegházhatáshoz. Ennek ellenére mégis kedvező kibocsátással bír, mert ugyanannyi szén-dioxidot bocsát ki energiatermelése során, mint amennyit a növény megkötött élete alatt, azonban erre pontos adat nem létezik. Sajnos nem lehet korlátlan mennyiségű fát egy adott időszakban kivágni és sok idő kell az erdészeti rekultivációhoz. A fa kitermelése vagy a hulladék keletkezése után még el is kell juttatni őket a biomassza erőműbe. Ez is növeli az ökológiai lábnyomot. Összességében elmondható, hogy a biomassza erőmű működése során is szén-dioxidot és egyéb káros gázokat

bocsát ki, csak sokkal kevésbé környezetszennyező, mint a szén vagy kőolaj erőművek működése [12].

A geotermikus energia kiaknázásának is vannak környezeti következményei. Az építésnek, felszámolásnak a korábbi erőművekkel megegyező hatásai vannak. A geotermikus energia esetében a már energiatermelésre felhasznált víz okozza a problémát. A meleg vízből keletkező vízgőz lokálisan megváltoztathatja az időjárást (több felhő képződik). Amennyiben a vízgőzt folyókba vagy forrásokba vezetik, az megváltoztatja a víz összetételét, amely jelentős hatással lehet a benne élő organizmusokra. Kémiai szennyeződés is fellép a gőzök hatására, amely a környező növény- és állatvilágot károsíthatja. A vízben található legjellemzőbb szennyezők a hidrogén-szulfid, higany, ólom, arzén, alumínium és ammónia. Sok geotermikus forrás sótartalma is igen magas. Tehát az üzemeltetés egyik legfontosabb része a víz visszatáplálása. Ez nem csak az élővilág szempontjából, hanem az energiatermelés fenntarthatóságának szempontjából is fontos. Amennyiben, nincs megfelelő visszatáplálás, lecsökken a vízszint, amely megakadályozza a további termelést. Mindemellett légszennyezést is okoznak a geotermikus gázok, mert szén-dioxidot és metánt tartalmaznak. Ennek ellenére a geotermikus erőművek működése során kevesebb a szén-dioxid kibocsátás, mint a fosszilis erőművel való energiatermelés esetén [13].

6. KÖRNYEZETI HATÁSOK ELEMZÉSE

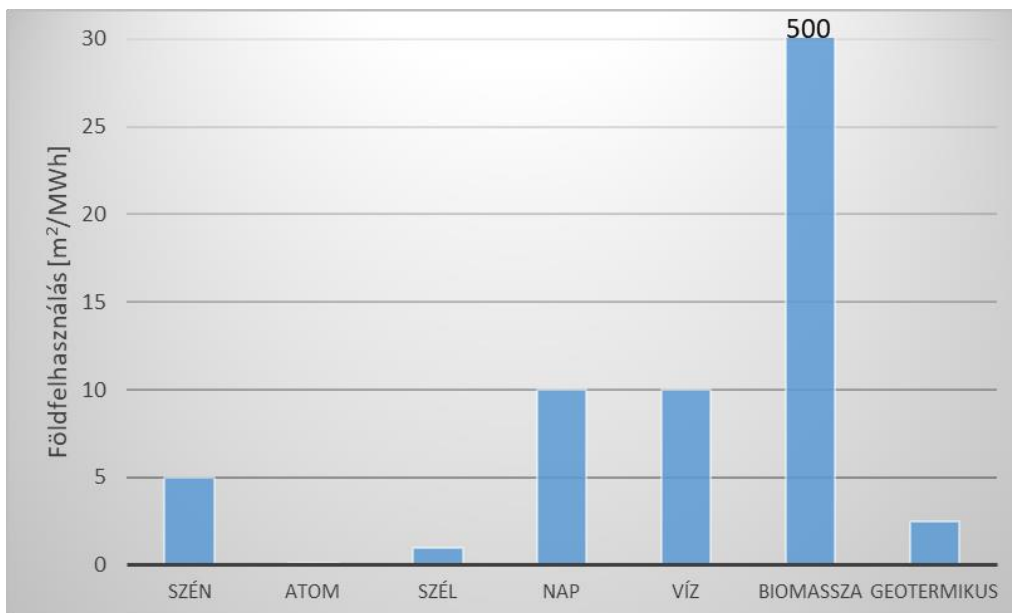
Ahhoz, hogy meg tudjuk határozni környezeti szempontból melyik energiatermelési technológia a legjobb, össze kell hasonlítani őket. Az elemzés során a szén-, atom-, szél-, nap-, víz-, biomassza és geotermikus erőműveket fogjuk összehasonlítani a teljes életciklusuk alapján a korábban ismertetett potenciálok segítségével. De először a [14, 15] cikkek adatait felhasználva az egyes erőművek megépítéséhez szükséges nyersanyagokat hasonlítjuk össze a termelt energia arányában. Az 5. ábrán látható az erőművek fajlagos anyagszükséglete a teljes életciklusuk alatt termelt energiára vonatkoztatva. Ez sokkal jobb képet ad, mint az abszolút felhasználás egy erőműre, mert egy nagy szénerőmű vagy atomerőmű sokkal több anyagot igényel, mint egy napelemes erőmű vagy szélerőmű, de sokkal több energiát is képesek termelni életciklusuk során.



5. ábra: Erőművek fajlagos anyagszükséglete a teljes életciklusuk alatt termelt energiára vonatkoztatva.

Látható, hogy a vízerőmű beton-, míg a szélerőmű acélfelhasználása kimagaslik és a naperőmű acélfelhasználása megelőzi a két fosszilis erőművet. Ez annak tudható be, hogy egy naperőmű energiatermelése az időjárási körülményekhez van kötve, amik nem mindig ideálisak, így a kihasználási tényezője alacsony. A geotermikus erőmű nagyjából egy szinten van a naperőművel. Ez alapján azt lehet mondani, hogy anyagfelhasználás arányában a hagyományos erőművek, míg a megújuló energiaforrások közül a biomassa a legjobb. A legtöbb anyagot a vízerőmű és ezt követően a szélerőmű használja fel. Ez azért fontos, mert az alapanyagok gyártása is környezetterhelő, illetve potenciálisan más területektől vehet el ritka nyersanyagokat.

Azonban, ha [16] adatai alapján a földfelhasználásban is összehasonlítjuk az erőműveket akkor a szél és a biomassa erőművek hatása teljesen megfordul, melyet a 6. ábrán láthatunk. A földterület felhasználásában a biomassa messze a legnagyobb, mert a fát, növényeket, amikkel üzemel nagy földterületen kell termesztani. Az atomerőművé a legkisebb, aztán a szélerőművé. Ez azt jelenti, hogy bár fajlagosan több nyersanyagot használ fel egy szélerőmű sokkal kevesebb földterületet igényel, mint a többi megújuló energia. Az eddig vizsgált két kategóriában összességében az atomerőmű teljesít a legjobban, ami nem meglepő, mert nagyon sok energiát tud szolgáltatni kis mennyiségű erőforrásból.

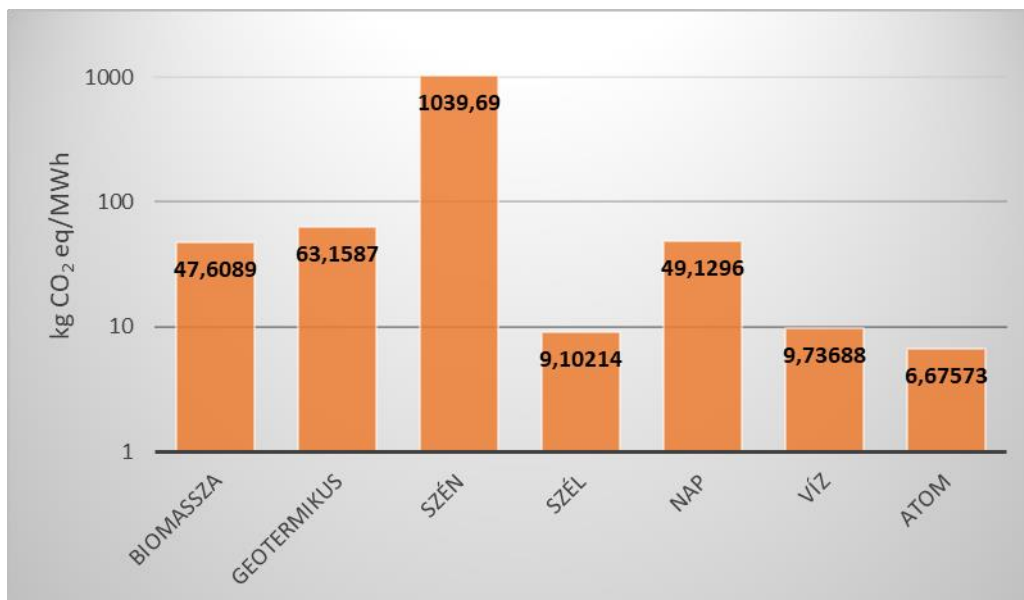


6. ábra: Erőművek fajlagos földhasználata a teljes életciklusuk alatt termelt energiára vonatkoztatva.

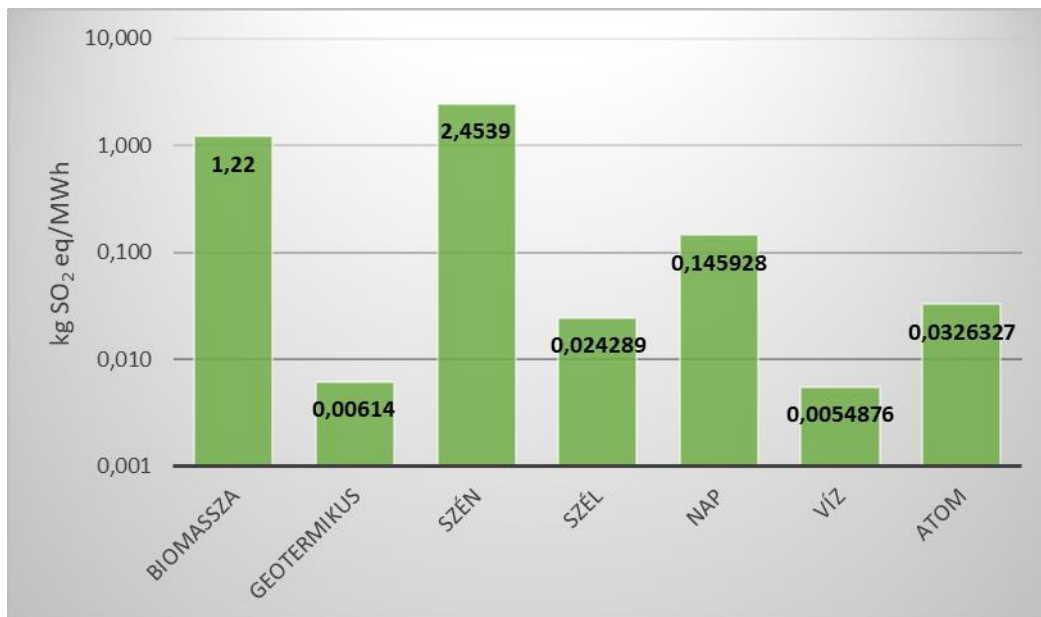
Környezetvédelmi szempontból talán a legfontosabb információ az egyes erőművekre vonatkozó különböző környezeti potenciálok összehasonlítása. Ugyanis ezek határozzák meg a legpontosabban, hogy az egyes erőművek működése milyen hatással van a környezetre. A potenciálok az openLCA segítségével kerületek meghatározásra ökológiai lábnyom LCIA metódussal. A 7-10. ábrákon láthatjuk rendre a savasodási, a globális felmelegedési és ózonlebontó potenciálokat, valamint az erőművek édesvízi eutrofizációját. Az ábrákból az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- a globális felmelegedési potenciált tekintve a szénerőmű a legnagyobb CO₂ kibocsátó. Az atomenergia potenciálja a legkisebb. A szél- és napenergia esetében várhatóan csökkenő tendencia lesz megfigyelhető, mivel számtalan leszerelésre kerülő alkatrész újrahasznosítható. A napelem magasabb potenciáljának oka a gyártási technológiában rejlik.

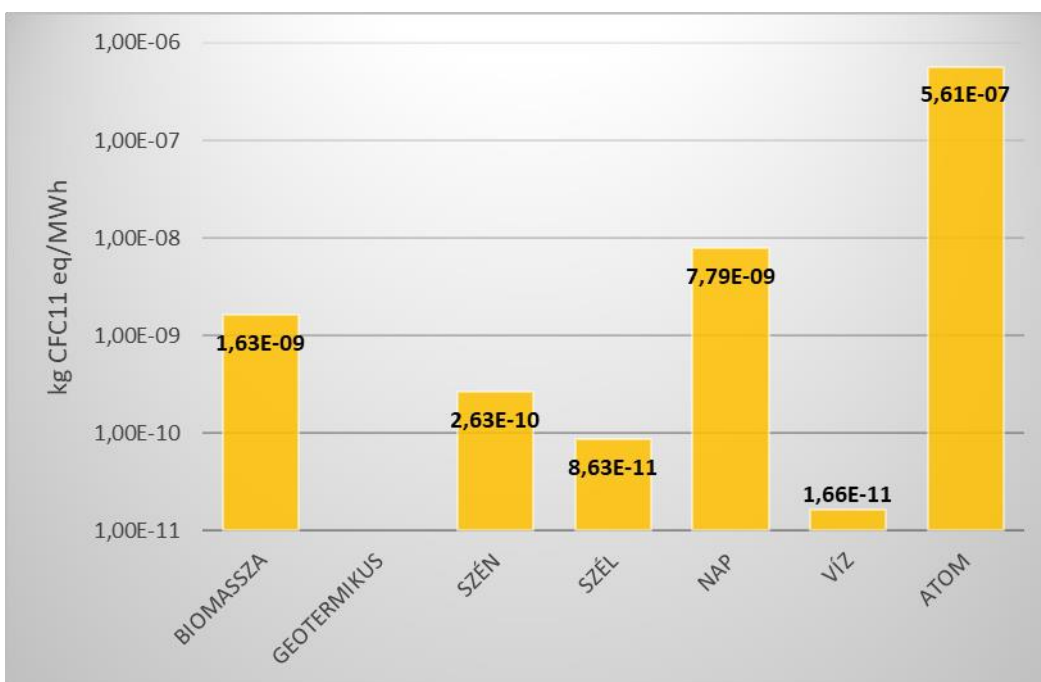
- a szén és biomassza erőművekhez viszonyítva a többi erőmű savasodási potenciálja sokkal kisebb. Ez főleg az égés következtében létrejövő anyagoknak köszönhető. A többi erőmű közepes értékének oka szintén a gyártási technológia.
- az ózonlebontó potenciál szempontjából az atomerőmű emelkedik ki, a nem fosszilis erőművek közül pedig a naperőmű, ezt követi a biomassza erőmű. Az ózonlebontó potenciálja a geotermián és vízenergián alapuló technológiáknak a legideálisabb. Meg kell jegyezni, hogy az elmúlt évtizedekben folyamatosan csökkent az ózonlebontó potenciál és mára elértük, hogy az ózonszint folyamatosan emelkedik, közelítve a természetes értékeket. Ez azt jelenti, hogy ez a potenciál jelen pillanatban már nem olyan jelentős, mint korábban.
- eutrofizáció esetében ismét a biomassza bizonyul több nagyságrenddel a legrosszabbnak, amely elsősorban az üzemanyagával magyarázható. A nagy földterületen történő energetikai célú növénytermesztést gyakran műtrágyával gyorsítják fel, ami nagy mértékben tartalmaz eutrofizációt elősegítő alkotóelemeket. A többi erőműtípus közül látható, hogy a geotermikus és a vízerőmű eutrofizációja nagyon alacsony. Tulajdonképpen eutrofizáció szempontjából a biomasszával működő erőműveken kívül az összes többi erőmű jónak mondható, még a hagyományos erőművek is.



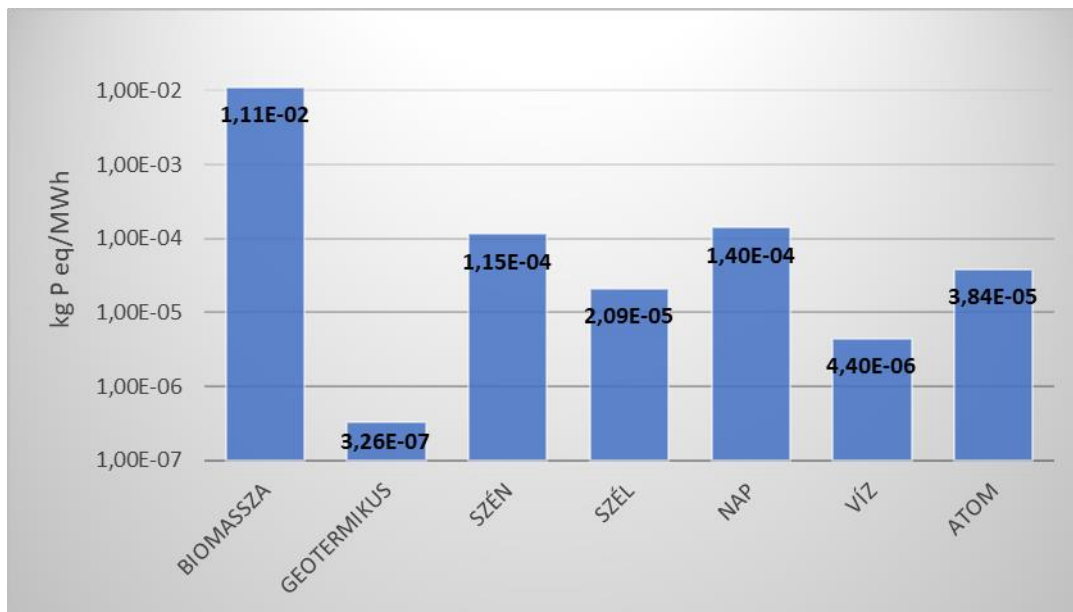
7. ábra: Erőművek globális felmelegedési potenciálja egy MWh-ra vonatkoztatva.



8. ábra: Erőművek savasodási potenciálja egy MWh-ra vonatkoztatva.



9. ábra: Erőművek ózonlebontó potenciálja egy MWh-ra vonatkoztatva.



10. ábra: Erőművek eutrofizációja egy MWh-ra vonatkoztatva.

7. KÖVETKEZTETÉSEK

Ha csak azt nézzük, hogy melyik erőmű teljesített a legtöbb kategóriában (anyagfelhasználás, földhasználat, GWP) a legjobban, akkor az atomerőművet kell kiemelni, azonban egy másik kategóriában (ODP) éppen a legrosszabb volt. Az alacsony környezeti hatásai mellett energetikai szempontból is kedvező, mert termelése szabályozható és folyamatosan képes teljes kapacitással üzemelni. A szénerőművek mindent figyelembe véve egyértelműen a legkárosabbak. Kizárólag atomerőművekre azonban nem szabad támaszkodni, mert akkor nagyon megnőne az urán szükséglet, melyet importálni is kell. A másik probléma, hogy meghibásodás esetén globálisan képes károsítani a természetet, lokálisan pedig akár évtizedekig vagy még tovább élethetlenné teszi azt. Ezért a legjobb megoldás az atomerőművek és többféle, az adott ország adottságaihoz leginkább igazodó megújuló energiaforrások együttes használata. Ez minél sikeresebben történik meg, annál kisebb teher éri a környezetet.

Láthattuk azt is, hogy a megújuló energiaforrások közül a savasodási potenciál esetében a biomassza és naperőmű, míg a globális felmelegedési potenciált tekintve a geotermikus, biomassza és naperőmű volt a legnagyobb kibocsátó. Viszont a geotermikus erőmű ózonlebontó potenciálja és eutrofizációja alacsony volt. Az is nyilvánvaló, hogy nem lehet egyféle megújuló erőműre alapozni, mert az időjárás változásából eredő termeléseszkökenést ellensúlyozni kell. Ha például keveset termelnek a napelemek, akkor a vízerőművek, biomassza erőművek termelését meg kell emelni. A megoldás tehát a technológiák egymáshoz igazítása és a jobb hatékonyság érdekében történő folyamatos fejlesztése.

Az elemzés alapján tehát elmondható, hogy jelenleg nincs olyan erőmű, ami abszolút mindenben a legjobb. Tehát a későbbiekben mérlegelni kell, hogy melyik kategória milyen jelentőséggel bír és az adott erőmű mennyivel marad el a többitől azokban a kategóriákban, ahol rosszabbul teljesít. Ezen felül figyelembe kell majd venni, hogy valójában mennyire lehet kihasználni az adott technológiát az adott országban.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BODNÁR, I.: *Villamosenergia-termelés környezeti hatásainak elemzése. Multidiszciplináris tudományok*, 11. kötet, 4. szám, pp. 382-394. 2021.
- [2] BODNÁR, I.: *Fás szárú biomasszák és települési szilárd hulladékok termikus hasznosítása*. Miskolci Egyetem, 2017.
- [3] KÖRMENDI, K. SOLYMOSI, J.: *A villamosenergia termelés környezetre gyakorolt hatása, a szén-dioxid kibocsátással nem járó villamosenergia termelés lehetőségei és korlátai*. Hadmérnök 4. évfolyam, 3. szám, pp. 111-127. 2009.
- [4] <http://mekh.hu/eves-adatok> (letöltés dátuma: 2022. november 12.)
- [5] <https://www.ksh.hu/sdg/3-35-sdg-7.html> (letöltés dátuma: 2022. november 12.)
- [6] https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0009.html (letöltés dátuma: 2022. november 12.)
- [7] TÓTHNÉ SZITA, K.: *Életciklus-elemzés, életciklus hatásértékelés*. Miskolci Egyetem, 2008.
- [8] <https://atomeromu.mvm.hu/hu-HU/FelelosVallalat/Kornyezetvedelem> (hozzáférés dátuma: 2022. november 12.)
- [9] GAO, C., ZHU, S., AN, N., NA, H., YOU, H., GAO, C.: *Comprehensive comparison of multiple renewable power generation methods: A combination analysis of life cycle assessment and ecological footprint*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 147, 111255, 2021.
- [10] <https://greendex.hu/vizenergia-hatasai klimaharc biodiverzitas/> (hozzáférés dátuma: 2022. november 12.)
- [11] LI, X., GUI, F., LI, Q.: *Can Hydropower Still Be Considered a Clean Energy Source? Compelling Evidence from a Middle-Sized Hydropower Station in China*. MDPI, Sustainability, Volume 11, 4261, pp. 1-13. 2019.
- [12] GYULAI, I.: *A biomassza-dilemma*. Magyar Természetvédők Szövetsége. 2006.
- [13] KRISTMANNSDOTTIR, H. ÁRMANNSSON, H.: *Environmental aspects of geothermal energy utilization*. Geothermics. Volume 32, pp. 451-461. 2003.
- [14] KORÉNYI, Z.: *Erőművek életciklus-elemzése a fajlagos anyagfelhasználás tükrében*. Scientia et Securitas, 2. évfolyam, 2. szám, pp. 146-154. 2021.
- [15] SULLIVAN, J.L., CLARK, C.E., HAN, J., WANG, M.: *Life-Cycle Analysis Results of Geothermal Systems in Comparison to Other Power Systems*. Argonne National Laboratory, pp. 1-72. 2010.
- [16] FRITSCHÉ, U. R., BERNDÉ, G. COWIE, A. L., DALE, V. H., KLINE, K. L., JOHNSON, F. X., HANS, L. SHARMA, N., WATSON, H., WOODS, J.: *Energy and Land Use*. International Renewable Energy Agency, pp. 1-60. 2017.

UNEXMIN PROJEKT BEN FEJLESZTETT VÍZ ALATTI FELDERÍTŐ ROBOT MŰSZERÉZÉSE

INSTRUMENTATION OF THE UNDERWATER RECONNAISSANCE ROBOT DEVELOPED IN THE UNEXMIN PROJECT

**BÁRÁNY Bence¹, PINTÉR Judit Mária², ZAJZON Norbert³, PAPP Richárd⁴,
TOPA Boglárka⁵**

¹Msc hallgató, qgebarbe@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-140

²Ph.D., tudományos főmunkatárs, judit.pinter@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

³Ph.D., Dr. habil, egyetemi docens, nzajzon@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Ásványtani-Földtani Intézet;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-060

⁴Ügyvezető igazgató, ricsei@unexmin-georobotics.com
Unexmin Georobotics Kft, 1092 Budapest, Ráday utca 5. 2/3, Tel/Fax: +36 30 842 66 68

⁵Tudományos segédmunkatárs, boglarka.topa@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Ásványtani-Földtani Intézet;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-111/18-05

Kivonat: Az UNEXIN és annak folytatása az UNEXUP projekt során egy több éves fejlesztés folyamán létrejött egy olyan robot platform, ami képes autonóm funkciókkal támogatva elárasztott bányákat és barlangokat felfedezni és azokban különböző kémiai és fizikai paramétereket mérni. A cikk ezekről a mérési módszerekről ad egy összefoglaló leírást. A tárgyalt eszközök fejlesztése szorosan a Miskolci Egyetemhez kötődik, azok mindegyike innen jutott el a koncepciótól a végleges fizikai megvalósításig, valamint ténylegesen a robotra való felszerelésig.

Kulcsszavak: robotika, UNEXMIN, beágyazott rendszerek.

Abstract: The UNEXIN project and its continuation UNEXUP have been developed over several years to create a robotic platform with autonomous functions capable of exploring flooded mines and caves and measuring various chemical and physical parameters. This article provides a summary description of these measurement methods. The development of the devices discussed is closely linked to the University of Miskolc, where all of them have progressed from concept to final physical realisation and actual mounting on the robot.

Keywords: robotics, UNEXMIN, embedded systems.

1. BEVEZETÉS

Az UNEXMIN egy 4 éves projekt volt, amit az Európai Unió támogatott, ennek pedig folytatása az UNEXUP. Célja az volt, hogy egy olyan robotot hozzanak létre, ami elárasztott bányákat és barlangokat legyen képes felfedezni és ott méréseket végezni 500 m mélységig.[1][2] Európa szerte rengeteg bezárt vagy elhagyott bánya található, amelyek egy része a víz alá került, így szinte lehetetlenné vált a felmérésük, hiszen ezek a területek a bűvárok számára biztonságosan nem bejárhatók. A robot méretei úgy lettek meghatározva, hogy a bányákban található komplex, szűk helyeken is könnyen navigálható legyen. Lehetőséget ad

ezzel arra, hogy bezárt bányákat biztonságosan és roncsolásmentes mérési módszerekkel felmérje, 3D vizualizációt és kamerás felvételeket készítsen a járatokról, majd pedig ez segítse a megbízókat, hogy fontos stratégiai döntéseket hozzanak. A projekt során 3 robot készült el, mindegyik különböző feladatok ellátására.[3] Habár a robotok felszereltsége nagyon sokrétű, ebben a cikkben a vízparaméter mérő egység (WPU), víz mintavevő egység (WSU) és az úgynevezett Flux-Gate Magnetométer (FGM) egységekről lesz szó. Ezen eszközök fejlesztése teljes mértékben a Miskolci Egyetemen történt.

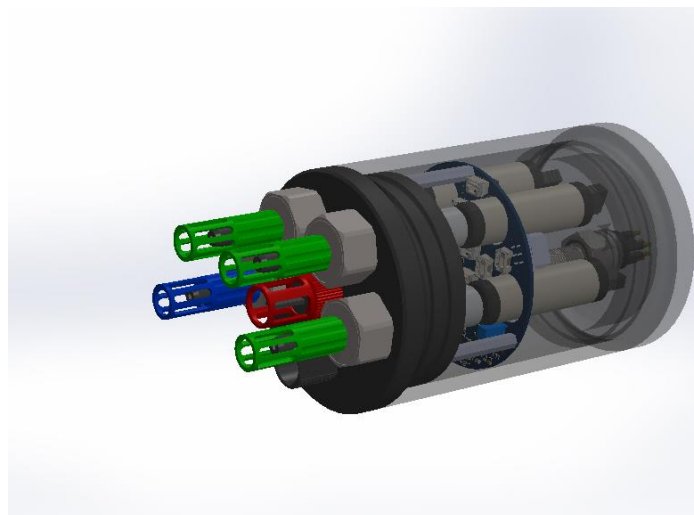
- A WPU az UNEXMIN projekt során alkalmazott eszköz továbbfejlesztett verziója. Képes a teljes pH skálát lefedő mérésre, vezetőképesség mérésre és hőmérsékletmérésre. A korábbi verziót fejlesztve felkerült egy oxigén fugacitás mérő is.
- A WSU körülbelül fél liter mennyiségű víz mintavételére alkalmas, amiből 3 db található a roboton.
- Az FGM egység pedig $-70 \mu\text{T}$ és $70 \mu\text{T}$ skálán képes mágneses fluxussűrűség mérésére.

Ezekon kívül tartozik még a műszerekhez egy gammasugárzás mérő szenzor és egy hiperspektrális kamera modul. Ezeket nem tárgyaljuk részletesebben, azonban fontos megemlíteni, mivel mindkettő szintén szorosan kapcsolódik az egyetem fejlesztéseéhez.

2. VÍZ PARAMÉTER MÉRŐ EGYSÉG (WPU)

Az egységhez 3 db pH szenzor, egy oxigén szenzor, illetve egy egyedi fejlesztésű vezetőképesség mérő szenzor tartozik. A 3 db pH szenzorra azért van szükség, hogy a pH skála teljes szélességén a lehető legnagyobb pontossággal folyamatosan változó nyomásérték mellett is képesek legyünk mérni, amit a kiválasztás pillanatában egyik gyártó sem tudott garantálni egy eszközben. Az egység egy alumínium hengerben kapott helyet, aminek mindkét vége két-két O-gyűrűs tömítéssel kerül lezárásra, majd pedig körülbelül $-0,6$ bar vákuumot hozunk létre a belsejében, hogy biztosan kibírja a tervezett 500 m mélységet.

A mérési és kommunikációs feladatokat egy STM32 alapú ARM mikrovezérlő végzi. Szükségünk van legalább 6 db dedikált UART perifériára. Ez igen soknak számít, emiatt egy drágább és nagyobb F446 típusú chipet kellett alkalmaznunk. A későbbi fejlesztések során azonban ez kifizetődött, mivel egy kisebb 32 lábú chip már valószínűleg nem rendelkezne elég bemenettel az összes mérés elvégzéséhez. Az eszköz RS485 segítségével kommunikál a robot számítógépével.



1. ábra: WPU egység

2.1. pH mérés

Az eszköz kiválasztáskor fontos volt a kis méret, vízállóság, alacsony fogyasztás, könnyű kezelhetőség és az élettartam. Ezek alapján került kiválasztásra egy optikai elven működő adatgyűjtő és szenzor páros. Az adatgyűjtő befoglaló méretei relatív kicsik, 17 mm átmérővel és 59 mm hosszal bír. 400 bar környezeti nyomást visel el és fogyasztása 10 mA, de alvó állapotban csupán 0,1 uA. A mérést optikai úton végzi, így kopó alkatrészsel vagy bármilyen cserélendő résszel nem rendelkezik, tehát élettartama is kiváló.



2. ábra: pH szenzor és mérőegység

Az eszköz 3 részre különíthető, amik az 2. ábrán láthatóak. A kép baloldalán található egy összekötő egység, ez biztosítja a szenzor és a mérőfej optikai kapcsolatát, illetve ezzel lehet vízhatlanul lezárni a mérőhengert, amiben a teljes WPU helyezkedik el. A mérőfej az ábra jobb oldalán látható. Kettejük között pedig a mérőegység, ami egy mikrovezérlő alapú digitális eszköz. Ez végzi a gyártó által szabványosított technológiával történő mérés digitalizálását, illetve a hőmérséklet kompenzációt. Mivel a robottal való felderítés során különböző hőmérsékletű vizekben végzünk mérést, ami a mélységgel változik is, így fontos, hogy a hőmérséklet okozta mérési hibákat kompenzáljuk, amit egy rákapcsolt PT100 szenzorral automatikusan elvégez.

Az eszköz UART protokollon keresztül kommunikál az interfész eszközökkel. Az eszköz használható a gyári asztali szoftverével, illetve egyedileg írt szoftverrel is, mivel a gyártó oldalán elérhető a parancsok és az arra kapott válaszok mélyreható kifejtése. A 3. ábrán a szenzortól kapott üzenetek láthatóak. A pirossal bekeretezett területen láthatóak a legfontosabb üzenetek. Az első és második sorban az eszköz verziójáról és azonosítójáról kapunk információkat. Ezek a mérés során nincsenek használva, viszont firmware frissítések után ellenőrizhető velük sikeres volt-e a folyamat. Harmadik sorban az RMR1 kezdetű üzenet egy mérést tartalmaz. Ebből van kiválogatva a számunkra hasznos információ. Ötödik helyen a PT100 által mért hőmérséklet, 6. helyen a mérőeszköz házán mért hőmérséklet olvasható. Elsővel a víz hőmérsékletéről, másodikkal pedig a hengerben lévő hőmérsékletről kapunk információt. Ezután a tizenkettedik helyen lévő adat a pontos pH érték 3 tizedesjegy pontossággal. A többi érték különböző warningokat, illetve működésbeli tulajdonságokat tartalmaz, mint például: nyomás, fényintenzitás, optikai mérés nyers eredménye, külső fény és hőmérő ellenállása.

```
RUERS 4 1 495 303 2 271
RINDR 2619655736888764041
RMRI 4 0 12 259 261 265 266 0 0 0 250000 50000 2500000 250000
RMRI 34 10 1 1
RMRI 30 0 24 1191182336 0 6 507 218 210800347 0 0 1 0 0 0 0 0 0 500 0 0 0 0 0
0 1
RMRI 0 0 14 -300000 -1 7500 1 7 6 4000 0 0 2 3088192 1 1 0
RMRI 31 0 3 10101 10101 60000101
RMRI 41 0 4 2 4 50 10
RMRI 30 0 24 1191182336 0 6 507 218 210800347 0 0 1 0 0 0 0 0 0 500 0 0 0 0 0
0 1
RMRI 0 0 14 -300000 -1 7500 1 7 6 4000 0 0 2 3088192 1 1 0
RMRI 1 0 19 50700 21800 20000 20000 1013000 0 817 106 4000 -70 953 0 0 0 0 0 -30
1 0 20950
RMRI 41 0 4 2 4 50 10
RMRI 31 0 3 10101 10101 60000101
RMRI 35 0 8 100 90 0 900 0 900 0 900
RMRI 20 0 8 0 16 200000 4700000 25000 4000000 0 0
RMRI 35 0 8 100 90 0 900 0 900 0 900
RMRI 35 0 8 100 90 0 900 0 900 0 900
RMRI 35 0 8 100 90 0 900 0 900 0 900
RMRI 4 0 12 259 261 265 266 0 0 0 250000 50000 2500000 250000
RMRI 34 0 10 1347084015 760164864 0 0 0 470786148 504224604 0 1000
RMRI 34 10 1 1
RMRI 4 0 12 259 261 265 266 0 0 0 250000 50000 2500000 250000
RMRI 34 0 10 1347084015 760164864 0 0 0 470786148 504224604 0 1000
RMRI 34 10 1 1
RMRI 4 0 12 259 261 265 266 0 0 0 250000 50000 2500000 250000
RMRI 34 0 10 1347084015 760164864 0 0 0 470786148 504224604 0 1000
RMRI 34 10 1 1
```

2. ábra: Szenzor és uart eszköz közötti kommunikáció

2.2. Oxigén mérés

Oldott oxigén mérésére is nagyon sok megoldás létezik. [4] Egyik ilyen például a Clark cella. Ez egy olyan cella, amiben Ag vagy AgCl és egy nemesfém félcella köré épül. Szükség van külső tápforrásra, hogy redukálni tudja az oxigént. Ennek a módszernek nagy hátránya a mérete és hogy lerakódás alakul ki az elektródákon, emellett bemelegedési ideje is van. Leginkább ezeket labori körülmények között használják.

Ennek egy feljavított változata a galván cella, aminek előnye, hogy nem igényel tápfeszültséget csak két különböző fém elektródát, így feszültség indukálódik közöttük. Azonban itt is történik fizikai elektródákra van szükség, amik idővel kopnak és veszítenek pontosságukból. [5]

A fentieket figyelembe véve arra jutottunk, hogy itt is egy optikai elven működő szenzort kell használni. Működési elve, hogy egy bizonyos hullámhosszon bocsájt ki fényt és a fluoreszkáló szenzor fejet méri. Mennyi ideig marad fenn a fluoreszencia és milyen fényerővel. Minél több az oxigén tartalom, annál kevesebb ideig marad fenn a fluoreszencia. Ez gyakorlatilag a pH szenzorral megegyezik, azzal a különbséggel, hogy más a kibocsájtott fény hullámhossza. Az 1. ábrán ahogy látszik is a szenzor méretben és megjelenésben is hasonlít a pH szenzorokra. A feldolgozás módja ugyanígy azonos.

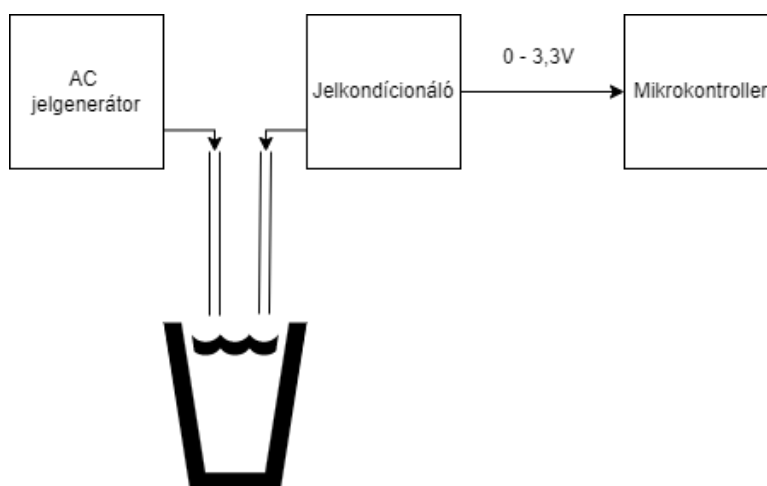
2.3. Vezetőképesség mérés

A víz vezetőképességének mérése egy egyedileg tervezett áramkörrel és elektródákkal történik. Folyadékokban a vezetést ionok végzik, amik több problémát vetnek fel. Elsődleges probléma, hogy egyenáramot kapcsolva az elektródákra az ionok elkezdenek az ellentétes polaritású elektróda felé vándorolni, ezzel pedig a mérés folyamán egy növekvő értéket olvashatunk le, ami nem lesz egy valós mérési eredmény. [6] Ez gyakorlatilag az elektrolízis folyamata. Másik probléma pedig, hogy az egyik elektróda elkezd korrodálódni, ezért idővel egy mérést befolyásoló réteg alakul ki rajta, a másik elektróda pedig a róla leváló ionok hatására idővel elvékonyodik, majd később elfogy. Ennek kiküszöbölésére a kapcsolás először előállít egy szinuszos váltakozó feszültségű jelet. Ez jut ki az elektródákra.



3. ábra: EC mérő elektróda

Az elektródák kialakítása a 4. ábrán látható. A nyomtatott áramkörön több különböző hosszúságú elektróda lett kialakítva, ez azt a célt szolgálja, hogy mérési tartományokat hozzunk létre. Minél nagyobb az elektróda hossza, annál pontosabb gyengén vezető környezetben.



4. ábra: EC mérő funkció blokkos ábrája

Az 5. ábra a kapcsolás funkció blokkjait mutatja be. Ahogy fentebb említette, először előállítunk egy szinuszos jelet, amit az elektródára juttatunk. Ezt (ha vezet a folyadék) valamilyen arányos értékben visszatudjuk mérni és bevezetjük egy jelkondicionálóba. Itt a szinuszos jelből csinálunk egyenfeszültségű jelet. Mivel STM32 mikrovezérlőt használunk, ezért 0-3,3V tartományban alakítunk át. Ezt pedig a mikrokontroller ADC áramkörével mérjük. A rendszert 4 ponton kalibráltuk. Desztillált- és csapvízzel, 1, 0,5 molos KCl oldattal. Ezek vezetőképességét először lemértük egy kalibrált mérőműszerrel, majd pedig a saját eszközünkkel és ezzel a kalibrációs görbével számolunk a szoftverben. A mérési eredmények az 1. táblázatban láthatóak.

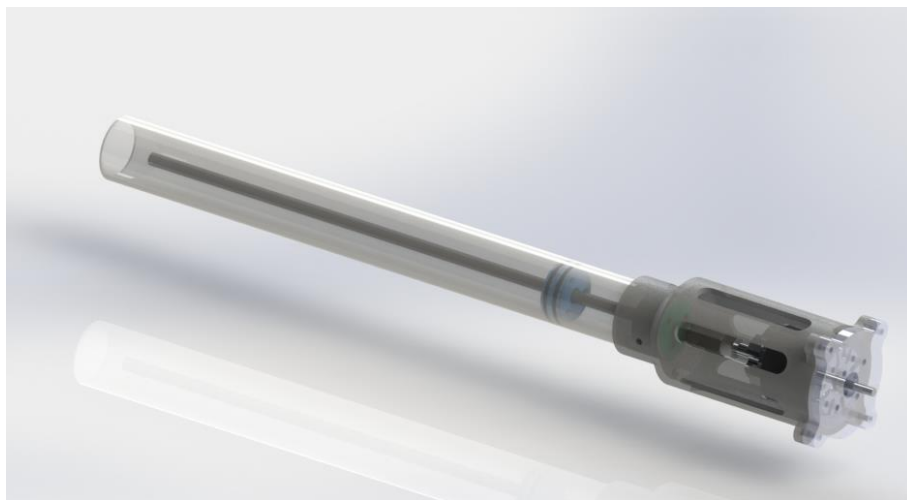
1. táblázat: Kalibrált és saját EC mérési eredmények

Oldat	Kalibrált eszközzel mérés	Jelkondicionáló utáni feszültség
Desztillált víz	$85 \frac{\mu S}{cm}$	450 mV
Csapvíz	$1,65 \frac{mS}{cm}$	500 mV
1 mol KCl oldat	$11 \frac{mS}{cm}$	2,1 V
0,5 mol KCl oldat	$65 \frac{mS}{cm}$	1,98 V
Telített oldat	N/A	2,6 V

A telített oldat esetében nem tudunk sajnos a kalibrált mérőeszkővel pontos értéket kapni, de a saját szenzorunk még így sem érte el a maximumát. Viszont az alacsony vezetőségű tartományban igen kis különbség van. Erre egy analóg multiplexer van bekötve az elektródák elé, amit a mikrokontroller tud váltani és ezzel oldottuk meg a mérés tartományok váltását. A jövőben a többi elektróda kalibrálása is megfog történni, de egyelőre csak egyet használunk.

3. VÍZ MINTAVEVŐ EGYSÉG (WSU)

A víz mintavétele olyan esetekben fontos, amikor a folyadéknak egy olyan paramétereire vagyunk kíváncsiak, amelyek mérésére a robot nem képes. Erre az esetre lett kifejlesztve ez az eszköz, ami körülbelül 1,5 dl víz mintázására és felszínre juttatására alkalmas. A mintavevő egység a 6. ábrán látható. Felépítése és működése egyszerű. Alapja egy szénkefe nélküli DC motor (BLDC), amit egy Elektromos sebesség vezérlő (ESC) áramkörön keresztül impulzus szélesség modulált (PWM) jel segítségével tudunk szabályozni, hogy megfelelő sebességgel és biztonsággal tudjuk hajtani a motort. A BLDC motor több indokból is kiválóan alkalmas a feladat ellátására. Mivel a motor közvetlen vízben kell dolgozzon és ez a típus teljesen szigetelt, ezért nem kell a tömítési problémákra figyelni, illetve a PWM adta egyszerű fordulat szabályozás a hangolhatóságot segíti. Közvetlen a motor tengelyéhez egy menetes szár van erősítve. Ennek forgása váltja ki a dugattyú mozgását a mintázó csőben. Habár az ábrán nincs rajta, de a cső vége tartalmaz még egy szűkítést és egy szűrést is, annak érdekében, hogy a nagy méretű szennyeződésekkel ne rontsuk el a minta minőségét. Megfigyelhető továbbá, hogy a cső mindkét vége nyitott, hiszen a motor mellett betud folyni a víz. Ezt a mintavétel során kitolja magából, azonban ezzel a módszerrel mindig ugyanannyi víz van a dugattyú két oldalán és sosincs sűrűség változás. A robot szemszögéből ez egy nagyon fontos dolog, hiszen a vízben neutrális kell maradjon mindig, különben elkezd önmagától süllyedni vagy épp elindulna a felszín irányába.

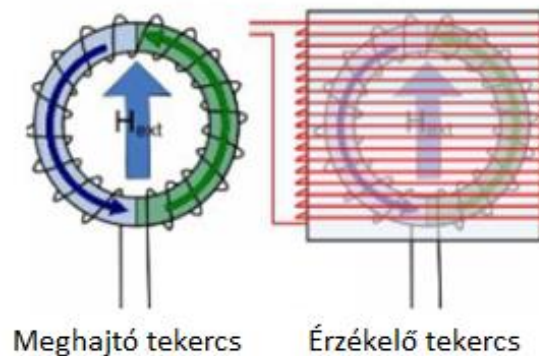


5. ábra: Mintavevő egység

Az ábrán nincs feltüntetve, de az eszköz felvan szerelve 2 db unipoláris HALL szenzorral, ami a dugattyú végállás kapcsolójaként funkcionál. Ezek hatására dönti el az eszköz, hogy mikor kell leállítsa a mintavételezés folyamatát. Emellett azonban, hogy többféleképpen védjük eszközünk egy szoftveres számláló is figyeli a mintavételezés idejét, ami időtúllépés esetén végállás jel beérkezése nélkül is képes kikapcsolni a motort.

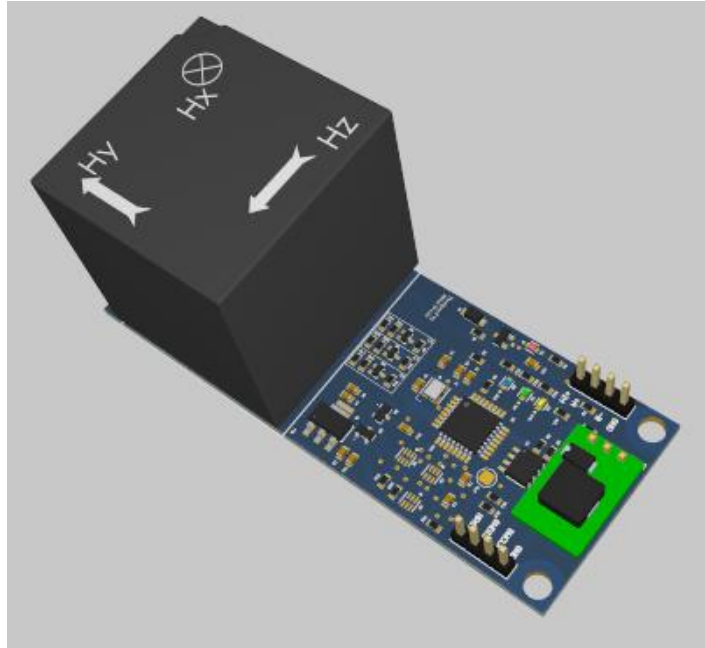
4. FLUX-GATE MAGNETOMÉTER EGYSÉG (FGM)

A mágneses tér mérésére nagyon sok módszer létezik. Hall-effektus szenzor vagy a SQUID szenzorok. Előbbi az alacsony érzékenysége, utóbbi pedig a működéséhez szükséges folyékony hélium miatt nem a legalkalmasabbak a roboton való használathoz. Habár a fentiekén kívül számos egyéb módszer létezik a nagy érzékenysége, széles mérési tartománya és könnyű használata miatt a flux-gate magnetométerre esett a választásunk. Pontosságát az adja, hogy a többi eszközzel ellentétben közvetlen valamilyen mágneses mennyiséget detektál, amit ezután frekvencia változás formájában mérhetünk. Kialakításában és működési elvében nagyon sok változata létezik, de végérvényben mindegyik ugyanarra az elvre vezethető vissza. Az alap eszköz egy mágeses anyagból készült magot tartalmaz, amire felvan tekerve egy detektáló tekercs. Mágneses tér hatására a mag permeabilitása megváltozik, ami fluxus változáshoz vezet. Ennek hatására pedig az n menetszámú detektáló tekercsen feszültség jelenik meg. Ez az eszköz működésének alapja. [7]



6. ábra: Flux-Gate magnetométer belső felépítése[8]

A 7. ábra ahogy mutatja 2 izolált tekercseléssel rendelkezik a valós eszköz. Egyik a meghajtó tekercselés. Amely rá van tekerve a mágneses magra, ami a térerősséget detektálja. Ahogy áthalad a magon a tér, a zöld és kék oldalban ellentétes polaritású feszültségváltozást idéz elő. Ezt az érzékelő tekercsen mérjük vissza, ami egy szinuszos jelet mutat a kimeneten keresztül. A gyártó által megadott 120-400 kHz-es sáv közel teljesen lineáris és emiatt könnyen konvertálható a $-70 - 70 \mu\text{T}$ tartományra. Egy ilyen eszköz ahogy az ábra mutatja egy tengely mérésére alkalmas. Mivel nekünk fontos volt, hogy mind a 3 tengelyt mérjük egyszerre, ezért ezt a gyártó egy tokozásba integrálta őket és így egy kompakt szenzort kapunk, amit fel lehet szerelni az áramkörre. A szenzor és a hozzá tartozó áramkör a 8. ábrán látható. A tekercsek epoxi gyantával vannak kiöntve és így alkalmas víz alatti mérésre is. A kapcsolás maga a WPU-tól eltérően nem alumínium házban lesz, hogy minél kevesebb zavar érje működés közben, hanem egy műanyag tokozást fog kapni, ami szintén fel lesz töltve epoxi gyantával.



7. ábra: Egyedileg tervezett kapcsolás

A kapcsolás központi egysége egy STM32L071 típusú mikrovezérlő. 3 számláló csatorna, egy ADC-csatorna és egy UART csatornára van szükség, így elegendő egy kevesebb (32) pinés integrált áramkör is. Az eszköz a WPU-val azonos buszon kommunikál a robot központi számítógépével.

5. ÖSSZEGZÉS

A cikkben bemutatuk az UNEXMIN és UNEXUP projekteket és azok keretein belül a Miskolci Egyetemen fejlesztett szenzorokat. A leírás jól szemlélteti, hogy a robot átfogó és komplex képet tud alkotni a felderítendő területről. Nem csak 3D térkép elkészítésére képes bányajáratokban, de képes azok vízparamétereit mérni, vízmintát venni későbbi laboratóriumi elemzés céljából. A vízén kívül mágneses tér mérésére és gamma sugárzás mérésre is alkalmas, amellyel akár elhagyott vasbányák vagy uránbányák állapotfelmérését is képes elvégezni. A hiperspektrális kamerával a járatok falairól készített képekből állapíthatjuk meg, hogy milyen ásványok vannak jelen. A jövőben szeretnénk mindegyik szenzorból szabadonálló verziót készíteni, amit akár hosszú távon is kihelyezhetünk egy bányában. Ebben az esetben új kihívásokat jelent az adatmentés és tárolási feladatok megoldása, illetve az energia menedzsment, hiszen jelenleg a programozásban egyáltalán nem volt érintve a teljesítmény minimalizálás, mert a robot fogyasztásához képest a rendszereink energiafelvétele teljesen elhanyagolható mennyiségű volt. [9] Ehhez új módon kell majd megközelíteni az energia menedzsmentet, ami a STM32 alapú mikrovezérlők esetében jól támogatott.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Külön köszönet az UNEXMIN és UNEXUP konzorcium résztvevőinek, akik együtt járultak hozzá a projekt fejlesztéséhez.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A. MARTINS *et al.*, *UX 1 system design - A robotic system for underwater mining exploration*, IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst., pp. 1494–1500, 2018, doi: 10.1109/IROS.2018.8593999.
- [2] <https://www.unexmin.eu/the-project/project-overview-2/>
- [3] K. MÁTÉ, L. K. MÁRTON, AND P. R. ZOLTÁN: *Az UNEXMIN projekt 2019- es valós körülmények közötti tesztjeinek bemutatása; Introducing the real-environment tests in 2019 of the UNEXMIN project,*” pp. 2–5, 2019.
- [4] W. J. HAMER, *Standards Cells Their Construction, Maintenance, and Characteristics;* 1965.
- [5] O. E. M. F. O. METER, *OEM Fiber-Optic Oxygen Meter OEM Fiber-Optic Oxygen Meter* pp. 1–34., 2021
- [6] S. VASUDEVAN, B. S. KANNAN, J. LAKSHMI, S. MOHANRAJ, AND G. SOZHAN, *Effects of alternating and direct current in electrocoagulation process on the removal of fluoride from water;* J. Chem. Technol. Biotechnol., vol. 86, no. 3, pp. 428–436, 2011, doi: 10.1002/jctb.2534.
- [7] R. SZEWCZYK-, B. FEINBERG, H. GOULD, AND -WU PEILIN, *The fluxgate magnetometer; Placed in a steady magnetic field, the flux density inside a permalloy-shielded volume decreases over hours and days REV I E W ART1 C b E,*” *J. Phys. E Sci. Instruments F Primdahl J. Phys. E Sci. Instrum. J. Phys. E Sci. Instrum*, vol. 12, no. 12, 1979. Available: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3735/12/4/001/pdf>
- [8] <https://www.imperial.ac.uk/space-and-atmospheric-physics/research/areas/space-magnetometer-laboratory/space-instrumentation-research/magnetometers/fluxgate-magnetometers/how-a-fluxgate-works/>
- [9] L. K. MÁRTON: *IoT eszköz energiafelvételének becslése (IoT devices power consumption estimate),*” *Vill. Tudományok*, vol. 1, pp. 163–166, 2018, [Online]. Available: <https://www.uni-miskolc.hu/~elkvmt/VMT-2018-1.pdf>

SDR RÁDIÓVEVŐ FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

APPLICATION EXAMPLES OF THE SDR RECEIVER

BÁRDOS Krisztián¹, ERDŐSY Dániel²

¹villamosmérnök BSc hallgató, bardosk99@gmail.com

²egyetemi tanársegéd, daniel.erdosy@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46/565-142

Kivonat: A tanulmány bemutatja, hogy mekkora potenciál lakozik egy USB-s adathordozó méretű rádióvevőben, és levezeti annak egy lehetséges felhasználását a műholdas technikákon keresztül. Napjaink rohamosan fejlődő világában egyre nagyobb szerepet kap a vezeték nélküli kommunikáció, ezért a rádióhullámmal működő eszközök területének a fejlesztése is nagy figyelmet kapott az utóbbi évtizedekben. Mára a számítástechnikai eszközök napjaink elengedhetetlen részét képezik, elegendő akár csak a zsebünkben lévő mobiltelefonunkra gondolnunk, de megemlíthetjük az újabb autók elektronikai rendszerét, vagy akár a saját laptopunkat is. Magától értetődő volt, hogy a rádióhullámú kommunikáció és jelfeldolgozás integrációja a számítástechnikába is előbb-utóbb egy megvalósítandó kérdés lesz, mely számos új, kiaknázható terület kínál.

Kulcsszavak: rádióhullám, rádiófrekvencia, műhold, űrtechnika, számítógép, infokommunikáció, versatilitás

Abstract: This study presents the potential of an USB-stick-sized radio receiver through the example of receiving satellite signals through the space. The importance of wireless communications is constantly gathering more and more emphasis; thus, the development of radiofrequency devices is getting more advanced time by time. It is obvious, that the IT devices are playing an essential part in our lives for today, mentioning the fact that we carry our mobile phones everywhere along with us, but we could also refer to the electronic system in newer cars, and so on. It is self-evident, that the integration of radiofrequency communications and signal processing into computer science sooner or later going to be a question to be solved, that will offer many more exploitable areas in this topic.

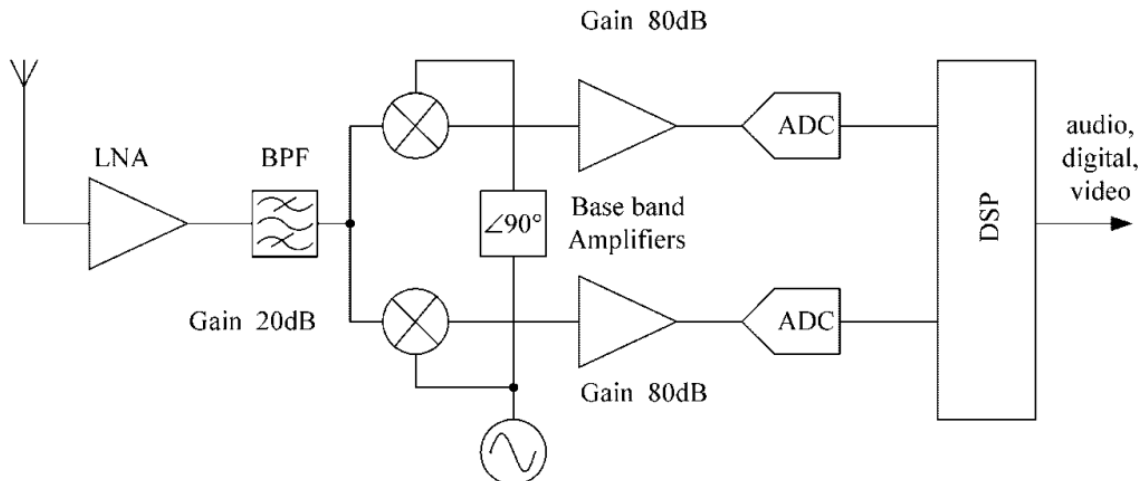
Keywords: radio wave, radiofrequency, satellite, space technology, computer, infocommunications, versatility

1. BEVEZETÉS

Eleinte csak korlátozott technikai feltételek voltak adottak napjaink technológiájához képest, bár a célok mindig is azonosak voltak. Olyan rádióvevőt építeni, mely könnyen és rugalmasan használható, hangolható, jó a szűrése, tiszta és zajmentes a vételezett jel, valamint megfelelően szelektív. Eleinte a detektoros rádiók terjedtek el, majd az egyre égetőbben jelentkező problémák kiküszöbölése és igények kielégítése végett született meg az elektroncsöves rádióvevő. Ennél a típusnál is idővel felmerültek a hiányosságok, és a fejlesztésre irányuló igények jelenléte miatt, valamint a technika fejlődésével alkották meg a félvezetős rádióvevőket, mely alapja az összes napjainkban használatos rádióvevőnek. [1] Ezen belül is további javításokra volt szükség, ám itt már nem magán a konkrét fizikai alkotóelemi alkatrészbázisra koncentráltak, hanem inkább a félvezetők sorrendjén, tulajdonságain és az ezek által alkotott áramkörökön végeztek módosításokat, fejlesztéseket. Idővel megjelent a számítástechnika, mely egyre inkább vált fontossá az élet minden területén, és végül így született meg az SDR, azaz a szoftver alapú rádió is. Munkánk célja feltárni az SDR felhasználási lehetőségeit, valamint kutatni a hétköznapi életben megtalálható használati tárgyakba való implementáció realitásait. Az eszközt Krisztián rádióállomásán vételi eszközeként használjuk abból a célból, hogy egy amerikai NASA időjárásműhold elhaladásakor, annak valós időben érkező jeleit vételezzük, dekódoljuk, és abból egy szürkeárnyalatos képet kapjunk az éppen a műhold alatt lévő felhözetről és felszínről. [2]

2. AZ SDR-RŐL RÖVIDEN

Az SDR alapjaiban egy homodin (szinkrodin, vagy Zéró-IF) rádióvevő. A szuperheterodin vevő speciális változata, mely a vételezett jelet annak vivőfrekvenciájával közel megegyező frekvenciával kever, így nem használ középfrekvenciát. Egyszerű működési elve végett könnyedén implementálható digitális áramkörökbe, vagy szoftveres kódokba. Ez fog alapul szolgálni minden modern digitális rádiós kommunikációnak, így az SDR-nek is. [3]



8. ábra: Homodin rádióvevő blokk-sémája.

Sokféle definíciója létezik az SDR-nek, ám általánosságban elmondható, hogy SDR-nek nevezzük azt a rádiófrekvenciás jelek vételezésére és azok digitális jellé alakítására képes eszközt, amely szoftveres technikákat használ ezek demodulálásához és feldolgozásához. Konkrét értelemben két részre osztható a rádió, egy front- és egy backend-re. Lényegében elnevezhetnénk ezt a felosztást hardveres és szoftveres részre is, hiszen a frontend-ben a hardver a domináns összetevő, mely a rádiófrekvenciás jelek vételezéséért és a konkrét frekvenciaválasztásért felelős, a backend feladata pedig ezeknek a digitálissá alakított jeleknek a szoftveres alapon történő mikroprocesszoros feldolgozása. [3]

3. AZ RTL-SDR BEMUTATÁSA ÉS PARAMÉTEREI

Az RTL-SDR egy kedvező ár-érték arányú, mely a tömegesen gyártott USB csatlakozással rendelkező DVB-T TV vevőkön alapul, mely a Realtek által gyártott RTL2832U integrált áramkörre épül. 2012-ben az Osmocom nevű fejlesztőcsapat jött rá arra, hogy ezek az IC-k rendelkeznek egy speciális beállítási funkcióval, melynek köszönhetően az eszköz – bizonyos keretek között – szabadon hangolhatóvá válik; így született meg a szélessávú RTL-SDR. [4]

Ez hatalmas teret nyitott az univerzális RF felhasználás területén, hiszen az eddig kereskedelmi forgalomban kapható SDR-ek árának töredékéért lehet egy alapszintű vevőhöz hozzájutni, mely már elég kifinomult ahhoz, hogy kielégítse az alapszintű felhasználói minőségbeli követelményeket. Egy RTL-SDR-el és egy kisebb méretű antennával is már szinte minden kommunikációt hallhatunk, mely 24 MHz és 1,8 GHz között sugároz, bepillantást enged az éterben folyó rádiófrekvenciás adatátvitelbe. [5]

Természetesen különböző gyártók különböző konstrukciói eltérhetnek egymástól, különbözhetnek az erősítési, szelektivitási tényezők, a jel-zaj viszony paraméterei, valamint a működési frekvenciatartomány. Ezek a tulajdonságok nagyban függenek az RTL IC előtti

hangoló IC-től. A legjobb tulajdonságokkal mindezek közül a Rafael Micro cég által gyártott R820T hangoló IC rendelkezik. Léteznek még az E4000-es és az FC-vel kezdődő típusok is, ám ezek képességei nagyban elmaradnak a Rafael Micro által gyártott integrált áramkörtől, valamint kevésbé elterjedtek. [6] Ezek a eszközök javarészt csak vételi üzemmódban képesek működni, ám akadnak olyan modellek is, melyek adásra is képesek, természetesen egy külső erősítő segítségével.

4. MŰHOLDAS JELEK VÉTELEZÉSE ÉS DEKÓDOLÁSA AZ SDR-REL – NOAA-18

A NOAA-18 elnevezésű műhold az amerikai National Oceanic and Atmospheric Administration időjárásstudományi ügynökség tulajdonában lévő időjárás kutatás célját szolgáló űreszköz. Poláris műhold, 102,12 perces ciklusidővel rendelkezik. 854 km magasan kering, 2005. május 20. óta, az eredetileg tervezett 2 éves szolgálati időtartamát immáron többszörösen túllépve. Nyolc fő rendszer üzemel a fedélzetén, többek között az AVHRR/3, melyre szakdolgozatom további része épül. Ez a berendezés állítja elő azt az APT jelet, melyet az SDR rádió segítségével vételezni, és dekódolni fogok, majd ezt megjeleníteni kép formátumban. Végeredményben a műhold elhaladásakor valós időben egy, az űrből 854 kilométer magasról pixelsoronként leküldött képet fogunk látni földrészünk jelenlegi állapotáról.



9. ábra: NOAA-18 műhold.

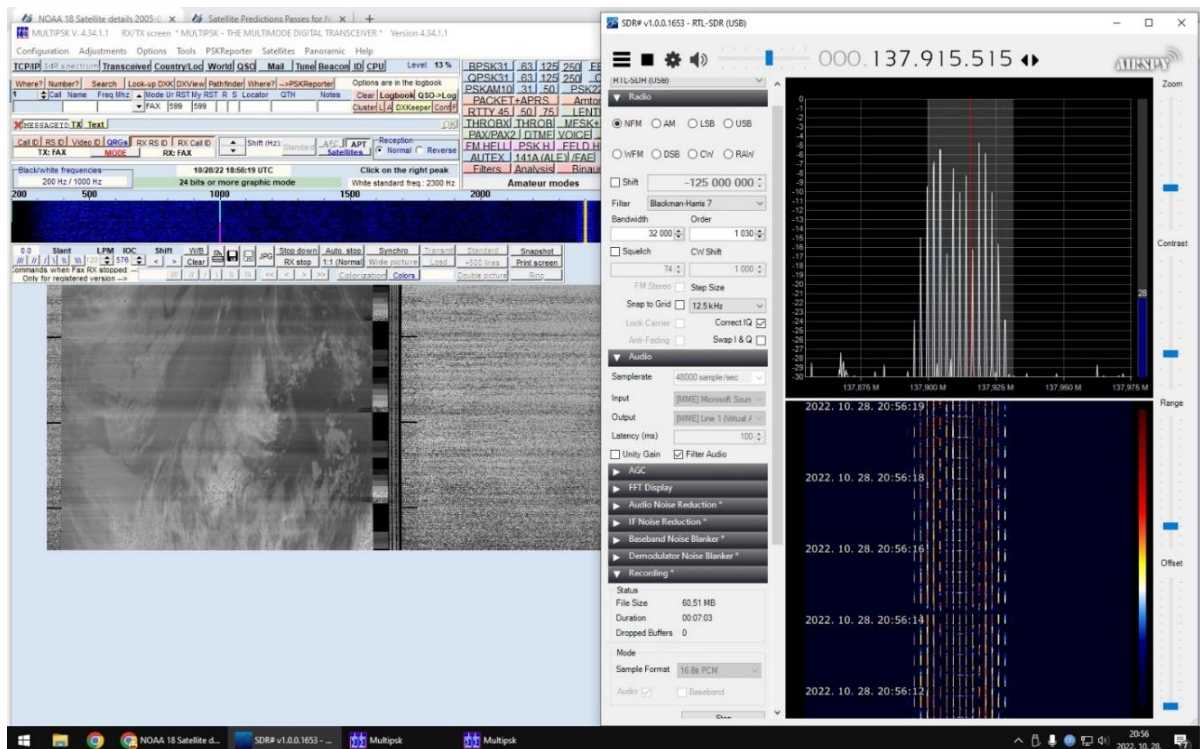
A műhold vételére használt antenna egy Diamond X50N típusú, függőleges félhullámú csőantenna, mely három ellensúllyal rendelkezik. Fajtája körsugárzó, mely nem kifejezetten a műholdas adások vételére lett kitalálva, de kiemelkedően jó vételi tulajdonságai miatt a környezet reflexiók adottságait kihasználva rendkívül jól vételezi a NOAA-18 műhold adását. Az antenna környezetében található még egy irányított 7 elemes UHF yagi és egy CB sáv os Penetrátor is, ám ezek nincsenek érdemleges hatással a vételi tulajdonságokra.

A NOAA-18, mint a legtöbb poláris műhold, előre meghatározható és meghatározott menetrenddel rendelkezik, mely alapján készülhetünk a vételi procedúrára, és időben összeállíthatjuk a szükséges felszereléseket. A 18-as NOAA egész pontosan 101,9 perces periódusidővel rendelkezik, ami azt jelenti, hogy a földet ennyi idő alatt kerüli meg. [7]

A vételi minőséget nagyban befolyásolják az időjárási körülmények, de nagy általánosságban elmondható, hogy naponta két olyan alkalom van, amikor a terjedési viszonyok alapján lehetőség adódik kiértékelhető jelek vételezésére. Ezek az alkalmak Magyarországi viszonylatban leginkább az esti órákat jelentik, jellemzően 20:00 és 23:30 között.

A NOAA-18 lejövő frekvenciája 137,9125 MHz. A programban ezt a frekvenciát kell megadnunk, ám a szoftveres vizualizáció lehetőségeit kihasználva az egérmutatóval pontosíthatjuk a vevőt. Célszerű keskeny FM (NFM) módot választanunk 32 kHz-s sávzélességgel.

A már előzőleg behangolt frekvenciáról érkező jelet egy virtuális audio csatlakozóval a MultiPSK nevű programba tápláljuk, ahol szükséges a FAX módon belül az APT módot kiválasztanunk. Ezután, ha minden beállítás megfelelő, akkor soronként érkező monokromatikus képet kell kapnunk. [8] [9] [10]



10. ábra: MULTIPSK és SDR# egyidejű futása (képernyőkép).

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A felhasznált APT technika alacsony felbontású képek továbbítására alkalmas, mely már az 1960-as években is hasonlóan funkcionált. Ennek értelmében nem kapunk a mai kor igényeinek megfelelő színes, nagyfelbontású HD képet a dekódolásban, ám a relatív egyszerűsége, rövid kifejtetősége és rendelkezésre állása miatt mutattuk be ezt a módszert a munkánkban.

A cikkben bemutatott és felhasznált elhaladást 2022.10.28-án rögzítettük 20:50 perctől. A műhold nyomvonala ekkor Ukrajna keleti szélét érintette és Moszkva felett haladt át, ám a kedvező légköri viszonyoknak köszönhetően az elhaladási intervallumban tapasztalható zavarások és jelromlások száma csekély volt, a jel-zaj viszony 30 dB érték közelében maradt. Korrigálás tekintetében csak frekvencia-utánállításra volt szükség a Doppler-effektus miatt. [9]

6. SDR HASZNÁLATÁNAK LEHETŐSÉGEI A MINDENNAPOKBAN

Az előzőekben látottak alapján elmondható, hogy egy ilyen volumenű felhasználást megvalósítani nem mindennapi feladat, infrastruktúrát igényel, mely plusz költségekkel jár, előkészületeket igényel, valamint szükség van hozzá egy gyors processzorral rendelkező

számítógépre, mely egy időben tudja futtatni az SDR-t, valamint képes a jelet dekódolni és a képet kirajzolni.

Léteznek ennél egyszerűbb és hasonlóan hasznos felhasználási módok is, például az RTL-SDR-hez külön megvásárolható saját mágnesfalpas antennával, és egy általános 433,920 MHz-s dekóder programmal lehetőségünk van a környezetünkben található, mások lakossági időjárásállomásainak jeleit begyűjteni, az értékekből átlagot vonni, és ebből egy közelítőlegesen tökéletes kültéri hőmérsékletértéket kapni. [11]

Szintén hasznos felhasználási példa, és akár egy jelentéktelen méretű antennával felszerelt RTL-SDR-el is kivitelezhető a modern autók TPMS (Tyre Pressure Monitoring System – keréknyomás figyelő rendszer) rádióhullámú távadók jeleinek figyelése és feldolgozása. Ez a technológia is túlnyomóan a 433,920 MHz frekvencia és közvetlen környezetében kommunikál többféle eltolással és kódolással.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] „Budapesti Műszaki Szakképzési Centrum, Puskás Tivadar Távközlési és Informatikai Technikum,” [Online]. Available: https://www.puskas.hu/r_tanfolyam/hullamterjedes.pdf. [Hozzáférés dátuma: 29 10 2022].
- [2] K. Anikó, „Műholdas kutatások az ELTE-n az ELTE TTK vevőállomása segítségével,” ELTE Department of Meteorology, [Online]. Available: https://nimbus.elte.hu/kutatas/sat/sat_noaa.html. [Hozzáférés dátuma: 13 10 2022].
- [3] W. Tuttlebee, *Software Defined Radio*, 2002, pp. 36-69.
- [4] „RTL-SDR Official Website,” [Online]. Available: <https://rtl-sdr.com>. [Hozzáférés dátuma: 27. 03. 2022].
- [5] A. M. M. E. H. S. C. M. L. M. M. W. K. T. A. A. A. Rahim Bagheri, „Software-Defined Radio Receiver: Dream to Reality,” *IEEE Communications Magazine*, pp. 111-118., 2006.
- [6] C. Laufer, *The Hobbyist’s Guide to the RTL-SDR*, 2014, pp. 13-47.
- [7] P. Tast, „APT Weather Satellite Reception,” Group for Earth Observation 2012 - 2022, [Online]. Available: <http://www.geo-web.org.uk/soft.php>. [Hozzáférés dátuma: 18 10 2022].
- [8] National Aeronautics and Space Administration, „NASA Space Science Coordinated Database - NOAA 18,” NASA, [Online]. Available: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2005-018A>. [Hozzáférés dátuma: 25 10 2022].
- [9] „N2YO.com, NOAA-18 satellite,” [Online]. Available: <https://www.n2yo.com/satellite/?s=28654>. [Hozzáférés dátuma: 01 11 2022].
- [10] K. Anikó, „Műholdas kutatások az ELTE-n - Az AVHRR-adatok feldolgozása,” (C) ELTE Department of Meteorology, [Online]. Available: https://nimbus.elte.hu/kutatas/sat/sat_avhrr_adatok_preproc.html. [Hozzáférés dátuma: 14 10 2022].
- [11] F. János, *Nagy sáv szélességű jelfeldolgozás kihívásai*, 2007, pp. 1-5.

- [12] „Electronic Notes: Receiver types,” © electronics-notes.com, [Online]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/radio-receivers/receiver-types.php>. [Hozzáférés dátuma: 03. 04. 2022.].
- [13] "F6CTE", „Ham Radio Software from F6CTE - MultiPSK 4.47 / Clock 1.11.11,” [Online]. Available: http://f6cte.free.fr/index_anglais.htm. [Hozzáférés dátuma: 5 11 2022].
- [14] M. N. Ali and S. Dr. Osama, Receiver Architectures, Berkeley: University of California, pp. 9-14.
- [15] D. M. László, Szerző, *Műholdas távérzékelés 3. fejezet - Poláris pályán keringő meteorológiai műholdak*. [Performance]. SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 2013.06.25..

BIOMASSZA ALAPÚ KAPCSOLT VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS

COMBINED HEAT AND POWER GENERATION OF BIOMASS

BODNÁR István¹, SZABÓ Norbert²

¹Ph.D., intézeti tanszékvezető egyetemi docens, vegybod@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

²mesteroktató , elkszabo@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

Kivonat: A tanulmány a fás szárú biomasszából történő kapcsolt villamosenergia-termelésről szól. A biomasszából kiemelkedő hatékonysággal kapcsoltan lehet energiát termelni, a nemzetközi szakirodalomból ezeket a technológiákat CHP (Combined Heat and Power) néven ismerjük. Egy ilyen energiatermelési feladatra leginkább elterjedt berendezés a kogenerációs egység, azaz a gázmotor-generátor szett, vagy nagyobb méretekben a gázturbina-generátor egység. A kapcsolt energiatermelés lényege, hogy egyetlen technikai körfolyamatban állítunk elő hasznos hőt és villamos energiát. Ha egyszerre, egyetlen folyamatban állítunk elő villamos- és hőenergiát, akkor csökkenthető az egységnyi termelt energiára vetített CO₂ kibocsátás és a felhasznált energiahordozók mennyisége, az energiák külön-külön történő termeléséhez képest.

Kulcsszavak: biomassza, energetikai hatékonyság, villamos hatásfok, kapcsolt villamosenergia-termelés

Abstract: This paper presents the electricity generation of wood biomass. One can efficiently generate energy out of biomass with Combined Heat and Power (CHP) technologies. For this task, a gas-engine set or a gas-turbine is the most popular method. With CHP generation one can produce useful heat and electricity in one technical cycle. If electricity and thermal energy are generated in one technical cycle, the carbon-dioxide emission per kWh energy and the source of energy used can be reduced.

Keywords: Biomass, Energy Efficiency, Electrical Efficiency, Combined Heat and Power

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi hónapokban tapasztalt energiaárak intenzív növekedése és az energetikai válság egyre sürgetőbbé teszi a hazai energiahordozók használatát. Ugyan érdemes említést tenni az erőművi tüzelésre alkalmas szén, illetve lignit hasznosításáról, hiszen ezen energiaforrások hazai energetikai potenciálja kiemelkedően magas, azonban azok kedvezőtlen környezeti hatásai nem segítik elő hasznosításukat.

A megújuló és megújítható biomassza, valamint tűzifa alapú energiatermelés a következő években újra előtérbe kerül az energiaéhség környezetbarát módon történő csökkentése érdekében. Ennek oka egyrészt a hagyományos, fosszilis alapú tüzelőanyagok viszonylag magas ára és mennyiségi korlátja, másrészt a környezettudatosság; valamint a fenntartható energiatermelés- és fogyasztás, mint alapelv megjelenésére vezethető vissza.

Kezdetben a biomasszát hőenergia előállítására alkalmazták, elsősorban vegyes- és fatüzelésű kazánokban, később megjelentek a speciálisan biomassza tüzelésre tervezett kazánok, legújabban pedig a faelgázosító kazánok, amelyek egyenletesebb hőleadásra képesek a hagyományos kazánokhoz képest.

A biomasszában rejlő lehetőségeknek köszönhetően megjelentek a biomasszából kapcsolt energiatermelést megvalósító erőművek, amelyeknek több típusa is ismert, de mind ez idáig kevésbé terjedtek el.

A hagyományos víz-gőz körfolyamaton alapuló Rankine-Clausius-körfolyamat mellett a belsőégésű motoros, Diesel-körfolyamat és a külsőégésű motoros, Stirling-körfolyamat egyaránt alkalmazható kapcsolt energiatermelésre, de eltérő hatékonysággal. Azt, hogy milyen technikai körfolyamatot célszerű alkalmazni, a tüzelőanyagként szolgáló biomassza energetikai-minőségi tulajdonságai határozzák meg.

A hatékony energiatermelés egyben hozzájárul a nemzeti környezetvédelmi célok eléréséhez is, ami első sorban a szén-dioxid kibocsátás csökkentését célozza meg. Magyarországon egy kWh villamos energia előállítása mintegy 330 gramm szén-dioxid kibocsátással jár. A Nemzeti Energiastratégia célkitűzései között szerepel, hogy a fajlagos szén-dioxid kibocsátást 2030-ra 200 grammra kell csökkenteni. Ez az irány cél csak akkor érhető el, ha növeljük a megújuló energiaforrások arányát az energiatermelésben, valamint energetikailag hatékonyabb technológiákat alkalmazunk a szilárd tüzelőanyagok hasznosítására [1].

Az elmúlt 10 évben a napelemes erőművek fejlődtek a legtöbbet, amely hazánkban a beépített naperőművi kapacitások exponenciális jellegű növekedését eredményezte. Jelenleg a legnagyobb beépített csúcsteljesítménnyel a napelemes erőművek rendelkeznek, amely mintegy 3.500 MW teljesítményt jelent.

Magyarországon a fa- és biomassza tüzelésű erőművek, a teljes villamosenergia-termelés kevesebb mint 3%-át, a széntüzelésűek a 10%-át teszik ki, ezért célszerű ezen erőművek környezetvédelem-központú fejlesztésében gondolkodni. Mivel a fás szárú biomassza megújuló energiaforrásnak minősül, amely energetikai hasznosítása a környezetre nézve szén-dioxid takarékos, így a kapcsolt villamosenergia-termelésben kiemelt szerepet kaphat.

2. A TŰZIFA, MINT MEGÚJÍTHATÓ ENERGIAFORRÁS

A fát, mint a természetben leggyakrabban előforduló energiahordozót, az emberiség a létezése óta használja. A világ favagyona megközelítőleg 300 milliárd köbméterre tehető. Ebből évente átlagosan 3–4 milliárd köbméter kerül kitermelésre, aminek az egyik fele ipari, a másik fele pedig kémiai (rostanyag) és energetikai (tüzelőanyag) hasznosításra kerül. A gőzgépek megjelenésével a fát elsőként ipari gépek hajtására, később a vasút fejlődésének köszönhetően, gőzmozdonyok működtetésére is fel tudták használni. Az Otto-motorok megjelenésével rohamos fejlődésnek indult az automobil-gyártás, így az 1900-as évek elején megjelent az olcsó és megbízható, első sorozatgyártott jármű, a Ford-T modell, amit ráadásul egy magyar mérnök, Galamb József tervezett. 1920-tól az autók relatíve alacsony árak miatt már közhasználatú járművek lettek, így egyre többen szokhattak hozzá ehhez a kényelmes közlekedési eszközhöz. Azonban a II. világháborúban bekövetkezett üzemanyaghiány miatt az autók üzemeltetése szinte lehetetlenné vált az addig üzemanyagul szolgáló benzin hiánya okán. Ebből adódóan egy olyan alternatív megoldást kellett kifejleszteni, amely rendszer könnyen alkalmazható a már meglévő automobilonra és benzin helyett olyan nyersanyagot hasznosít, amely mindenki számára elérhető: közönséges tűzifát vagy bányászott szenet [2]. A kutatások és fejlesztések megteremtették a tűzifa és a szén belső égésű motorokban történő hasznosításának lehetőségeit. Ez lényegében a fa, illetve a szén elgázosításán alapuló technológia volt, amely mai napig használnak, csak már nem járművek, hanem erőművek működtetésére [1, 3].

Magyarország területének közel 20%-át erdő fedi, Európát tekintve ez az arány 45%. Hazánk 1,9 millió hektár erdőterületének faállománya mintegy 330 millió m³-re tehető. Évente közel 11 millió m³ a fanövekmény (folyónövedék), ami átlagosan 30 éves megújulási ciklusidőt jelent. Az éves energiahozam 160 PJ. Erdőink nagyobb részét, körülbelül 86%-át lombhullató fák képezik, akác (több mint 50%), cser, tölgyek, bükk, gyertyán, fenyő és egyéb lombos fák [4]. Ennek megfelelően a hazai biomassza-potenciál 328 PJ-ra tehető, amiből jelenleg 49,2 PJ kerül hasznosításra, ez 15%-os hasznosítási arányt jelent [5].

Az energiatermelésre hasznosítható faanyag (energiafa) a kitermelt lombos fának a felét, a fenyőknek alig a 20%-át teszi ki. Az évente kitermelhető energiafa 4–4,5 millió m³-re becsülhető [5, 6]. A száraz fa fűtőértéke 17–20 MJ/kg között van. Ezen számok alapján a hazai erdők évi energiafa-potenciálja 56 PJ-re becsülhető. A fakitermeléskor körülbelül 20% apadék keletkezik, viszont ennek egy része faaprítékként még tüzelési célokra alkalmazható, a becsült évi értéke 6 PJ [2, 4].

A biomassza a benne rejlő lehetőségnek köszönhetően a terület- és a településfejlesztésben, valamint a kistérségek munkahely-teremtésében kiemelt szerepet játszhat, ami ez által szerves részét képezheti például a közmunkaprogramnak. A biomasszán alapuló fejlesztések lehetőséget adnak továbbá „falu fűtőművek” és villamos erőművek létesítésére, amik mellett, hogy zöldenergiát termelnek, még bevételi forrást is jelenthetnek a települések számára. Mindazonáltal nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy a biomassza egy olyan energiaforrás, amely folyamatosan megújulásra képes ugyan, de véges mennyiségben áll rendelkezésünkre, ezért hasznosítása csak korlátozott keretek között valósíthat meg. Ennek megfelelően a megújítható energiaforrás megnevezés a helytállóbb. Túlzott kiaknázása a környezet elhasználódásához vezet, ami azt jelenti, hogy a megújuló energiaforrások megújulási ciklusideje nagyobb, mint amilyen ütemben azt használjuk [7]. A környezet elhasználódásának iskolapéldája a Húsvét-sziget, ahol iparosodás nélkül is képes volt a társadalom a megújuló energiaforrásokat túlhasználni és ezzel a szigetet lakhatatlanná tenni [1, 2].

3. ENERGIAÁTALAKÍTÁS HATÉKONYSÁGÁT LEÍRÓ HAGYOMÁNYOS ÉS NEM KONVENCIONÁLIS MÉRŐSZÁMOK

Az energiaátalakítás hatékonyságának számítására számos hagyományos és nem konvencionális mérőszám ismert és alkalmazható. A leggyakrabban meghatározásra kerülő jelzőszámok megnevezését, jelét és mértékegységét az 1. táblázat tartalmazza [1].

1. táblázat: Energetikai hatékonyságot leíró mérőszámok.

Megnevezés	Jele	Mértékegysége
Reakció/ kémiai hatások	η_r	%
Égési hatások	η_e	%
Erőgéphatások villamos, termikus össz.	η_{egv} η_{egth} η_{eg}	%
Energiakonverziós hatások villamos termikus össz.	η_{ekv} η_{ekth} η_{ek}	%
Fajlagos energia-kihozatal	e_k	MJ/kg _{tüzelőanyag}
Fajlagos gáztermelés	k_{gt}	kg _{gáz} /kg _{tüzelőanyag}
Villamosenergia-sűrűségváltozás	Δe_v	%

A reakció-, vagy más néven a kémiai hatások megmutatja azt, hogy a szilárd tüzelőanyag energiataralmának mekkora része jelenik meg az előállított gáztermékben [2, 7]. Ezt a formulát írja le az (1.) képlet. Gázosítási technológia alkalmazásánál ezen érték maximalizálása a cél, míg hagyományos égetésnél a reakcióhatások minimumra szorítására törekszünk. E hatások

nagymértékben függ az alkalmazott gázosító közeg típusától, első sorban annak kémiai összetételétől. A reakció hatásfok ismeretében meghatározható az égetés tökéletességét jellemző paraméter. Számítási módszerét az (2.) képlet mutatja. Ezek alapján [1]:

$$\eta_r = \frac{\dot{m}_{gt} \cdot F_{gt}}{\dot{m}_{szt} \cdot F_{szt}}, \quad (1.)$$

$$\eta_e = 1 - \eta_r, \quad (2.)$$

ahol:

- η_r a reakció hatásfok,
- \dot{m}_{gt} a gáztermék tömegárama,
- F_{gt} a gáztermék fűtőértéke,
- \dot{m}_{szt} a szilárd tüzelőanyag tömegárama,
- F_{szt} a tüzelőanyag fűtőértéke.

Az erőgép hatásfoka megmutatja azt, hogy a gáz halmazállapotú tüzelőanyaggal bevitt hőenergia mekkora része alakul át hasznos energiává. A hasznos energia tovább osztható villamos- és hőenergiára [1, 2]. Az összefüggések sorra adódnak:

$$\eta_{eg} = \frac{P_v + P_{th}}{\dot{m}_{gt} \cdot F_{gt}}, \quad (3.)$$

$$\eta_{egv} = \frac{P_v}{\dot{m}_{gt} \cdot F_{gt}}, \quad (4.)$$

$$\eta_{egth} = \frac{P_{th}}{\dot{m}_{gt} \cdot F_{gt}}, \quad (5.)$$

$$\eta_{eg} = \eta_{egv} + \eta_{egth} \leq 1, \quad (6.)$$

ahol:

- η_{eg} az erőgép eredő nettó hatásfoka,
- P_v az erőgép által leadott nettó villamos teljesítmény,
- P_{th} az erőgép által leadott nettó termikus teljesítmény,
- η_{egv} az erőgép nettó villamos hatásfoka,
- η_{egth} az erőgép nettó termikus hatásfoka.

A fajlagos energia-kihozatal megmutatja azt, hogy egységnyi tömegű bemenő szilárd tüzelőanyagra vonatkozóan, mekkora energiamennyiség állítható elő. Felhasználásával közvetlenül számítható az eredő energiakonverziós hatásfok [1, 2, 7].

Az e_k fajlagos energia-kihozatal az alábbi összefüggéssel jellemezhető:

$$e_k = \frac{\dot{m}_{gt} \cdot F_{gt}}{\dot{m}_{szt}} = \eta_r \cdot F_{szt}. \quad (7.)$$

Energetikai szempontból gázosításnál van egy lényeges technológiai paraméter, mégpedig a fajlagos gáz-termelés, amely azt megmutatja meg, hogy egy kg tüzelőanyagból (a segédgázok figyelembevételével) hány kg gáztermék állítható elő [1, 2]. A k_{gt} fajlagos gáztermelés a

$$k_{gt} = \frac{\dot{m}_{gt}}{\dot{m}_{szt}} \quad (8.)$$

összefüggéssel írható fel.

Az energiakonverziós hatások megmutatja, hogy a szilárd tüzelőanyag energiatartalmának mekkora része hasznosult villamos- és hőenergia formájában [1, 2]. E jelzőszám mutatja meg, hogy 1 kg szilárd tüzelőanyag mekkora hatásokkal alakítható át energiává. Az energiakonverziós hatások felírható külön-külön a villamos- és a hőenergiára vonatkozóan is:

$$\eta_{ek} = \left(\frac{P_v + P_{th}}{\dot{m}_{szt} \cdot F_{szt}} = \eta_{é} \cdot \eta_{eg} \right)_{\text{égetés}} = \left(\frac{P_v + P_{th}}{\dot{m}_{szt} \cdot e_k} = \eta_r \cdot \eta_{eg} \right)_{\text{gázosítás}}, \quad (9.)$$

$$\eta_{ekv} = \frac{P_v}{\dot{m}_{szt} \cdot F_{szt}} = \eta_r \cdot \eta_{egv}, \quad (10.)$$

$$\eta_{ekth} = \frac{P_{th}}{\dot{m}_{szt} \cdot F_{szt}} = \eta_r \cdot \eta_{egth}, \quad (11.)$$

$$\eta_{ek} = \eta_{ekv} + \eta_{ekth} \leq \eta_{eg}, \quad (12.)$$

ahol:

- η_{ek} a nettó erdő energiakonverziós hatások,
- η_{ekv} a nettó villamosenergia-konverziós hatások,
- η_{ekth} a nettó termikusenergia-konverziós hatások.

A villamosenergia-sűrűségváltozás (Δe_v) megmutatja, hogyan változik a fajlagos villamosenergia-kihozatal az alternatív technikai körfolyamatnál a referencia technikai körfolyamathoz képest [1, 2], amely a

$$\Delta e_v = \frac{e_{k \text{ alternatív}} \cdot \eta_{egv \text{ alternatív}}}{e_{k \text{ referencia}} \cdot \eta_{egv \text{ referencia}}} \quad (13.)$$

összefüggéssel írható le.

4. FATÜZELÉSŰ ERŐMŰVEK VILLAMOS HATÉKONYSÁGA

A tűzifa energetikai célú hasznosítása alatt, szűkebb értelemben a tüzelés útján történő energiatermelést értjük. A fa energiatartalma az égési folyamat során reakcióhő formájában

szabadul fel, amit vagy közvetlenül fűtési igények kielégítésére alkalmazunk, vagy hőerőgépekben hasznosítva mechanikai-, végül villamos gépeken keresztül villamos energiává alakítunk. A folyamat hatékonyságát az energiaátalakítási lánc egyes elemeinek hatásfoka határozza meg. Hagyományos égetésnél Rankine-Clausius- körfolyamatot alkalmazunk, amelynek villamos hatásfoka jellemzően 25–45% körül alakul. A gyakorlatban a fa- és biomassza tüzelésű erőművek nettó villamos hatékonysága átlagosan 27–35%. Amennyiben hagyományos égetés helyett gázosítást alkalmazunk, az elérhető nettó villamos hatásfok 40–45% [4, 7, 8]. Ennek magyarázata a technikai körfolyamat váltásából ered, mert a gázosítási technológia lehetővé teszi, hogy a szilárd tüzelőanyagból gáz halmazállapotú energiahordozót állítsunk elő, ami ez által nagyobb hatékonysággal hasznosítható.

Az elemzéseink során jellegzetes hazai fafajták és egy energetikai céllal termesztett fafajta, az energiafűz gázosítási tulajdonságait vizsgáltuk. A fűtőértékeket és az átlagos kémiai összetételeket az 2. táblázat tartalmazza tömegszázalékban kifejezve, a száraz bázisra vonatkoztatva. A nedvességtartalom minden fafajta esetében egységesen 20%.

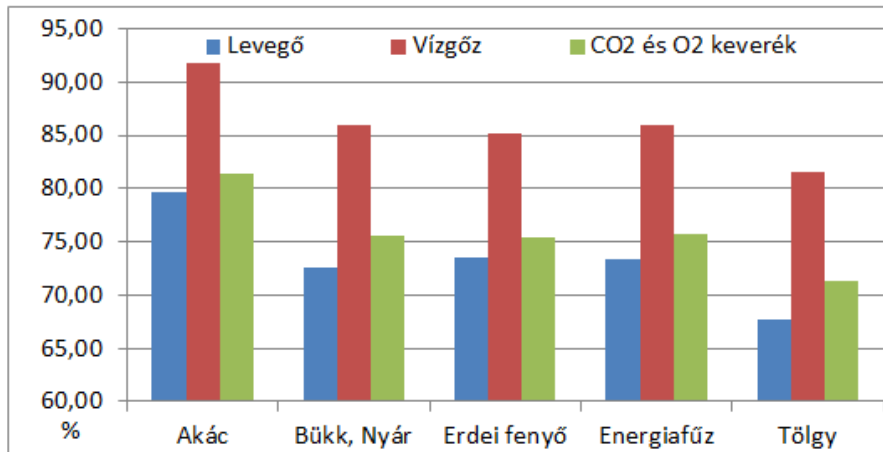
2. táblázat: A vizsgált fafajták kémiai összetétele és fűtőértéke.

Fafajta	Kémiai összetétel [tömeg %/száraz bázis]					Fűtőérték [MJ/kg]
	C	H	O	N	Hamu	
Akác	49,5	5,9	43,3	0,4	0,9	17,7
Bükkfa, nyár	51,6	6,3	41,5	0,0	0,6	20,3
Erdeifenyő	50,1	6,1	43,4	0,2	0,2	19,5
Energiafűz	50,9	5,6	41,8	0,2	1,5	19,2
Tölgyfa	53,7	5,4	40,3	0,0	0,6	21,2

A különböző fafajták elemi összetevői a karbon, a hidrogén és az oxigén, mindezek mellett egyéb összetevők, mint például nyomelemek és fémek, valamint nitrogén és kén is jelen lehet. Energetikai szempontból a karbon, a hidrogén és az oxigén, valamint a nedvességtartalom a legmeghatározóbb tényező [3, 5]. Ezek aránya határozza meg, hogy milyen gázosító közeget célszerű választani. A gázosító közeg hatása a keletkező fagáz energiatartalmában, fajlagos mennyiségében és a folyamat hatékonyságában jelenik meg.

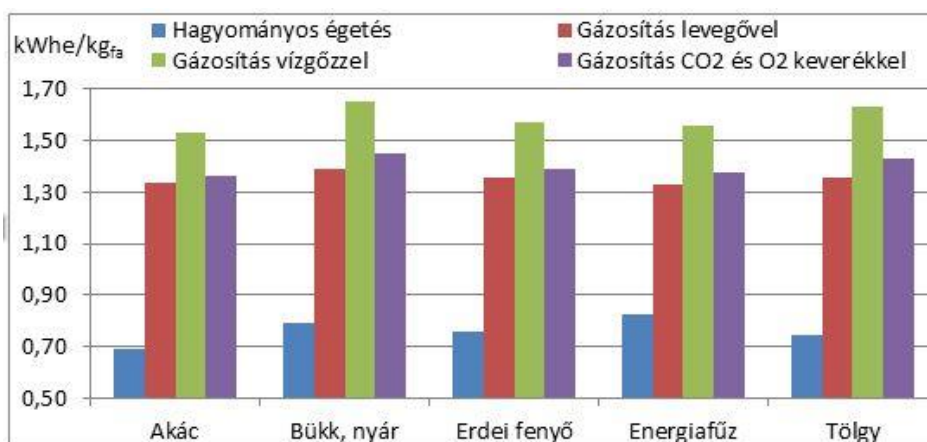
Levegő gázosító közeg esetén a levegőben lévő ballaszt gázok, mint a nitrogén, megjelennek a fagázban is. Az így előállított fagáznak kicsi az energiasűrűsége, mert az éghetetlen komponensek mennyisége meghaladhatja az 50 térfogat %-ot. Vízgőzzel történő gázosításnál az energiasűrűség átlagosan két és félszerese a levegővel történő gázosítással kapott értéknek. Levegő segédgáz alkalmazásával a fagáz átlagos fűtőértéke 4,31 MJ/Nm³-re, vízgőz gázosító közeggel 10,45 MJ/Nm³-re adódott. Nagy nedvességtartalmú alapanyag esetén a levegő és a vízgőz alkalmazása sem jelent érdemi különbséget, ekkor a hatékony gázosítás szén-dioxid és oxigén gázkeverék alkalmazásával valósítható meg.

Levegővel történő gázosítás esetén a reakció hatásfok átlagos értéke 73,1%, vízgőzzel történő gázosításnál 85,9%, míg szén-dioxid és oxigén gázkeverék alkalmazása során ez az érték 75,6%. Az 1. ábrán megfigyelhető, hogy az alternatív gázosító közegek alkalmazása növeli a kémiai reakció hatékonyságát, ami így nagyobb energiatartalmú fagázt eredményez, ezen keresztül hozzájárulva a fajlagos szén-dioxid kibocsátás csökkentéséhez.



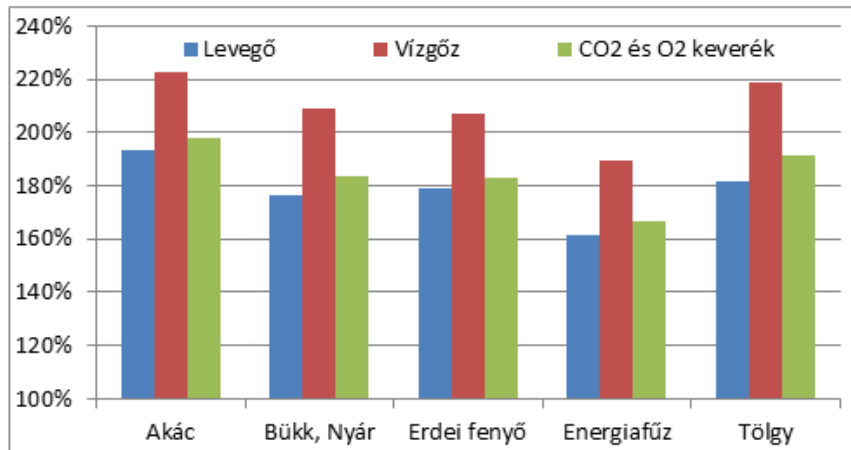
1. ábra: A Reakció hatásfok alakulása különböző fajfajták és gázosító közegek alkalmazása esetén

Az energetikai hatékonyságot jellemző paraméterek közül, villamos-energetikai megközelítésben a fajlagos villamosenergia-termelést célszerű megemlíteni (2. ábra), ami az összehasonlítás alapjául szolgál. Észrevehető, hogy a gázosítás során mintegy kétszeres a villamosenergia-kihozatal a hagyományos égetéshez képest. Mind a vízgőz, mind a szén-dioxid és oxigén keverék növeli a kihozatal értékét. A nettó villamos hatásfok értékét égetésnél 24%-nak, gázosításnál egységesen 34%-nak választottuk, ami a korábbi kutatásaink alapján került meghatározásra [1, 2, 7].



2. ábra: A fajlagos villamosenergia-termelés különböző fajfajták és technológiai kialakítások esetén

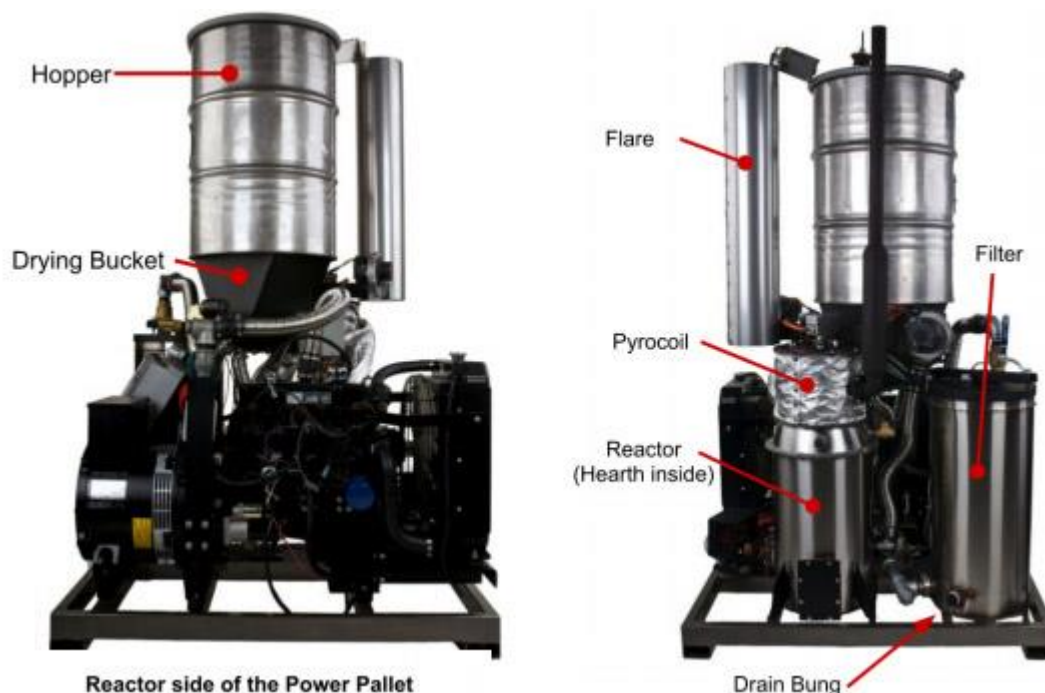
Végezetül a villamosenergia-sűrűségváltozás mértéke került meghatározásra, amely egyértelműen megmutatja, hogy a tűzifa gázosításával történő villamosenergia-termelés jelentősen hatékonyabb, mint a hagyományos égetéses technológiánál (3. ábra). Legnagyobb villamosenergia-sűrűségváltozás az akácfa gázosításánál tapasztalható, vízgőz típusú gázosító közeg alkalmazása során 2,23-szorosára növelhető a nettó fajlagos villamosenergia-termelés. Még levegővel történő gázosítás során is átlagosan 178%-os villamosenergia-kihozatalnövekedés érvényesíthető a vizsgált fajfajtákra vetítve. Ennek eredményeként a fás szárú tüzelőanyagainkat hatékonyabban alkalmazhatjuk villamos erőművekben, amennyiben gázosítást választunk hagyományos égetés helyett.



3. ábra: A villamosenergia-sűrűségváltozás mértéke különböző fajták és gázosító közegek esetén

Tekintve, hogy kapcsolt villamosenergia-termeléssel számoltunk, a megtermelt villamosenergia mellett hőenergia is keletkezik, amely első sorban háztartási melegvíz előállítására vagy fűtési igény kielégítésére felhasználható.

Kutatómunkánk során találtunk olyan gyártót, amely kapcsolt energiatermelésre alkalmas gázosító rendszereket gyárt és forgalmaz. Ezen gázosító rendszerek már 5 kW villamos teljesítménytől elérhetők, és nagyobb, több száz kW teljesítményig is forgalmazzák őket. A 4. ábra szemléltet egy lehetséges példát. Az 5. ábrán pedig egy hordozható, egyszerű gázosító rendszer látható, amelyből származó szintézisgáz gázkazánok működtetésére alkalmas.



4. ábra: Kapcsolt villamosenergia-termelést megvalósító hordozható gázosítórendszer. [forrás: www.build-a-gasifier.com]



5. ábra: Hordozható gázosítórendszer.
[forrás: www.allpowerlabs.com]

5. KÖVEZTKEZTETÉSEK

A kutatómunka során kapott eredményekből arra következtethetünk, hogy a tűzifa, valamint a fás szárú biomasszák villamosenergia-termelésben betöltött szerepük elsősorban gázosítási technológia alkalmazásával javítható. Villamosenergetikai megközelítésben a hagyományos égetéshez képest akár kétszeresére is növelhető a fajlagos villamosenergia-termelés, amely hozzájárul a tüzelőanyag takarékos energiatermeléshez, ezen keresztül a környezetet károsító hatások mérsékléséhez. Továbbá nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy kapcsoltan történő villamosenergia-termelés révén a technológiából származó hő hasznosítható háztartási melegvíz előállítására és fűtésre.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR. BODNÁR, I.: *Fás szárú biomasszák és települési szilárd hulladékok termikus hasznosítása*. Miskolci Egyetem, p. 164. 2017.
- [2] BODNÁR, I.: *Hulladékok energetikai célú hasznosításának vizsgálata energiahatékonyság, költség-haszon és életciklus-elemzési módszerekkel*. Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola. p. 161. 2016.
- [3] BASU, P.: *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction, Practical design and theory*. Second edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, San Diego. p. 529. 2013.
- [4] BÜKKI, G.: *Erőművek*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004.
- [5] BODNÁR, I.: *Biomasszából előállított szintézisgáz alternatív üzemanyagként történő alkalmazásának vizsgálata*, Multidiszciplináris Tudományok, A Miskolci Egyetem Közleménye, 4. kötet, 1. szám, pp. 77-92. 2014.
- [6] GYULAI, I.: *A biomassza dilemma*. Negyedik átdolgozott kiadás, Magyar Természetvédők Szövetsége, Föld Barátai Magyarország, p. 116. 2010.
- [7] THOMAS, B., REED, A., D.: *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*. The Biomass Energy Foundation Press, p. 140. 1988.
- [8] BÜKI, G.: *Kapcsolt energiatermelés*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, p. 420. 2007.

AZ ELEKTROTECHNIKAI ÉS ELEKTRONIKAI TANSZÉK VILLAMOS GÉPEK ÉS HAJTÁSOK, ALIAS LIE2 LABORATÓRIUMÁNAK FELÚJÍTÁSA

RENOVATION OF THE ELECTRICAL MACHINES AND DRIVES,
ALIAS LIE2 LABORATORY OF THE DEPARTMENT OF ELECTRICAL
AND ELECTRONIC ENGINEERING

**BODNÁR István¹, BOROS Rafael Ruben², MATUSZ-KALÁSZ Dávid³, OLAJOS Péter⁴,
SZABÓ Norbert⁵, SOMOGYINÉ MOLNÁR Judit⁶, KOZSELY Gábor⁷, ERDŐSY Dániel⁸,
MOLNÁR Sándor⁹, JENYÓ Tamás¹⁰, PINTÉR Judit Mária¹¹**

¹Ph.D., intézeti tanszékvezető egyetemi docens, vegybod@uni-miskolc.hu

²egyetemi tanársegéd, elkruben@uni-miskolc.hu

³egyetemi tanársegéd, elkmkd@uni-miskolc.hu

⁴Ph.D., egyetemi docens, peter.olajos@uni-miskolc.hu

⁵mesteroktató, elkszabo@uni-miskolc.hu

⁶ Ph.D., egyetemi docens, gfmj@uni-miskolc.hu

⁷ Ph.D., adjunktus, gabor.kozsely@uni-miskolc.hu

⁸egyetemi tanársegéd, elkedani@uni-miskolc.hu

⁹laboráns technikus, elktigy@uni-miskolc.hu

¹⁰tanszéki mérnök, fizjetam@uni-miskolc.hu

¹¹ Ph.D., tudományos főmunkatárs, pinterjm@uni-miskolc.hu

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,11}Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

¹⁰Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Fizikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-156

Kivonat: A tanulmány a Miskolci Egyetem Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszékének Villamos gépek és hajtások (LIE2) Laboratóriumának felújítását mutatja be. A Laboratórium az 1950-es évek elején létesült és először az 1980-as években korszerűsítették. A labor az utóbbi majd 40 évben teljesen elavult és felújítása elkerülhetetlenné vált. A felújítás első fázisára ez évben került sor, amely magába foglalta az építészeti felújításon kívül a meglévő laborpultok korszerűsítését is. A laboratórium új kapcsolószekrényt is kapott. A laboratóriumban ezek után kezdetét vette egy mérőkamra kialakítása, amely jelenleg is tart. A mérőkamra a villamos gépek és hajtások, valamint akkumulátorok biztonságos mérését teszi lehetővé.

Kulcsszavak: villamos gépek és hajtások laboratórium, felújítás, GANZ-Hera, oktatás

Abstract: This paper presents the renovation of the laboratory of Electrical Machines and Drives (LIE2) of the Department of Electrical Engineering and Electronics of the University of Miskolc. The laboratory was established in the early 1950s and was first modernized in the 1980s. The laboratory has become completely obsolete in the last 40 years and its renovation has become inevitable. The first phase of the renovation took place this year, which included, in addition to the architectural renovation, the modernization of the existing laboratory desks. The laboratory also received a new switch cabinet. After that, the construction of a measuring chamber began in the laboratory, which is still ongoing. The measuring chamber enables safe measurement of electric machines and drives, as well as batteries.

Keywords: electrical machines and drives laboratory, renovation, GANZ-Hera, education

1. BEVEZETÉS

A Miskolci Egyetem Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszékének jogelődjét 1904-ben alapították Selmecebányán Fizikai és Elektrotechnikai Tanszék néven. A villamos gépek és hajtások oktatása már akkoriban is fontos szerepet játszott a tanszék életében. Nem csak a bányavillamosság keretein belül jelentek meg a villamos gépek, hanem az akkoriban rohamos fejlődésnek induló villamosenergia-rendszerben, valamint az ipari hajtások és a közlekedés villamosítása terén is. Tanszékünk legrégebbi, ma már muzeális értékkel bíró egyenáramú generátora is a Selmeci korszakból származik.

A tanszék 1919-ben Sopronba költözött, ahol 1947-ben kettévált, így önálló tanszékeként létrehozva a Fizika Tanszékét és az Elektrotechnika Tanszékét. A Fizika Tanszékét 1949-ben, az Elektrotechnika Tanszékét pedig 1950-ben újraalapították Miskolcon. A miskolci alapítású Elektrotechnika Tanszék az első félévben a Csengery Gusztáv utcában található kórházban, majd pedig a Fizika Tanszékkel egy helyen, a Földes Ferenc Gimnáziumban működött. Jelenlegi helyét (A3 épület II. emelet) csak két évvel később foglalhatta el, amikor az Egyetemváros oktatási épületi elkészültek, és a ma A3 nevet viselő épület is átadásra került. Ezt követően a soproni Elektrotechnika Tanszék folyamatosan áttelepült Miskolcra. A két Elektrotechnika Tanszék (soproni és miskolci) 1959-ben egyesült, így a Tanszék Sopronban megszűnt, ezzel együtt a selmecebányai és soproni hagyatékok Miskolcra kerültek, amelyek eszmei értékét mai napig becsüljük és őrizzük [1].

Az 1970-es és 1980-as években az oktatás és a kutatás az elektronika, mikroelektronika és mérés-technika irányában bővült. Ez a változás a tanszék nevében is megjelenítésre került, létrejött az Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszék. A tanszék 1989-ben csatlakozott a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karán alapított Informatikai Intézethez. A tanszék laboratóriumait ekkor nevezték át, amely megnevezést mai napig használjuk, annak ellenére, hogy közben új intézeti, illetve tanszéki struktúra alakult ki az egyetemen. A LIE elnevezés tehát a következőket jelenti **L**aboratórium **I**nformatikai (Intézet) **E**lektrotechnikai (-Elektronikai Tanszék) [2].

Tanszékünk az elmúlt három évtizedben az informatikai és a villamos szakterületű oktatás jelentős megerősödése miatt hol önálló intézetként, hol pedig intézeti tanszékként működött. 2019-ben visszatértünk a gyökerekhez és a Selmeci Hagyományoknak megfelelően a Fizikai és Elektrotechnikai Intézet, azon belül pedig az Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék nevet viseljük [2].

2. A LIE2 MÚLTJA

A Villamos gépek és hajtások laboratórium az 1950-es évek elején került kialakításra. Akkoriban a laboratórium csaknem 120 m² alapterületű volt, 2 bejárattal és 8 ablakkal. A laborban fából készült asztalok és vitrines szekrények helyezkedtek el, amelyekben a méréshez használt műszereket tárolták. A laboratóriumot nem csak a villamos gépek és hajtások oktatására hozták létre, hanem az alapvető elektrotechnikai mérések laborgyakorlatai is itt történtek.

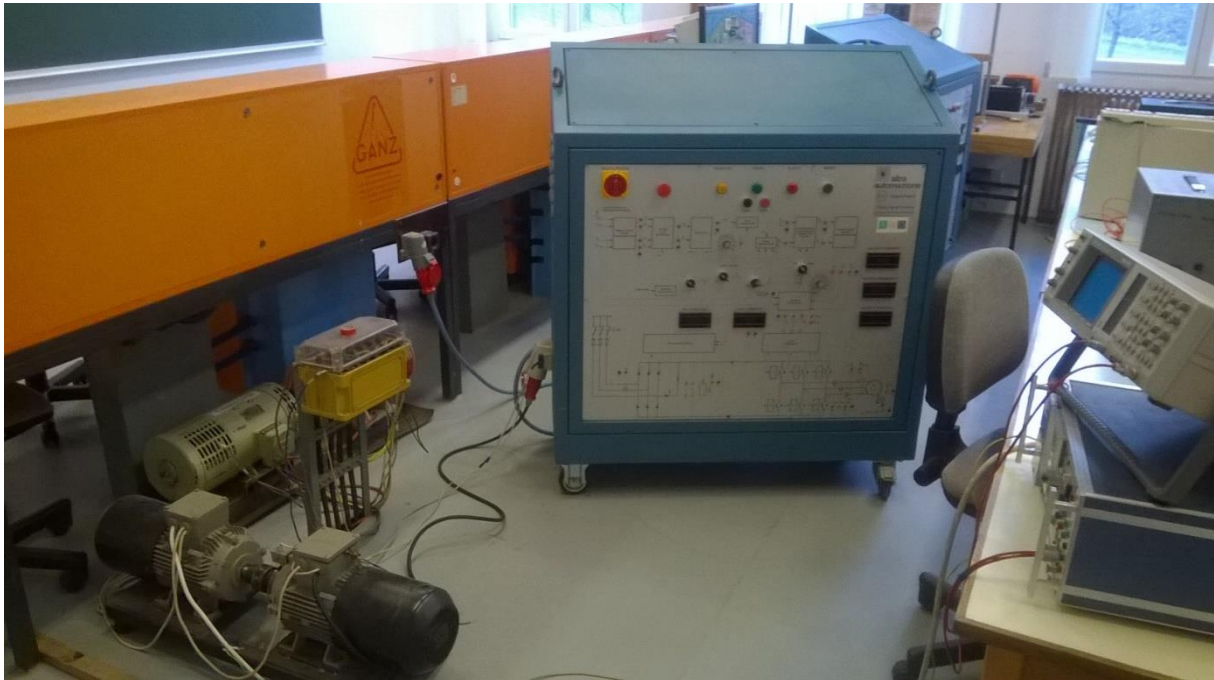
A laboratóriumot az 1970-es években kettéosztották, középen elfalazták, így két kisebb alapterületű, de egymással tükröszimmetrikus laboratóriumot alakítva ki. A két laboratórium funkciója az eredetivel megegyező maradt, és a felszereltség sem változott jelentősebb mértékben.

A laboratórium első korszerűsítésére az 1980-as években került sor. Ebben az évtizedben 4 laboratórium is megújuláson esett át. A megújulás kiterjedt az építészetén át a laborpultok cseréjére is. A laborokban az akkoriban legkorszerűbbnek tartott GANZ-Hera laborpultok kerültek beépítésre. A villamos gépek és hajtások laboratórium 6 db pultot kapott. A pultok

egymással szembe fordítva helyezkedtek a laborban, középen nagyobb helyet kihagyva, hogy oda telepíthetők legyenek a mérések tárgyát képező motorok, hajtások (1-2. ábrák). Laborunkat a minőségi bizonyítvány alapján 1985. július 25-én adták át (3. ábra).



1. ábra: A laborpultok elhelyezkedése.



2. ábra: A mérőtér elhelyezkedése.

A laborpultok villamosenergiával történő ellátásáról a laboratórium falában elhelyezett kapcsolószekrény gondoskodott. A $3 \times 220/380$ V tápellátáson túl $3 \times 24/42$ Voltos váltakozó áramú tápellátás, valamint három nagyteljesítményű, független 120 Voltos egyenfeszültségű

forrás gondoskodott. Az egyenfeszültségű áramforrás három helyről érkezett: egyenáramú generátorról, diódás egyenirányítóról és tirisztoros egyenirányítóról. A kapcsolószekrény külsejét a 4. ábra, belső felépítését pedig az 5. ábra szemlélteti.

GANZ MŰSZER MŰVEK EKM gyára	Budapest. XIX. 1191
GANZ MEASURING INSTRUMENT WORKS	Vörös Hadsereg útja 64.
GANZ MESSGERÄTE WERKE	

MINŐSÉGI BIZONYÍTVÁNY
CERTIFICATE OF QUALITY
QUALITÄTSZERTIFIKAT

Megnevezés:
Denomination: Ganz-Hera laboratórium részegység
Benennung:

Tipus.Type symbol.Typenzeichen: ESL 2011 spec

Mérési tartomány:
Measuring range: 37/15
Messbereich:

Gyártási szám.Factory number.Fabrikationsnummer: 5103

Egyéb jellemzők:
Other characteristics: 143/1984/7/a.
Übrige Charakteristiken:

A fenti műszer az elvégzett átvételi vizsgálat alapján megfelel a vonatkozó országos szabványoknak, a gyári végátvételi előírásoknak, valamint a rendelésvisszeigazolásokban vállalt egyéb feltételeknek. A termék csomagolása megfelel a gyári előírásoknak, illetve a szállítási szerződésekben rögzített előírásoknak.

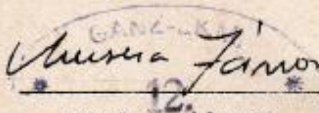
The above instrument corresponds - on the basis of the effected acceptance test - to the relevant norms, the factory prescriptions relating to the final reception as well as the other conditions undertaken in the confirmation of order. The packing of the product complies with the factory prescriptions, resp. with those stated in the contract of delivery.

Das obige Instrument entspricht - aufgrund der durchgeführten Übernahmeprüfung - den bezüglichen Normen, den Fabriksvorschriften bezüglich der Endübernahme, sowie den in der Auftragsbestätigung übernommenen übrigen Bedingungen. Die Verpackung des Erzeugnisses entspricht den Fabriksvorschriften, resp. denen, die in dem Liefervertrag festgelegt sind.

Budapest, 1985 JUL 2 3

Gyártási kód:
Code of manufacture:
Fabrikationskode:

MEO 12
5.103.53

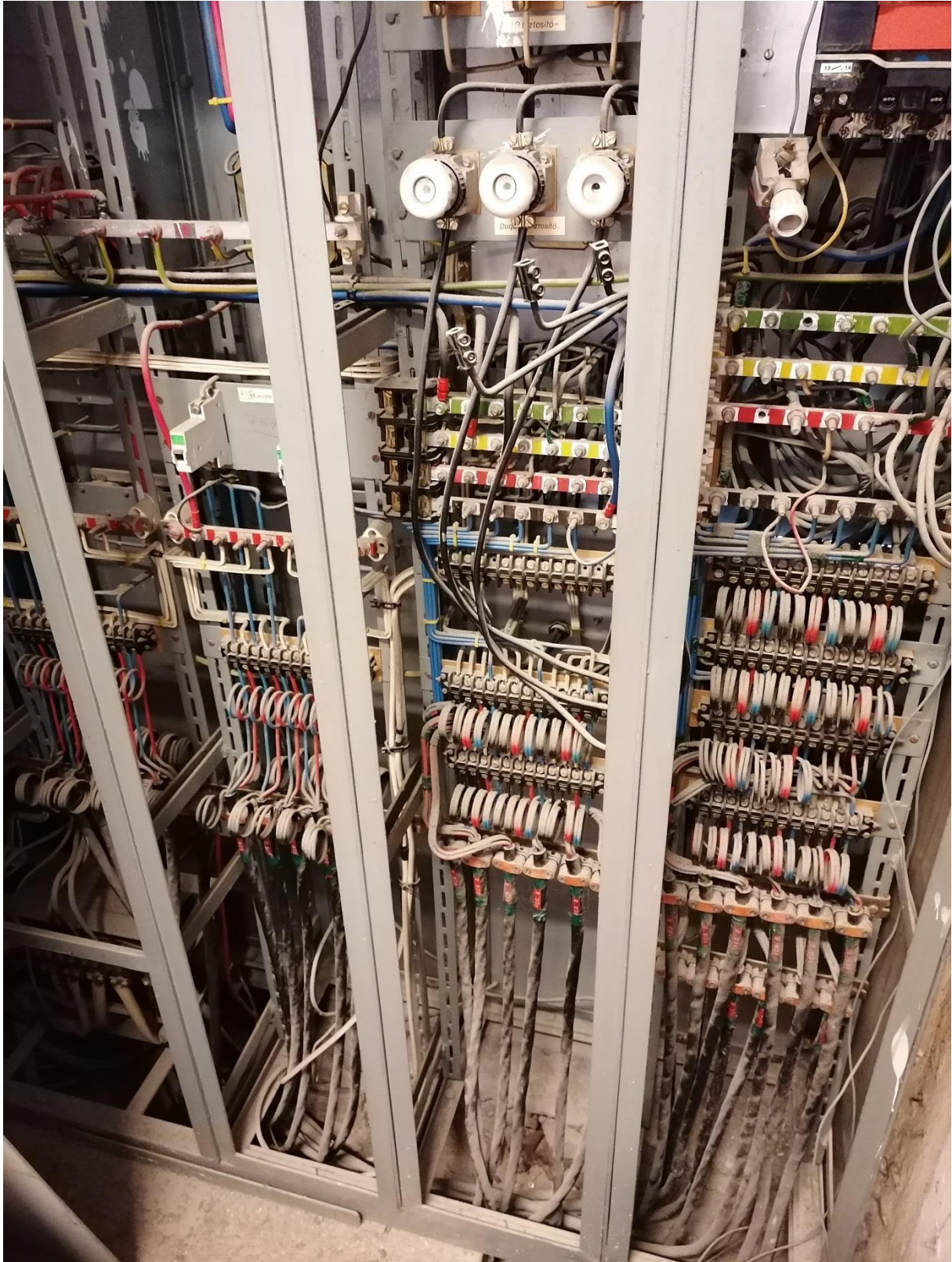

minőségellenőr
quality controller
Qualitätskontrolleur

GMM ny 18-18

3. ábra: Minőségi bizonyítvány.



4. ábra: A kapcsolószekrény laboratórium felőli oldala.



5. ábra: A kapcsolószekrény kapcsolótere.

Minden egyes pultnak saját tápkábele volt, a kapcsolószekrényből a váltakozó és az egyenáramú betáplálások tekintetében egyaránt. Ezeken kívül minden pultban kialakításra került 4 db átadópon, amelyeken keresztül a kapcsolószekrényben az összes laborasztal összekapcsolható volt, így egységesen ugyanazon feszültség kiadhatóvá vált egyetlen tápforrásról. Ahhoz, hogy a pultok előtt elhelyezett motorok táplálása és mérése megoldott legyen, a labor padlózatában további kábelek kerültek elhelyezésre, így minden pultnak volt kivezetése a mérőtérbe. A 2. ábrán látható is egy ilyen kiállítás.

A laboratórium a 2000-es évek elejéig napi szinten használva volt, azonban a csaknem 20 éves használat már akkor meglátszódott rajta. A pultok többsége meghibásodott, egyes működési funkciók teljesen használhatatlanná váltak. Ugyan a karbantartásukról folyamatosan gondoskodtak, azonban a villamos hajtások, teljesítményelektronika rohamos fejlődése miatt a laborpultok korszerűtlenné váltak. Az elmúlt 20 évben a labor már csak kis kihasználtsággal, heti néhány tanóra erejéig volt használva. Felújítása, korszerűsítése egyre sürgetőbbé vált!

3. A LIE2 FELÚJÍTÁSA

A Tanszék oktatói állománya az elmúlt 10-15 évben folyamatos cserélődésen esett át, emiatt a laboratórium felújítását senki sem merte felvállalni. Napjainkra gyakorlatilag a tanszék teljes állománya lecserélődött. Nem csak az általunk kinevelt fiatalok közül sikerült itt tartani néhány főt, hanem sikerült másik egyetemről, illetve egyetemen belül más tanszékről átvenni kollégákat. Mindezeknek köszönhetően a tanszéki kollektíva átlag- és a medián életkora sem éri el a 40 évet. Ezzel a Gépészmérnöki és Informatikai Kar egyik, ha nem a legfiatalabb átlagéletkorú tanszékévé váltunk, miközben a kar legrégebbi alapítású, legöregebb tanszéke vagyunk.

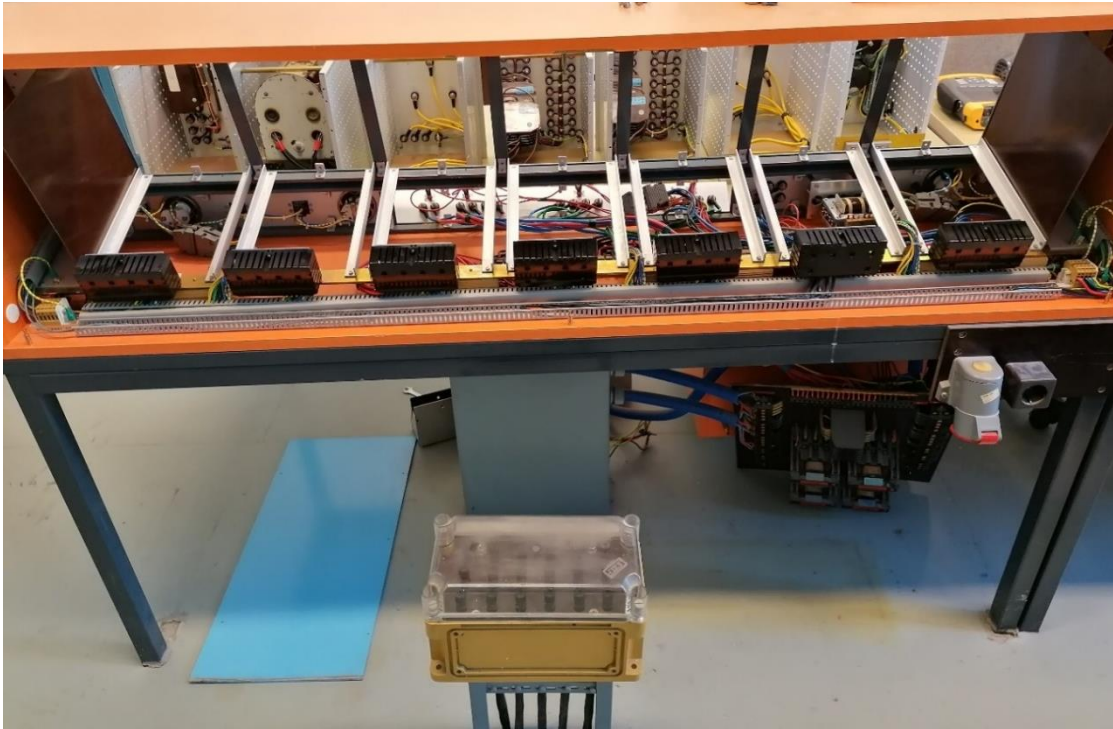
Néhány bizonytalan és viharos év lezárta után, 2022. tavaszán elfogadtuk, hogy a villamos gépek és hajtások laboratórium felújítása nem halogatható tovább, ezért elhatároztuk, hogy saját erőnkől megkezdjük a felújítást.

A labor bontásának megkezdése előtt kialakítottunk egy koncepciót, amely magában foglalta a teljes belsőépítészeti megújulást, valamint a laborpultok rekonstrukcióját is. A korszerű oktatás érdekében multimédiás eszközöket is beterveztünk. Ugyan gondolkodtunk azon, hogy új laborpultokat szerzünk be, azonban ezt az ötletet elvetettük miután kipróbálhattunk egy korszerűbb villamos mérésekre szolgáló laborpultot. A próba során arra az eredményre jutottunk, hogy az új mérőasztalok nem tudnak többet nyújtani a mérések során, mint a meglévő mérőasztalaink. Ekkor döntöttünk el, hogy a meglévő mérőpultjainkat újítjuk fel, azaz az elhasználdott alkatrészeket lecseréljük, kiegészítjük és kompaktabbá tesszük. Tehát a laboratórium átalakítása során a cél az volt, hogy a meglévő GANZ-Hera pultok felhasználásával a lehető legkompaktabbak és a legjobb helykihasználtsággal rendelkező, oktatási- és kutatás-fejlesztési célokra egyaránt alkalmas, korszerű laboratóriumot alakítsunk ki.

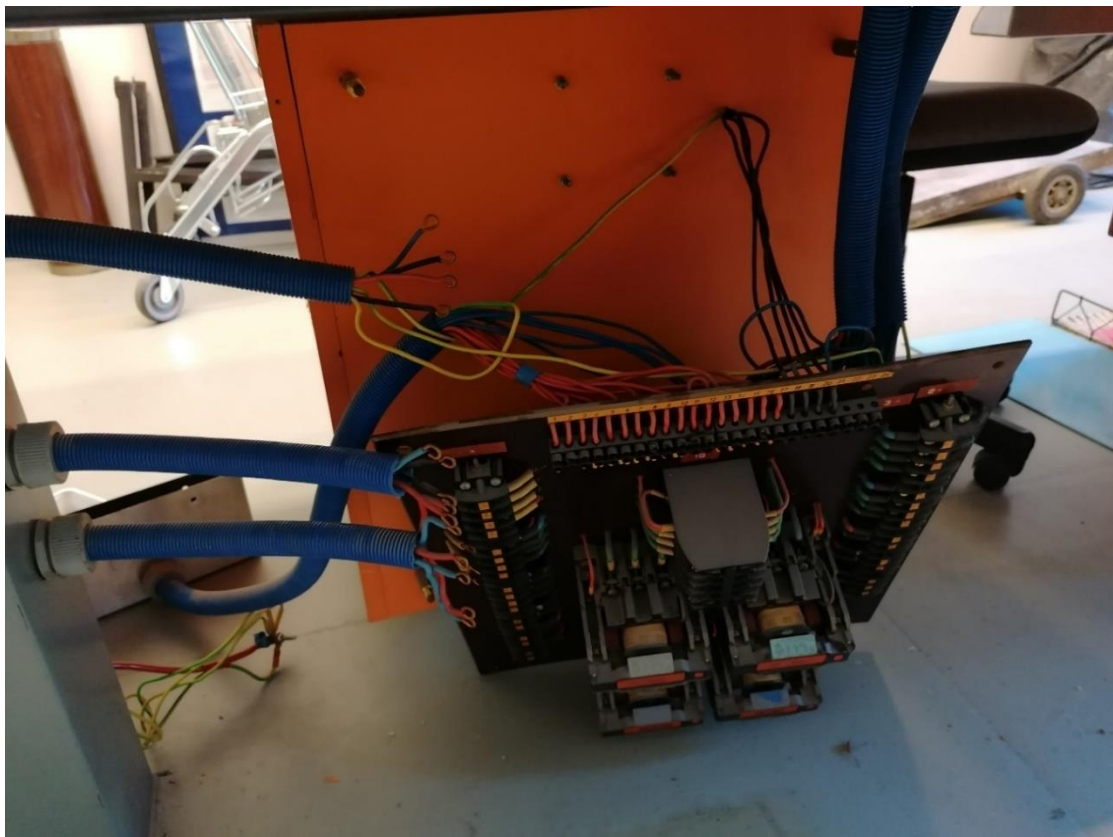
Az elhatározást követően elkezdtük a labor szétbontását. Első lépésként lecsatlakoztattuk a laboratórium kapcsolószekrényében a fő betápokot, ezzel feszültségmentessé és biztonságosan bonthatóvá vált a labor. A következő lépés a laborpultok szétszerelése és a pultonkénti bekötések, kapcsolótáblák szétszedése volt. A 6. ábra egy szétszerelés alatt álló GANZ-Hera mérőpultot szemléltet. A 7. ábra a pulthoz tartozó, mágneskapcsolókat tartalmazó kapcsolótáblájának megszüntetési folyamatának pillanatképét mutatja.

A pultok szétszerelése napokat vett igénybe, annak ellenére, hogy egyidejűleg többen végeztük. Minden pult egyenként csaknem 500 db csavarkötést tartalmazott, amelyek eltávolítása is nagy feladatnak minősült. Mindezek alapján elmondható, hogy az 1985-ben a pultok építése igen sok időt vehetett igénybe. Az összeszerelés nagyon aprólékos munkák sorozatát jelenthette.

Az egyes alkatrészek eltávolítása során azt tapasztaltuk, hogy számos csatlakozó be volt égvé, el volt kormolódva. A műanyag szigetelők egy része sérült, törött volt.



6. ábra: GANZ Hera laborpult szétszerelésének pillanatképe.



7. ábra: GANZ Hera laborpult kapcsolótába megszüntetési folyamatának pillanatképe.

Ahogy haladtunk a mérőpultok szétszerelésével, megkezdjük a labor közepén lévő kiállások megszüntetését, a tőkék kivágását. A tőkék kivágásával egyidejűleg a labor PVC padlója is felszedésre került. Tekintve, hogy az oktatási félév közepén tartottunk, ezért a tanszék többi laborja használatban volt, emiatt a munkálatok során kezdetben a laboron belül mozgattuk a pultokat és a villamos motorokat, nagyobb mérőberendezéseket. Az oktatási időszakot lezárva tudtuk csak a labort teljesen kiüríteni. Ezután a bontási munkálatok is felgyorsultak. A 8. ábra a tőkék kivágás utáni pillanatot szemléltet.



8. ábra: A tőkék eltávolítása utáni állapot.

A laborpultok tápellátására szolgáló kábelek 1985-ben a labor padlójában kialakított aknában kerültek lefektetésre. Az akna átalagosan 40 cm széles, 30 cm mély és mintegy 25 méter hosszan övezte a labort. Az akna vaslemezekkel volt lezárva. A felszedett vaslemezek tömege meghaladta a 300 kg-ot. A kábelvezető aknából 283 kg rézkábelt szedtünk ki. Az aknát a még benne lévő kábelekkel a 9. ábra szemlélteti.

Mivel az átalakítást követően a laborpultok helyzete megváltozik, azaz nem a labor közepén, hanem a fal mentén kerülnek elhelyezésre, a kábelvezető akna szerepe megszűnik. A pultok tápkábeleit falon kívüli kábelcsatornában kerülnek elhelyezésre. Emiatt az akna megszüntetése mellett döntöttünk. Tekintve, hogy az akna ösztér fogata csaknem 3 m^3 , amely betonnal való teljes kiöntése statikai kérdéseket vet fel, ezért statikailag kevésbé terhelő megoldás mellett döntöttünk. Az akna alsó 20 cm-re lépésálló szigetelőanyaggal lett feltöltve, és csak a felső csaknem 10 cm réteg kapott vasalatot és betont.



9. ábra: A labor padlójában található kábelvezető akna a benne lévő rézkábelekkal.

A betonozást követően megtörtént az aljzatkiegyenlítés. Az eltávolított kapcsolószekrény helyén gipszkarton falazat került kialakításra. A vizesblokk új csempét és csaptelepet kapott. A radiátorok szerelvényei termosztátos szelepekre lettek cserélve, hogy a laborban a fűtés precízebben szabályozható legyen. A falak fehérre lettek festve. A padló 2 kV villamos átütési szilárdsággal rendelkező LVT padlóburkolatot kapott.

A felújítás során az energiahatékonyság javítása is fontos szerepet játszott, így a villamos kapcsolóberendezések kiválasztása során a kisebb önfogyasztással rendelkező, minőségi készülékek kerültek beszerzésre. Összességében elmondható, hogy a bontási munkálatok és a hulladékok elszállítása több lépcsőben megközelítőleg egy hónapot vettek igénybe. Az építési munkálatok a technológiai idők kivárása miatt szintén egy hónapig tartottak. A 10. ábra az építészeti munkák befejezte utáni állapotot mutatja.

Az építészeti munkálatok befejezte után kezdődhetett meg az új kapcsolószekrény kialakítása és a kábelcsatornák falra történő felhelyezése. Ezzel egyidőben a szétszerelt mérőpultok visszakerültek a laborba és megkezdjük azok összeépítését is. Az új mágneskapcsolók már nem a pultokon kívül, hanem a pultokban, önálló boxban kerültek kialakításra. Ezzel együtt a pultok belső tere is megújításra került, új kábelezést és csatlakozókat kapott. A túláram- és életvédelmi készülékek cseréjére is sor került.

A kompaktság és a pultok hálózatról történő gyors lecsatlakoztatása érdekében minden pult lengő dugvillákkal csatlakozik a kábelcsatornából hozzávezetett lengő dugaljához. Így egy pult a meghibásodása esetén egyszerűen lecsatlakoztatható, és a többi pult tovább üzemeltethető. Azaz nem szükséges megszakítani a folyó méréseket, laborgyakorlatokat.

A pultok összeszerelése több, mint két teljes hetet vett igénybe, annak ellenére, hogy egyidejűleg rendszerint 10 fő végezte a munkákat. A fent említett munkálatok 2022. augusztus végére elkészültek, így már neki tudunk kezdeni a következő tanév előkészítésének.

A felújítás anyagköltsége elérte a 4 millió forintot, amely legnagyobb részét a villamos szempontú felújítás tette ki. Egy pult villamos megújításának költsége meghaladta a 300 ezer forintot. Az új kapcsolószekrény kialakítása, a kábelezés és a pultokhoz való csatlakoztatás anyagköltsége csaknem 1 millió forint költséget jelentett.

Az új labor kialakításában nem csak a Tanszék dolgozói, hanem hallgatói és a Miskolci SZC Bláthy Ottó Villamosipari Technikum tanárai, valamint technikus diákjai is részt vettek. A munkálatok során a szakmai felügyeletet villamos tervezőmérnök, érintésvédelmi szakember és villanszerelő, valamint erősáramú elektrotechnikus is segítette.



10. ábra: Az építészeti munkák befejezte utáni állapot.

A laboratórium 37 év eltelté után végre megújult. A laboratóriumba immáron nem csak a laborpultok kerültek vissza, hanem a tantermi oktatást segítő asztalok is (11. ábra). Az asztalokkal szemben kerültek elhelyezésre a Sitra hajtások, amelyek korábban a labor közepén lévő mérőtérben voltak.

A labor következő fejlesztési fázisában, még szeptemberben sikerült egy 75 coll átmérőjű televíziót beszerezni és felszerelni a Sitra hajtások felé. Ezen kívül a labor gurulós filces és digitalizáló táblát is kapott, így lehetőség van egyidejűleg korszerű prezentációs és hagyományos technológiák alkalmazására is az oktatásban. A laborban alkalmazott műszerek, oktatási célú szerelési anyagok és szerszámok tárolása érdekében új szekrények kerültek a labor sarkaiba.



11. ábra: Az laborpultok és asztalok elhelyezése utáni állapot.

Mivel a laborban továbbra is szükség van mérőterre, ezért az asztalokat úgy helyeztük el, hogy mögöttük és az ablak előtt hagytunk egy nagyobb szabad területet, ahol egy mérőkamrát szeretnénk kialakítani.

4. A LIE2 JELENE

Miután elkészült a labor villamos korszerűsítése is, funkcionális és érintésvédelmi méréseknek vetettük alá. Az első próbák és mérések tapasztalatai alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a gondos előkészítések és tervezések ellenére is hiányosságokat tártunk fel. Például egyes alkatrészek beszerelése, rögzítése nem volt megfelelő, vagy éppen egy-egy vezeték bekötése elmaradt. A hiányosságokat pótoltuk, a szükséges anyagokat, alkatrészeket cseréltük. A 12. ábra szemlélteti a laboratórium jelenlegi pillanatát.

A laboratórium jelen állapotában már alkalmas oktatásra, azonban a nagyobb villamos motorok mérése, akkumulátorok és szuperkondenzátorok tesztelése csak a mérőkamra elkészülte után lehetséges. A mérőkamra egyaránt ellát villamos érintésvédelmi célokat, valamint a forgó, vagy felmelegedett alkatrészek megérintése elleni védelmet.

A laboratórium jelenlegi állapotát tekintve a mérőkamra kialakításának első fázisába értünk. A mérőkamra talapzatának faszerkezetet alakítottunk ki, amely 320 cm széles és 120 cm mély. A faszerkezeten kerülnek elhelyezésre a mérések tárgyát képező villamos gépek, akkumulátorok és szuperkondenzátorok. A kamra felépítményét alumínium profilsínből és UV álló SAN lemezekből terveztük, amely alkatrészek megérkeztek és jelenleg az összeszerelésre várnak.

A laboratórium nem csak villamos gépek és hajtások, hanem teljesítményelektronikai áramkörök, akkumulátorok és szuperkondenzátorok oktatására, valamint tesztelésére is alkalmassá vált/válik a mérőkamra kiépítésével.



12. ábra: A laboratórium jelenlegi pillanatképe.

Az oktatási célú mérések egy része a laborasztalokon kerültek elhelyezésre. Ilyenek például a Lucas Nülle típusú villamos gépek és hajtások, valamint a saját tervezésű és készítésű aszinkronmotor-hajtások. A kutatási célú mérések helyszíne a mérőkamra lesz.

5. A LIE2 JÖVŐJE

A laboratórium jövője ugyan még nem ismert, azonban hosszútávú terveink között szerepel a laborpultok faszerkezetének felújítása is. Rövidtávon gondolkodva a mérőkamra mielőbbi megépítése az elsődleges cél, azt követően pedig ismételten egy teljeskörű érintésvédelmi felülvizsgálatot szeretnénk elvégezni. A laboratóriumot nem csak oktatási célból újítottuk fel, hanem azért is, hogy a villamos gépek és hajtások, az elektromos járművek, valamint a napelemlről táplált villamos hajtások kutatása és fejlesztése színteréül is szolgáljon. Reméljük, hogy a jövőben sikerül új eszközöket is beszereznünk, amelyek tovább szolgálják a céljainkat és segítik munkánkat.

A jövő mindig bizonytalan, azonban egy biztos, a tudást, amit szereztünk, tovább kell adnunk a jövő mérnökgenerációjának, amely elengedhetetlen feltétele a gyakorlatorientált oktatás, amihez nem csak működő, hanem korszerű eszközökre és berendezésekre van szükség. Ennek szellemében folytatjuk tehát a munkánkat.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A Tanszék LIE2 laboratóriumának múltja Selmecebányához köthető, hiszen ott kezdődött a villamos gépek oktatása 1904-ben. A labor 1952-ben foglalta el jelenlegi helyét, amely 1985-ben újult meg először. Akkor a régi, faasztalok GANZ-Hera mérőpultokra cserélődtek. Ugyan 2004-ben a laboratórium építészeti szempontból felújításra került, azonban a GANZ pultok érintetlenek maradtak. Napra pontosan csaknem 37 éven keresztül „álltak egy helyben” és szolgálták a tanszék oktatási és kutatási tevékenységét. Mivel az idő vasfoga nyomot hagyott a pultokon, azaz a 2000-es évek végére a 2010-es évek elejére a pultok sorra mondták fel a szolgálatot, halaszthatatlanná vált villamos felújításuk. 2022-ben elhatároztuk, hogy elődeink hagyatékát megőrizve felvállaljuk a pultok felújítását, amelyet önerőnkől, saját magunk végeztük el. 2022. tavaszát és nyarát, a szabadidőnket és sokszor szabadságunkat is a laboratórium felújítására fordítottuk. A munka meghozta gyümölcsét, így 2022. szeptemberében birtokba vehettük az immáron működő pultokat, a felújított és korszerűsített LIE2-t.

Jövőbeli terveink között szerepel a labor további korszerűsítése, valamint ezen labor felújításának tapasztalataira alapozva a tanszék további, 1980-as évekből származó laborjainak a megújítása is.



7. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] ÉRSEK, D.: *Az Elektrotechnikai Tanszék története 1974-ig*. p. 10. 1974.

[2] <http://geik.uni-miskolc.hu/intezetek/FEI/bemutakozas>

(megtekintés dátuma: 2022. november)

SZÜNETHMENTES ASZINKRON MOTOR HAJTÁS INTEGRÁLÁSA SZIGETÜZEMŰ INVERTERBE

INTEGRATION OF UNINTERRUPTED INDUCTION MOTOR DRIVE IN ISLAND INVERTER

BOROS Rafael Ruben¹

¹egyetemi tanársegéd, elkruben@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46/565-111/12-20 mellék

Kivonat: A tanulmány bemutat egy egyedi szünetmentes aszinkron motor hajtást, amely egy szigetüzemű napelem inverter és egy szünetmentes aszinkron motorhajtás kombinációja. A kombinálással javítható a rendszer hatásfoka és számos előnyt kölcsönöz a hálózatnak, mint például: nincs kapcsolási tranziens. Napjainkban egyre gyorsabban terjednek a szigetüzemű napelem inverterek alkalmazása napelemes rendszer telepítésének és szünetmentes energiaellátási igények esetén. Előfordulnak olyan esetek, ahol akár a háztartásban, akár az iparban szükségessé válik a szünetmentes energiaellátás mind egyfázisú fogyasztóknak, mind háromfázisú motoroknak. Az egyfázisú 230 V-os fogyasztók ellátásához és a motor hajtásához külön teljesítményelektronikai berendezés szükséges. A cikk rávilágít arra, hogy milyen előnnyel jár a két rendszer kombinálása, milyen rendszerelemekre van szükség.

Kulcsszavak: napelem, szünetmentes energiaellátás, inverter, aszinkron motor, szigetüzemű inverter

Abstract: The study presents a unique uninterruptible induction motor drive, which is a combination of an island solar inverter and an uninterruptible induction motor drive. By combining, the efficiency of the system can be improved and it lends the network many advantages, such as: no switching transients. Nowadays, the use of island solar inverters is spreading more and more rapidly when installing a solar system and requiring uninterrupted energy supply. There are cases where uninterrupted power supply for both single-phase loads and three-phase motors becomes necessary, either in the household or in industry. Separate power electronic equipment is required to supply the single-phase 230 V loads and to drive the motor. The article highlights the advantages of combining the two systems and what system elements are needed.

Keywords: solar panel, uninterrupted power supply, inverter, induction motor, island inverter

1. BEVEZETÉS

Hazánkban az elmúlt időszakban nagy változások történtek a napelemes rendszerekre vonatkozóan. Jelentős szabályozási változás történt a nem háztartási méretű kiserőművek (HMKE), naperőművek beépítésének feltételrendszerében – akár hálózatra, akár saját fogyasztásra termelő (visszwatt-védelmes) erőművekről van szó. A visszwatt védelem lényege, hogy a napelemes rendszer által megtermelt pillanatnyi energia nem lehet nagyobb, mint az adott vételezési ponton vételezett energia. Egyszerűbben fogalmazva egy napelemes rendszer csak annyit termelhet (úgy kell szabályozni) amennyit a felhasználó pillanatnyilag igényel, nem táplálhat vissza a közüzemi hálózatra. Visszwatt-védelemre akkor van szükség, ha 50 kW alatt középfeszültségen van vételezés, vagy 50 kW felett, ha fogyasztás csökkentésére szeretnénk használni a rendszert [1].

Ezentúl a hálózatra kapcsolt termelőknek (és tárolóknak) kiegyenlítőenergia-szabályozási képességekkel kell rendelkeznie (amit a MAVIR bármikor lekapcsolhat) és az időjárásfüggő erőműnek emellett legalább a beépített teljesítmény 30%-nak megfelelő le-felszabályozási rendszerkapacitásról kell gondoskodnia (akkumulátor vagy egyéb), amit saját maga vagy harmadik fél is kielégíthet. 2022. október 21-ét követően a visszwattos napelemek esetén is mindkét feltételnek meg kell felelni. Az új szabályokat a MAVIR Üzemi Szabályzat 2022.

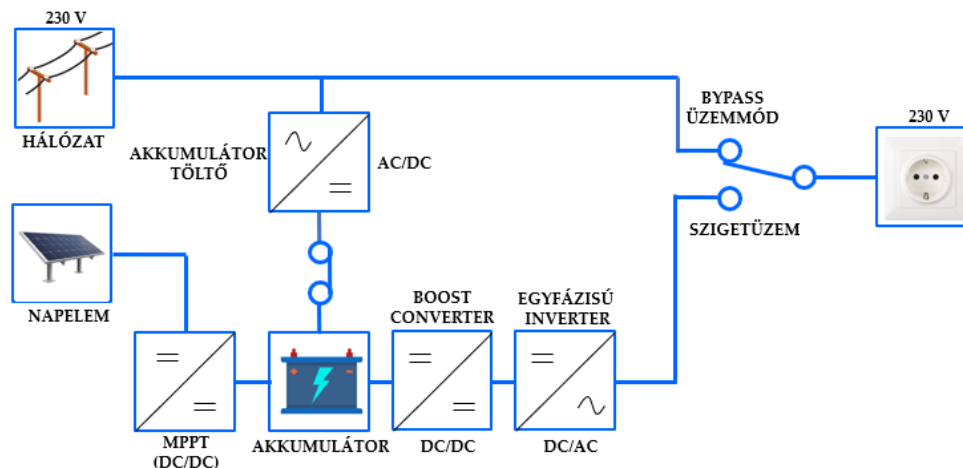
július 15-én hatályosult 28. számú, és azt követően 2022. október 21-én hatályosult 29. számú módosítása a tartalmazza [2].

2. SZÜNEMENTES ENERGIAELLÁTÁS

Az ipar számos helyén elengedhetetlen a szünetmentes energiaellátás. Erre a célra szünetmentes tápegységeket alkalmaznak, amelyek inverteren keresztül, akkumulátorból fedezik a fogyasztó felé a villamosenergiát, ha nincs hálózati feszültség. Speciális esetekben motoros hajtásokhoz is építenek be szünetmentes frekvenciaváltókat. Olyan helyeken érdemes használni ezeket a rendszereket, ahol folyamatos üzemre van szükség, például egy fűtés rendszerben alkalmazott keringető szivattyú esetén. Ipari körülmények között egy turbina olajozását működtető szivattyú is kiváló példája ennek. Ilyen célok esetén háromfázisú aszinkron motor beépítése célszerű az alacsony karbantartás igény miatt. Meghajtásához háromfázisú frekvenciaváltó szükséges. Amennyiben szünetmentes kivitelre van szükség, akkumulátorokat kell beépíteni a frekvenciaváltóban található inverter előtti közbenső egyenáramú körbe. Természetesen ehhez akkumulátoröltő és figyelő, védelmi áramkörök stb. szükséges. Az ilyen kész berendezéseket most már néhány cégtől egybe be lehet szerezni. Azonban érdemes fontolóra venni a napelemes rendszer integrálását a szünetmentes aszinkron motor hajtásba, ugyanis az akkumulátorokat napelemek segítségével tölteni lehet.

3. SZIGETÜZEMŰ NAPELEM INVERTER

Napjainkban egyre gyorsabban terjednek a szigetüzemű napelem inverterek alkalmazása napelemes rendszer telepítésének és szünetmentes energiaellátás igénye esetén. A szigetüzemű inverter előnye a hibrid inverterhez képest, hogy sokkal olcsóbb, azonban nem képes energiát a hálózatba betáplálni. Az Üzemi Szabályzatra hivatkozva a MAVIR lekapcsolhatja a hibrid inverterek hálózatba való táplálását, ennélfogva a hibrid inverter képessége egy szigetüzemű napelem inverterére korlátozódik, amelynek felépítését az 1. ábra mutatja [3].



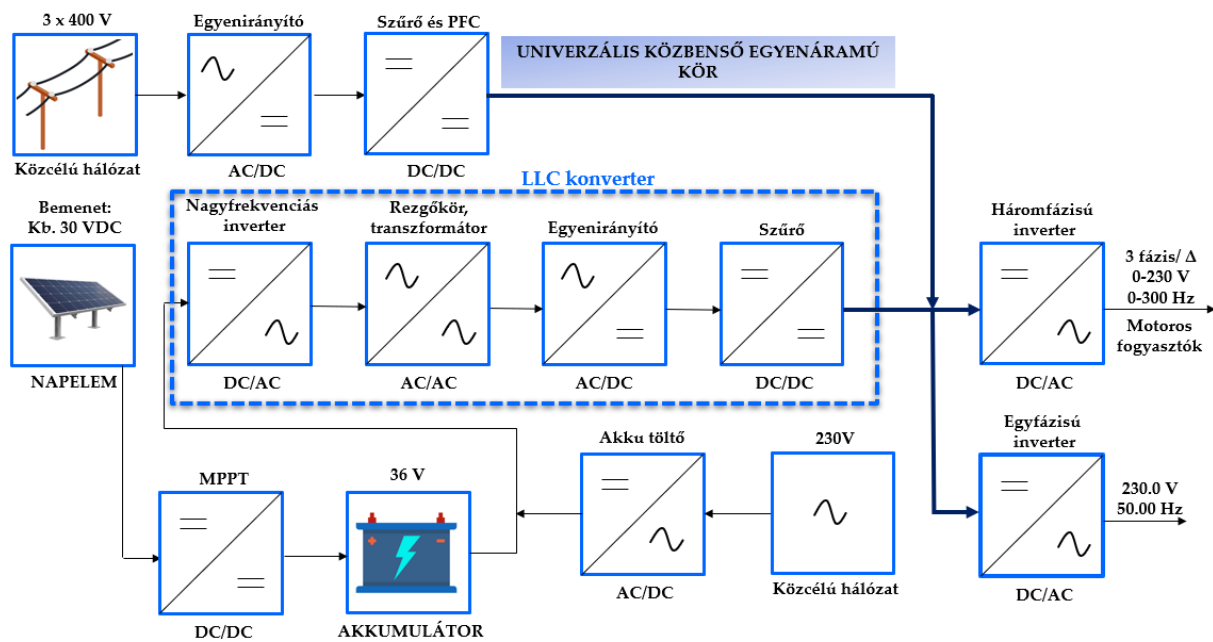
11. ábra: Szigetüzemű napelem inverter.

Az 1. ábrán látható, hogy a napelem az akkumulátort tölti egy MPPT (Maximum Power Point Tracker) töltésszabályozón keresztül. Az akkumulátor alacsony egyenfeszültségét egy feszültségnövelő DC/DC konverter növeli meg olyannyira, hogy a 230 V-os 50 Hz-es váltakozó feszültséget az inverter ebből képes legyen előállítani (nagyobb, mint $\sqrt{2}U_{DC}$). A DC/DC feszültségnövelő konverter lehet például: LLC rezonáns konverter, vagy flyback konverter. Az inverter kimenetén egy váltókapcsoló van (relé), amely üzemmódot vált a bypass és a

szigetüzem között. A napelem invertereket beállíthatjuk alapesetben úgy, hogy az akkumulátorból fedezzük az energiát a fogyasztó felé, és ha lemerül az akkumulátor, akkor a hálózati töltő tölti az akkumulátort (és ha van megfelelő fényintenzitás, akkor az MPPT szabályozóval egyszerre). Beállítható úgy is, hogy alapesetben hálózatról kapja a fogyasztó a villamosenergiát, és ha hálózatkimaradás lép fel, akkor a váltókapcsoló átvált, és az akkumulátorból szünetmentes jelleggel történik a táplálás, miközben a hálózati akkumulátor töltő tölti az akkumulátort, az MPPT szabályozóval egyszerre. Ennek a rendszernek a főbb hátránya, hogy nagy átkapcsolási tranziensek jönnek létre a váltókapcsoló miatt.

3. KOMBINÁLT SZÜNETMENTES ASZINKRON MOTOR HAJTÁS

Amennyiben rendelkezésre áll egy szigetüzemű napelem inverter és szükség van szünetmentes aszinkron motorhajtásra, a motort meghajtó frekvenciaváltó bemenetét a napelem inverter 230 V-os kimenetére kell csatlakoztatni. Ezen megoldás hátránya, hogy a frekvenciaváltón egy egyenirányító van, ami csökkenti a hatásfokot. Érdemes megfontolni azt, hogy ilyen esetekben nem egy napelem invertert és külön egy frekvenciaváltót telepítünk, hanem egy speciálisan kifejlesztett elektronikus átalakító berendezést használunk fel. Ilyen speciális berendezésre a 2. ábra ad példát, ahol a berendezés blokksémája tekinthető meg [4].



12. ábra: Szünetmentes aszinkron motor hajtás napelem inverterrel kombinálva

A berendezést a hálózat felőli oldalon háromfázisú, kétutas, hatütemű vezérelt egyenirányítón keresztül táplálja. Az egyenirányító típusát érdemes féligvezérelt tirisztorosra megválasztani. Ezzel beállítható olyan gyűjtásszög, hogy az egyenfeszültség 340 V legyen, mivel kb. ebből a feszültségből a veszteségeket figyelembevéve előállítható 230 V, a 2. ábra jobb oldalán található egyfázisú inverter segítségével. Ez az inverter a lakossági fogyasztókat képes ellátni. Az egyenirányító utáni közbenső egyenáramú kör univerzálisnak tekinthető, ugyanis egy és háromfázisú inverterek csatlakoztathatóak rá. A háromfázisú inverterrel az aszinkron motor megtáplálható, tetszőleges frekvenciával. Ebben az esetben delta kapcsolásban kell üzemeltetni, mert a vonali feszültség nagysága maximum 230 V lesz. Az univerzális közbenső egyenáramú kört tápláló egyenirányító kimenetére simító kondenzátort és teljesítménytényező korrekciós áramkört (PFC) szükséges alkalmazni. Egyrészt simítja az

egyenfeszültséget, másrészt az EU és más szabályozó hatóságok a harmonikusokra vonatkozó határértékeket szabtak meg a teljesítménytényező javítására. A jelenlegi EN61000-3-2 EU-szabványnak való megfeleléshez minden 75 wattnál nagyobb kimenő teljesítményű kapcsoló üzemmódú tápegységnek rendelkeznie kell teljesítménytényező javító elemmel [5].

Az univerzális egyenáramú kört táplálja továbbá az akkumulátor is, egy feszültségnövelő DC/DC konverteren át. A feszültségnövelő konverter hasonló típus lehet ebben az esetben is, mint a napelem inverterben. A 2. ábrán egy LLC konverter van feltüntetve [6]. A napelem az akkumulátort tölti az MPPT szabályozón keresztül.

Kisebb teljesítmények esetén érdemes lehet a napelemeket párhuzamosan kötni. Ennek az az oka, hogy ha a párhuzamosan kapcsolt napelemek egyike leárnyékolódik, akkor kisebb teljesítményvesztés jön létre, mint a sorosan kapcsolt esetben, mivel a sorosan kapcsolt napelemek áramát, már egy cella árnyékolása is képes nagymértékben csökkenteni. Mindemellett a leárnyékoló cella ellenállása eközben megnő, így nagyobb feszültség esik rajta, nagyobb Joule-féle hő jön rajta létre. Ezért a példában is 36 V-os akkumulátor csomag van feltüntetve, mivel a napelem munkaponti feszültségek többségében 30 V körül vannak, így az MPPT szabályozó képes tölteni az akkumulátort. Az akkumulátort nem csak a napelem képes tölteni, hanem a hálózat is, egy egyszerű hálózati akkumulátor töltőn keresztül.

A kombinált rendszernek több előnye is van:

- nincs átkapcsolási tranziens;
- egyszerre lehet táplálni a fogyasztókat a hálózatról és az akkumulátorról tetszőleges arányban;
- az inverter kimenetén létrejövő feszültség teljes harmonikus torzítása (THD) csökken;
- az univerzális közbenső egyenáramú kör könnyen bővíthető;
- a napelem inverter és a szünetmentes motorhajtás akkumulátor csomagja közös.

5. KÖVEZTKÉZTETÉSEK

A kutatómunka során ismertetett előnyök alapján érdemes megfontolni a jövőben egy olyan teljesítményelektronikai berendezés kifejlesztését, megépítését, amely kombinálja a szünetmentes/szigetüzemű napelem invertert és a szünetmentes aszinkron motor hajtást. Mindezekkel a rendszer költsége csökkenthető, miközben hatásfoka nő.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <https://slrsolar.hu/visszwatt-vedelem/> (megtekintve: 2022.11.20.)
- [2] <https://wattler.eu/2022/08/napelem-szabalyok/> (megtekintve: 2022.11.20.)
- [3] JASIM, A. M., JASIM, B.H., BUREŠ, V., MIKULECKÝ, P.: *A New Decentralized Robust Secondary Control for Smart Islanded Microgrids*. Sensors 22, 8709. p. 23. 2022.
- [4] BOROS, R.R., BODNÁR, I.: *Grid and PV Fed Uninterruptible Induction Motor Drive Implementation and Measurements*. Energies 15, 708. p. 18. 2022.
- [5] <https://www.digikey.hu/hu/articles/design-more-effective-power-factor-correction-using-wide-bandgap-semiconductors-and-digital-control> (megtekintve: 2022.11.22.)
- [6] BOROS, R. R, BODNÁR I.; *LLC Resonant Converter Design and Simulation for PV Motor Drives*, 2021 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC), p. 5, 2021.

NYÉKLÁDHÁZA MÁV 132/25 KV-OS VONTATÁSI ALÁLLOMÁS KORSZERŰSÍTÉSE

MODERNIZATION OF THE 132/25 KV TRACTION SUBSTATION OF NYÉKLÁDHÁZA MÁV

HAJDÚ Róbert¹, DOJCSÁK György², SOMOGYINÉ MOLNÁR Judit³

¹egyetemi hallgató, villamos üzemirányító, hajdurobert71@gmail.com
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142
MÁV Zrt., Pályavasúti Területi Igazgatóság Miskolc, Erősáramú Főnökség Miskolc;
H-3527 Miskolc, Tiszai

²területi erősáramú szakértő, dojcsakgyuri@gmail.com
MÁV Zrt., Pályavasúti Területi Igazgatóság Miskolc, Területi TEB osztály;
H-3530 Miskolc, Szemere 26.

³ PhD, egyetemi docens, gfmj@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

Kivonat: A tanulmányban a Nyékládháza 132/25 KV-os vontatási alállomás korszerűsítését mutatjuk be. A MÁV régi törekvése volt az alállomás korszerűsítése, hiszen hazánkban egyre nagyobb számban jelen lévő nagy teljesítményű villanymozdonyok miatt folyamatosan növekednek a vontatási energiaigények, ami miatt növelni kell az alállomások beépített teljesítményét is. Sajnos anyagi források híján a fejlesztés sokáig váratott magára. Végül 2010-ben megkezdődhetett Nyékládháza alállomás folyamatos átépítése, amely magába foglalta többek között a sorozatosan meghibásodó elavult távvezetési mezők, a transzformátorok szekunder oldali, a kitéplések berendezéseinek és a védelmek, valamint a transzformátorok primer oldali megszakítóinak cseréjét is. A korszerű üzemvitel ma már elképzelhetetlen távvezérlés nélkül, melyet a kialakított FET központ lát el.

Kulcsszavak: rekonstrukció, vontatási alállomás, távvezérlés, Nyékládháza, FET központ

Abstract: The study presents the modernization of the Nyékládháza 132/25 KV traction substation. It was a long-standing ambition of the MÁV to modernize the substation, since traction energy requirements are constantly increasing due to the increasing number of high-performance electric locomotives in Hungary, which made it necessary to increase the built-in capacity of the substations as well. Unfortunately, due to a lack of financial resources, the development took a long time. Finally, in 2010, the continuous reconstruction of the Nyékládháza substation could begin, which included, among other things, the replacement of the serially failing obsolete equipments of the transmission line, the secondary side of the transformers, power feeders and protections, as well as circuit breakers of the primary side of the transformers. Modern operation is now unthinkable without remote control, which is provided by the established FET center.

Keywords: reconstruction, traction substation, remote control, Nyékládháza, FET center

1. BEVEZETÉS

A MÁV Miskolci Igazgatóság területén lévő vasúti felsővezeték szakaszt négy 132/25 kV-os - újabban 132/27,5 kV-os - vontatási alállomás látja el, melyek Füzesabony, Nyékládháza, Szerencs és Encs településeken épültek. Ezek közül a kezelőszemélyzet nélküli, távvezérlésre alkalmas encsi alállomás épült a legkésőbb, az 1990-es években. Szerencs, Nyékládháza és Füzesabony alállomások az 1960-as években épültek. Szerencs alállomás rekonstrukciója 2019-ben fejeződött be. Füzesabony és Nyékládháza alállomások berendezései viszont

elavulttá váltak és ennek következtében egyre kevésbé tudták ellátni a korszerű, nagy teljesítményű mozdonyok, motorvonatok villamosenergia igényeit. Helyi kezelések, ezért nagy létszámú kezelőszemélyzetet is igényeltek. Mindezek miatt fejlesztésekre volt szükség. 2010-ben kezdődött meg Nyékládháza alállomás átépítése, de a szűkös anyagi források miatt csak kisebb lépésekben, fokozatosan valósulhatott meg. A végső átadásra 2022. szeptemberében került sor, melynek során Nyékládháza alállomás is távvezérlésre alkalmas állapotba került. A tanulmány célja ezen átalakítás előzményeinek és megvalósításának bemutatása.

2. VILLAMOS VONTATÁSI ALÁLLOMÁSOK A MÁV VONALHÁLÓZATÁN

Közismert, hogy a vasúti villamos vontatójárművek a működésükhöz szükséges energiát a felsővezetési hálózathoz veszik a tetőszerkezetükre épített áramszedő segítségével. Egy áramkört alkot az alállomási transzformátor, a felsővezeték, a vontatójármű és a vasúti pálya. A járműveken pedig az áramkör elemei: az áramszedő, az áramszedőket összekötő gyűjtősín, a jármű villamos hajtásának elemei és a jármű kerekei.

A vontatási alállomások feladata, hogy a távvezetékrendszeren keresztül érkező villamos energiát a vontatójárművek üzemének megfelelő feszültségű és áramrendszerű villamos energiává alakítsák át. Ezen kívül elláthatnak a vontatástól független energiaellátási feladatokat is [1]. Ilyen pl. a váltó- és előfűtés vagy a biztosító berendezések segédüzemi transzformátorai.

A vontatási áramkör kiindulópontja a transzformátor. A szekunder oldal egyik kivezetése a kitápláló vezetékre csatlakozik, a másik a sínhálózatba. A vontatási áram útja a transzformátor szekunder kapcsától indul, a felsővezetési rendszeren keresztül éri el a vontatójárművet, majd azon áthaladva a sínhálózaton és a földön keresztül tér vissza a földpotenciálra lévő kapocsig [2].

Hazánkban jelenleg a villamos vontatási rendszer 27,5 kV feszültséggel, 50 Hz frekvenciával működik, ugyanakkor a gyakorlatban a felsővezeték-hálózaton még a korábbi rendszerből közismert 25 kV-os névleges feszültség szintet használják. Alállomási környezetben a névleges szekunder feszültség szint 27,5 kV és erre kellett méretezni az alállomási villamos készülékeket és berendezéseket. A villamos vontatási energiát a 132 kV-os országos főelosztó hálózathoz vételezik, amit transzformátorok segítségével alakítanak át 27,5 kV-os feszültség szintre. Ezzel az egyfázisú feszültséggel van megtáplálva a vasúti felsővezeték. A transzformátorok és egyéb erősáramú készülékek, berendezések a villamos vontatási alállomásokon kapnak helyet, melyek a vasútvonal mentén rendszerint 50-60 km-enként helyezkednek el egymástól. A transzformátorok két fázist használnak fel villamosenergia vételezésre. Így az országos háromfázisú főelosztó hálózatot aszimmetrikusan terhelik. Az aszimmetria csökkentésére különböző megoldások használatosak. Leginkább elterjedt, hogy a szomszédos alállomások transzformátorai eltérő fázisokat használnak. Emiatt a 27,5 kV-os feszültségek fázisa is eltér egymástól, ezért a fázisok közötti zárlat elkerülése érdekében a tápszakaszok találkozásánál elválasztó, ún. vonali fázishatárt létesítenek. Az egyes alállomások általában a vasútvonal mentén két vagy három irányban táplálnak. A tápszakaszokat itt az alállomás előtti fázishatár választja el egymástól.

A vontatási alállomások különböző részekre, ún. mezőkre oszthatók fel:

- a távvezetési mezők szakaszolókkal csatlakoznak a távvezeték rendszerhez. Ide sorolhatóak a védelmek és műszerek működéséhez szükséges mérőváltók, valamint a gyűjtősínszakaszoló is. Az üzemi és a zárlati áramok megszakítására régebben olaj ívöltő közegű, újabban SF6 (kén-hexafluorid) gázszigetelésű és oltóközeggel rendelkező megszakítókat alkalmaznak. A távvezetési mezők és a transzformátor mezők gyűjtősínszakaszolókkal kapcsolódnak a gyűjtősínrendszerhez, amely általában egyrendszerű vagy kettős gyűjtősín. Ez a 132 kV-os berendezések közös

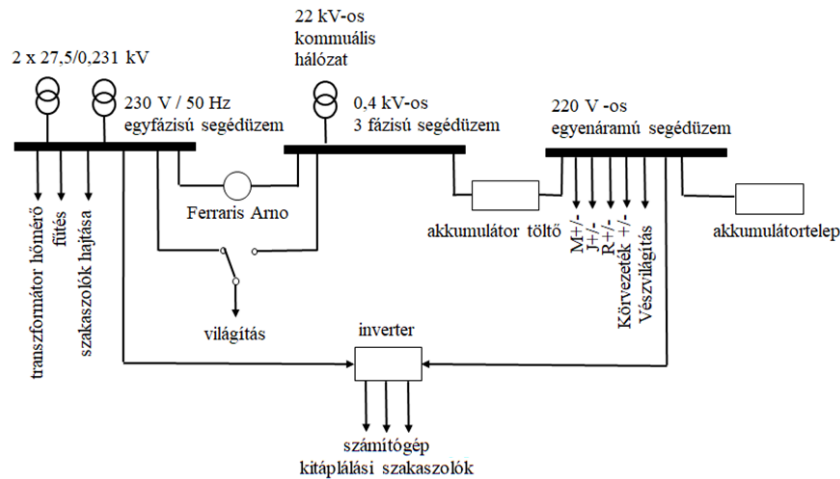
csatlakozási pontja.

- a 132 kV-os sínáthidaló mező. Kettős gyűjtősín esetén alkalmazzák. Gondoskodik a két egyenrangú gyűjtősín összefogásáról. A vontatási alállomásokon különleges szerepet kap. A transzformátorok ezen keresztül kapcsolódnak az országos hálózathoz. Így ez egy energia biztonsági lépcsőt képez a vasút és az országos főelosztó hálózat között.
- a transzformátor mezők a gyűjtősínrendszer két fázisára csatlakoznak. Az alállomás legértékesebb berendezései az olajhűtésű, természetes olajáramlású radiátorokkal ellátott villamos vontatási transzformátorok, melyeknek egységteljesítménye 2x6-, 12- és 16 MVA. A transzformátorok feszültségátétele 126/26,3 kV vagy újabban 132/27,5 (2x27,5) kV. A primer oldalon két fázisra kapcsolódnak, itt földelt pontjuk nincs, míg szekunder oldalon az egyik kivezetése a kitáplálásokon keresztül a felsővezetékre, a másik a földelőgyűjtősínen keresztül a vasúti sínre csatlakozik. A feszültség előírt szinten tartása érdekében a 12- és 16 MVA teljesítményű transzformátorok primer oldalon feszültség szabályozóval rendelkeznek, amivel általában 19 fokozatban +/- 16 % -kal változtatható a feszültség. A szabályozás történhet automatikusan, vagy kézi vezérléssel. A 2x6 MVA teljesítményű transzformátor egységek feszültségátétele nem változtatható. A transzformátoroknál a százalékos rövidzárási feszültség (drop) jellemzően 8-12% között van, korlátozva ezzel a zárati áramokat.
- a kitáplálási mezők segítségével végezhető el a felsővezeték feszültség alá helyezése, ami a gyakori zárlatok miatt mindig vonalvizsgálattal kezdődik. A vonalvizsgáló ellenálláson keresztül csökkentett árammal (10-20 A) lehet vizsgálni a felsővezeteki tápszakaszt. Bekapcsoláskor a mért értékekből megállapítható a fennálló zárlat anélkül, hogy a zárati áram meghaladná a 20 A-es értéket. Ha a szakasz nem zárlatos, a vonalvizsgáló ellenállással párhuzamosan kapcsolt szakaszoló (próbaszakaszoló) bekapcsolásával, az ellenállás söntölésével fejezhető be a vonal feszültség alá helyezése.

Az alállomás üzemviteléhez szükségesek kapcsoló-, védelmi-, jelző- és egyéb kiegészítő, ún. segédüzemi berendezések is. A segédüzem négy részre osztható az *1. ábrán* látható módon [3]:

- az egyfázisú váltakozó áramú segédüzem 230 V feszültségű, egyfázisú táplálást biztosít, amely alkalmas a világítás, a fűtés és a nem kiemelt fontosságú motoros fogyasztók ellátására. Az egyfázisú váltakozó áramú segédüzemhez szükséges energiát a házi transzformátorok szolgáltatják, amik a 27,5 kV-os gyűjtősínre csatlakoznak.
- a háromfázisú váltakozó áramú segédüzem olyan fogyasztókat lát el energiával, amelyek háromfázisú betáplálást igényelnek. Ilyen fogyasztó lehet az akkumulátortöltő és a műhelyi villamos motorok, valamint a vontatási transzformátorok hűtőventilátorainak és fokozatszabályozójának motorja. Ezt az áramszolgáltatói hálózatról üzemelő transzformátor biztosítja. Mivel az energiaellátást áramszolgáltatói kimaradás esetén is biztosítani kell, vagy szükséges egy 1/3 fázisú átalakító (Ferraris-Arno gépcsoport), vagy lehet tartalék betáplálás is áramszolgáltatói hálózatról.
- az egyenáramú segédüzem a legfontosabb alállomási berendezéseket látja el energiával, melyek a védelmi-, kapcsoló- és jelzőberendezések. Ennek megfelelően több, egymástól független áramkörre van felosztva: működtető, jelző, reteszelő, körvezeték és vészvilágítás áramkörök, melyek külön gyűjtősínről vannak megtáplálva. Az akkumulátor telep feszültsége 220 V, kapacitása legalább 12 órára elegendő. Töltéséről az akkumulátor töltő gondoskodik puffer üzemben.

- a szünetmentes áramellátás. Az alállomás üzemében kiemelt fontosságú váltakozó áramú fogyasztók ellátása az egyfázisú szünetmentes áramellátó berendezésről történik. A berendezés megáramlását az egyenáramú segédüzem és az egyfázisú segédüzem biztosítja. Az alaphelyzet az inverteres üzem. Az egyenáramú táplálás kiesése esetén automatikusan átkapcsol a váltakozó áramú megáramlásra.



1. ábra: Segédüzemi berendezések.

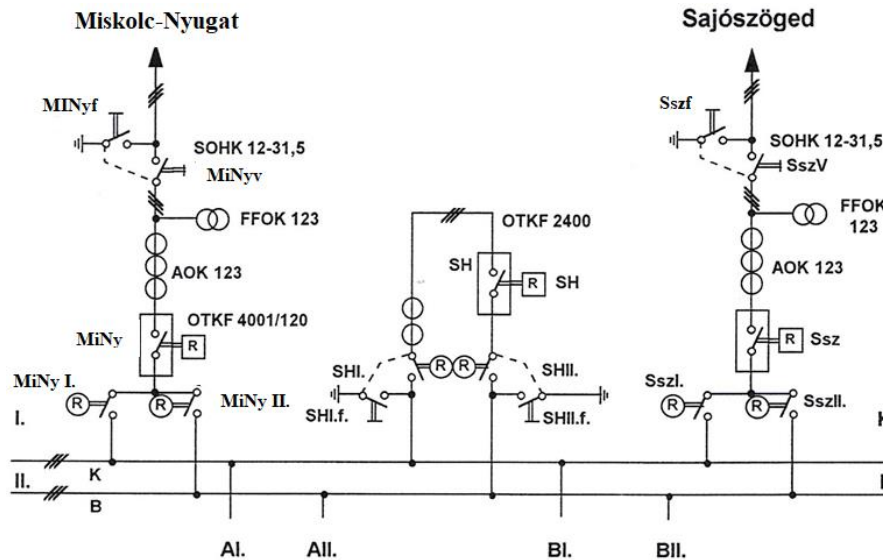
A vontatási alállomásokon is megtalálhatjuk az áramszolgáltatónál megszokott védelmeket. A transzformátornál differenciál és Buchholz védelmeket alkalmaznak. A távvezetéki mezőkben a régebben alkalmazott elektronikus távolságvédelmek helyett ma már digitális távolságvédelmekkel találkozunk. Tartalék védelemként az autonóm zárlati tartalék védelem (AZT) jön szóba. Ennek alkalmazása azért fontos, mert üzemzavar esetén előfordulhat, hogy megszűnik az egyenáramú ellátás. Ilyenkor a védelmi rendszer működésképtelenné válik. Ezt a hibát küszöböli ki a tartalék védelem, ami a zárlati áram energiáját használja fel a kioldásra, így működéséhez nem szükséges egyenáram [4]. A villamos vontatásban speciálisan alkalmazott védelmek és automatikák:

- a BBC-S gyorsfokozattal rendelkező, független késleltetésű túláramvédelem. Ezt ma már csak néhány régebbi alállomáson alkalmazzák.
- a MÁV AB Protecta automatika, amely gyakran alkalmazott megoldás. A védelem három fokozatú impedancia védelmet, túlterhelés védelmet és ellenállás túláram védelmet is tartalmaz.
- az E4-DKTVA kitáplálási védelem, melyet manapság a leggyakrabban szerelnek be. A MÁV specifikus, Protecta gyártmányú készülék a magyarországi vasúti felsővezetékek alapvédelmét képes korszerű módon ellátni. Alkalmas mozdonyok visszatáplálását is kezelni normál és zárlatos üzemben egyaránt.
- a potenciálvédő automatika segít elkerülni az országos hálózaton alkalmazott 1 és 3 fázisú kioldás és az ezt követő automatikus visszakapcsolás miatti, a villamos mozdonyok üzemében és a 132 kV-os berendezésekben potenciálisan fellépő zavart.

3. A KORSZERŰSÍTÉS ELŐTTI ÁLLAPOT

A Nyékládháza alállomás a Miskolc-Nyugat - Sajószöged távvezeték felhasításával csatlakozik az országos távvezeték hálózathoz. A 2. ábrán megfigyelhető, hogy a 132 kV-os szabadtér két gyűjtősínes rendszerű. Mindkét gyűjtősín az országos főelosztó hálózat része. Szabványos állapotban mindkét távvezeték az I-es gyűjtősínrre táplál és ezen keresztül vannak

összekötve a távvezetékek. A II-es gyűjtősín az üzemszerűen bekapcsolt sínáthidaló mezőn keresztül van megápolva, melynek L1 és L2 fázisáról vételez a két vontatási, vonali feszültségre kapcsolt egyfázisú transzformátor. Ennek az elosztásnak a lényege, hogy a vasút villamosenergia-ellátása ne közvetlenül a távvezetésekről, hanem egy közbeiktatott sínáthidaló mezőn keresztül legyen biztosítva, így egy közeli, pl. állomási zárlat esetén ez a védelmi lépcső leválasztja a vasúti berendezéseket az országos hálózatról, biztosítva ezzel annak zavartalan üzemét.



2. ábra: Távvezeteki és sínáthidaló mezők [5].

A korábban ismertetett mezők alapján csoportosíthatóak a korszerűsítés előtti állapotot jellemző legfontosabb berendezések és védelmek, melyet az 1. táblázat foglal össze. A táblázatban említett néhány berendezést a 3-4. ábrákon láthatunk.



3. ábra: OTKF 4001 120/1000 típusú megszakító; „A” transzformátor; kitáplálási mezők.



4. ábra: BBC-L3 távolságvédelem; BBC-S gyorsfokozattal rendelkező túláramvédelem; VA-2 típusú vasúti potenciálvédő automatika.

1. táblázat: A korszerűsítés előtti állapotot jellemző berendezések.

Távvezetési mező elemei	Vonali szakaszoló: SOHK típusú (oszlop kialakítású szigetelővel, horizontális késmozgású, $I_n=1.000$ A).
	Feszültségváltó: FFOK 123 típusú (olajszigetelésű, gázpárnás).
	Áramváltó: AOK-123 típusú (olajszigetelésű, gázpárnás).
	Megszakító (a 3. ábrán látható): OTKF 4001 120/1000 típusú (névleges árama 1.000 A, zárlati teljesítménye 4.000 MVA).
132 kV-os sínáthidaló mező elemei	Sínáthidaló I-es és II-es szakaszolók: SOHK ($I_n=1.250$ A).
	Áramváltó: AOK-123 típusú (olajszigetelésű, gázpárnás, áttétele 500/5/5/5 A).
	Megszakító: OTKF 4001 120/1000 típusú.
Transzformátor mezők elemei	Gyűjtősín szakaszolók: SOHK (névleges áramuk 1.250 A).
	Primer oldali megszakítók: OTKF 4001 120/1000 típusú.
	Áramváltók: AOK-123 típusú.
	Szekunder oldali kisolajterű megszakítók: OTKFE 250 típusú ($I_n=600$ A, zárlati teljesítményük 250 MVA).
	Áramváltó a szekunder oldali kivezetésbe építve: AHOS 35 típusú (áttétele 500/5A).
	„A” transzformátor (3. ábra): EHF 6000/120 típusú (126.000/26.300 V áttételű, drop 9 %, $I_n=47,6/228$ A).
	„B” transzformátor: EOF 7999/120 típusú (126.000/26.300 V áttételű, drop 9 %, $I_n=47,6/228$ A).
Kitáplálási mezők elemei	Áramváltó: CESU típusú (3. ábra).
	Feszültségváltó: TEBU típusú (3. ábra).
Segédüzemi berendezések	Egyfázisú segédüzemnél: 2 db 26.300/231 V feszültség áttételű ún. háziüzemi transzformátor.
	Háromfázisú segédüzemnél: 22/0,4 kV-os, 100 kVA teljesítményű transzformátor.
	BBC-L3 távolságvédelem (4. ábra).
	RIZ-101 korlátoltan függő késleltetésű túláram-idő védelem.

Védelmi berendezések, automatikák	BBC-S gyorsfokozattal rendelkező, független késleltetésű túláramvédelem (4. ábra) a transzformátorok primer és szekunder oldali túláramvédelméhez a Buchholz, differenciálvédelem és az AZT mellett.
	VA-2 típusú vasúti potenciálvédő automatika (4. ábra).
	A primer oldali megszakítókat működtető védelmek: BBC-S túláram-idő védelem, differenciál védelem, Buchholz védelem, VA-2 potenciál védelem, AZT ₀ tartalékvédelem.

4. A KORSZERŰSÍTÉS CÉLJAI

Egy mai korszerű villamos alállomásnál - legyen az vasúti vagy áramszolgáltatói - elvárható, hogy legyen alkalmas távkezelésre, mellyel a költséghatékonyabb működést segíthetjük elő. A telemechanizálás emellett a mérés-adatgyűjtésben is segíti a felhasználót ezáltal megkönnyíti statisztikák, archív trendek készítését. Nyékládháza alállomás fejlesztése során a cél az volt, hogy az alállomás a miskolci Felsővezetéki Energia Távvezérlő (röviden: FET) központból alkalmas legyen távkezelésre. Az állandó kezelőszemélyzet nélküli állapot eléréséhez egyúttal tűz- és vagyónvédelmi fejlesztések is szükségesek voltak. Az előző fejezetekben bemutatott berendezések többsége sajnos nem volt alkalmas távvezérlésre, így ezek cseréje elkerülhetetlen volt a fejlesztés során, de az üzembiztonság fokozása érdekében egyéb berendezések cseréje is szükséges volt. Ezen kívül az irányítástechnika teljes körű kialakítását is el kellett végezni. Az irányítástechnikai rendszernek számos feladata van, például a készülékek állásjelzéseinek összegyűjtése és megjelenítése, a távvezérelhető berendezések működtetése a kezelőfelületről, a fontosabb állapotok megjelenítése, a reteszelések kezelése vagy a vezérlések fogadása.

A rendszer fejlesztése során az alábbi követelményeket kellett figyelembe venni:

- Az alkalmazni kívánt irányítástechnikai készülékek digitális alapúak legyenek.
- A rendszer ne igényeljen rendszeres helyszíni felügyeletet.
- A rendszerrel kapcsolatos valamennyi információ, állapotjelzés, beavatkozás legyen elérhető távkezeléssel.
- Ki kell alakítani az egységes időalapot a védelmi és irányítástechnikai berendezések számára [6].

5. A KORSZERŰSÍTÉS MEGVALÓSÍTÁSA

A fent ismertetett követelményeknek megfelelően kellett tehát kiválasztani és a fejlesztés során beépíteni a berendezéseket. A kiválasztandó berendezéseket két csoportra oszthatjuk: erősáramú berendezések, valamint védelmek és automatikák.

Az erősáramú berendezések csoportjából, elsőként a távvezetéki és a sínáthidaló mezők berendezései lettek kicserélve. Mindhárom mezőbe Koncar típusú áram- és feszültségváltó került beépítésre. A digitális védelmekhez célszerű lett volna 1 A szekunder áramú áramváltók alkalmazása, de a még meglévő elektronikus védelmek miatt 5 A-es áramváltókat kellett választani. Így lett az áttételük 500/5/5/5 A. Mindhárom mag látszólagos teljesítménye 45 VA. Ebből egy mag mérési célokat szolgál, kettőt az alap és a tartalék védelmek részére használunk.

A régi, kisolajterű megszakítót az 5. ábrán látható korszerű, 7E1/13/C1024 A Koncar típusú megszakító váltotta fel. Ez sokkal jobban illeszthető az irányítástechnikai rendszerhez. Sajnos a transzformátorok cseréjére anyagi okokból nem kerülhetett sor. Helyette a felújításuk történt meg, mely tartalmazta a tekercsek cseréjét, a festést, a mechanikai védelmek, valamint az olaj cseréjét. A transzformátorok szekunder oldali és a kitáplálási megszakítói az 5. ábrán megfigyelhető vákuumkamrás VXA 6316/27 típusú megszakítókra lettek cserélve. Névleges áramuk 1.600 A, névleges feszültségük 27,5 kV. Karbantartás igényük kicsi, csak 10.000

kapcsolás után szükséges a mechanika felülvizsgálatuk. A kitáplálási mezők áram- és feszültségváltói műgyanta Koncar típusúakra lettek cserélve.



5. ábra: 7E1/13/C1024 A Koncar típusú megszakító; Vákuumkamrás VXA 6316/27 típusú megszakító.

A védelmek és automatikák tekintetében a távvezetéki, a transzformátor és a kitáplálási védelmek cseréje valósult meg a következők szerint. A 6. ábrán látható Protecta gyártmányú DTVA-EP ötfokozatú, poligon karakterisztikájú távolságvédelem lett kiválasztva. A készülék rendelkezik gyors és lassú visszakapcsoló fokozattal és százalékos értékben kijelzi a zárlat bemért helyét, valamint a fázisokat, amelyekre működött.

A transzformátorok elektronikus és elektromechanikus védelmei helyett az E1-DTD2 differenciálvédelem (6. ábra) került kiválasztásra és beszerelésre, amely már lényegesen több funkcióval rendelkezik, mint az elődje. A differenciálvédelmi funkción kívül bekapcsolási áramlökést csökkentő funkciója is van. Ezen kívül képes kezelni az olyan mechanikai védelmeket, mint a gázvédelem, tekercs és olajhőfok védelem. Illesztésénél ügyelni kellett arra, hogy ez más kommunikációs protokollt használ, mint a DTVA-EP távolságvédelmi automatika. Itt MM optikai patch kábeles hálózat épült ki, amelyen IEC 61850 protokollon történik a kommunikáció. A transzformátorok védelmi rendszere kiegészült a 6. ábrán látható E3-DTRV2 digitális transzformátorvédelmi automatikával is. A két transzformátor védelem összehangoltan működik egymással és a kitáplálási védelemmel is, így ezek egymásra épülő védelmi rendszert alkotnak. Az E1-DTD2 differenciálvédelem az E3-DTRV2 digitális transzformátor védelem tartalékvédelme. Kitáplálási védelemként (a felsővezeték védelmére) az E4-DKTVA Protecta gyártmányú készülék lett kiválasztva és beépítve. Ez egy 3 fokozatú impedancia védelem visszakapcsoló automatikával. Az E3-DTRV2 a kitáplálási védelem tartalékvédelmeként is szolgál. Primer oldalon pedig most már a 6. ábrán látható AZT+ látja el a tartalékvédelmi funkciót.



6. ábra: Protecs DTVA-EP távolságvédelem; Digitális transzformátor (E3-DTRV2) és differenciálvédelem (E1-DTD2); AZT+ tartalékvédelem.

Kiemelt feladat volt a 132 kV-os megszakítók kiválasztása. A távvezetéki megszakítók és a transzformátorok primer megszakítójának kiválasztásánál figyelembe kellett venni a következő paramétereket: feszültség, frekvencia, áram és zárlatbiztonság. Fontos volt, hogy a beépítés helyén kialakuló tényleges értékek ne haladják meg a készülék névleges értékeit, melyhez méretezési számításokat kellett végezni. Szimmetrikus háromfázisú zárlat esetén egyfázisú helyettesítőkép készíthető, így elegendő volt egy fázisra elvégezni a számításokat [7, 8].

A hálózat névleges feszültsége 132 kV (U_{sz}), azonban a közeljövőben várható a hálózat feszültségszintjének emelése 132 kV-ról 145 kV-ra, ezért egy magasabb feszültségszintű készülék beszerzése volt szükséges. Így esett a választás a 7E1-I-145 típusú Koncar megszakítóra. A mögöttes hálózatot a csatlakozási pontnál fellépő zárlati teljesítménnyel jellemezhetjük, ami a 132 kV-os főelosztó hálózati csomópontokban, vidéki szakaszokon általában 4.000 MVA (S_{zm}) értéket jelent [9]. Az I_{zm} zárlati áramra az alábbi összefüggést írhatjuk fel:

$$I_{zm} = \frac{S_{zm}}{\sqrt{3} \cdot U_{sz}} = \frac{4.000 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 132 \text{ kV}} = 17,49 \text{ kA}. \quad (1.)$$

Mivel a Koncar megszakító névleges megszakítási árama 31,5 kA, így alkalmas a feladat ellátására. A következő feladat a zárlatbiztonságra vonatkozó számítások (dinamikus és termikus határáram) elvégzése volt. A dinamikus szilárdságra történő méretezés a [10] forrás alapján az alábbi formulával tehető meg:

$$I_{zcs} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{zm} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 17,49 \text{ kA} = 44,52 \text{ kA}, \quad (2.)$$

ahol:

- I_{zcs} a zárlati áram csúcsértéke,
- κ értéke a zárlati áramkör R/X viszonyától függ, melynek értékét a legkedvezőtlenebb esetre 1,8-nek szokás figyelembe venni.

A Koncar megszakító dinamikus határárama 80 kA, amely nagyobb, mint a kiszámított zárlati áram csúcsértéke, tehát a kiválasztott berendezés megfelelő. Az I_{term} termikus zárlati áramot a zárlati áram (I_{zm}) és fennállásának ideje (t) együttesen határozza meg az alábbi formula szerint:

$$I_{zm} \cdot \sqrt{t} = I_{term} \cdot \quad (3.)$$

Méretezéskor a [10] alapján a t_{term} termikus időhatárt (amely katalógusadat alapján 3 s-nak tekinthető) is figyelembe kell venni, így az alábbi összefüggés adódik:

$$I_{zm} \cdot \sqrt{t} \leq I_{term} \cdot \sqrt{t_{term}} \quad (4.)$$

A fenti képletből kifejezve \sqrt{t} -t és behelyettesítve az értékeket ($I_{term} = 31,5 \text{ kA}$), megkapjuk a védelem működési idejét:

$$\sqrt{t} \leq \frac{31,5 \text{ kA} \cdot \sqrt{3 \text{ s}}}{17,49 \text{ kA}} = 3,12 \text{ s} \quad (5.)$$

Tehát a védelem működési ideje legyen kisebb, mint 3,12 s.

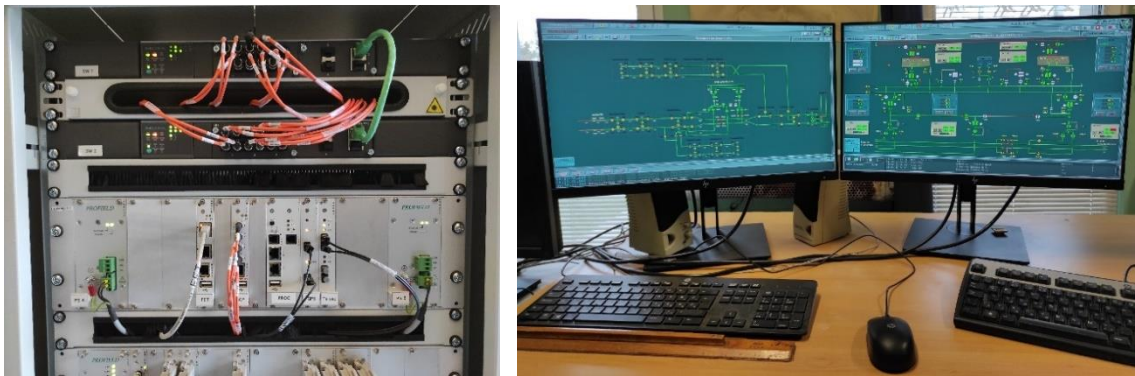
A transzformátorok primer megszakítójának méretezése során szintén a 132 kV-os gyűjtősín háromfázisú zárlati áramából lehetett kiindulni. Ennek az az előnye, hogy a nagyobb zárlati árammal történő méretezés során fokozzuk a biztonságot. Ekkor a dinamikus szilárdságra a (2.) képlethez hasonlóan ugyanúgy 44,52 kA adódik. Sajnos a transzformátorok primer oldali megszakítójának cseréje már nem fért bele felújítás költségvetésébe, így más megoldást kellett találni. Újszász alállomás rekonstrukciójából megmaradt 4 db, kb. 5 évet használt Auto-Puffer elven működő LTB-145 típusú ABB megszakító. A megszakítási árama 40 kA, ami nagyobb, mint a méretezés alapjául szolgáló zárlati áram 17,49 kA-es értéke, tehát megfelelt a műszaki paramétereknek.

6. FET KÖZPONT

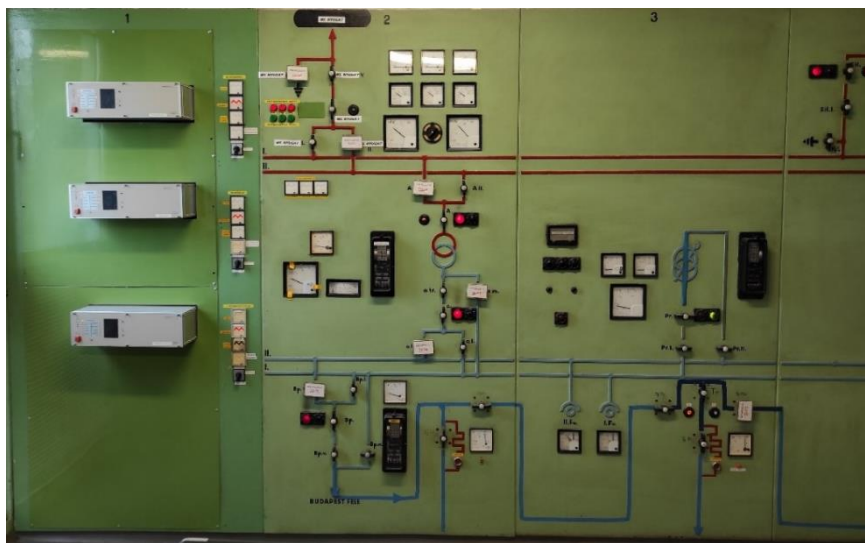
A Felsővezetéki Energia Távvezérlő (FET) központ áttekinthetőbb, gazdaságosabb és biztonságosabb üzemeltetést, üzemzavarok esetén gyorsabb reagálást, valamint egységes naplók és nyilvántartások kezelését teszi lehetővé. Az irányítástechnikai rendszer főbb elemei a regionális FET központok, alállomási irányítástechnikai rendszer és a vasútállomási irányítástechnikai rendszer. A regionális FET központok teljes országrészek vasúthálózatának villamos üzemirányítását látják el. A kommunikációhoz a MÁV saját tulajdonú optikai hálózatát használják, így a FET kezelőközpontok rugalmasan áthelyezhetőek és távdiagnosztika is végezhető velük. Az alállomási irányítástechnikai rendszer FET központból történő irányításra készül, de alkalmas helyi üzemirányításra, szükség esetén a teljes felettes szint feladatának átvételére is. Ehhez minden alállomáson kialakításra kerül egy helyi adatmegjelenítő munkahely. A vasútállomási irányítástechnikai rendszer pedig a kapcsolókerti szakaszolók vezérlését biztosítja.

A Nyékládháza alállomás távkezelésének kialakítását előkészítette, hogy 2010-ben a Miskolc Erősáramú Főnökség épületében FET központ létesült. A Nyékládháza alállomás továbbfejlesztése során a meglévő Prolan rendszerű diszpécserközpontba kellett integrálni az alállomást, így célszerű volt Prolan irányítástechnikai berendezéseket választani a feladathoz. A védelmi és irányítástechnikai kommunikációhoz Nyékládháza alállomáson 2 db switch került beszerelésre az alállomási fejjel együtt (7. ábra), melyek az alállomási automatizálásban elterjedt IEC 61850-3 szabvány szerinti kommunikációt alkalmaznak. A helyi adatmegjelenítő (HAM) céljára HP gyártmányú PC-t telepítettünk 2 db monitorral. A 7. ábrán megfigyelhető, hogy a HAM alkalmas az alállomás felügyeletére és a tápszakaszhoz tartozó távvezérelhető objektumok kezelésére egyaránt, így regionális FET funkciót is elláthat és alkalmas arra, hogy szükség esetén Miskolc FET központ kihelyezett munkahelye legyen. Ezenkívül vész-

tartalékként megmaradt a 8. ábrán látható alállomás helyi kezelését biztosító vezénylőtábla is.



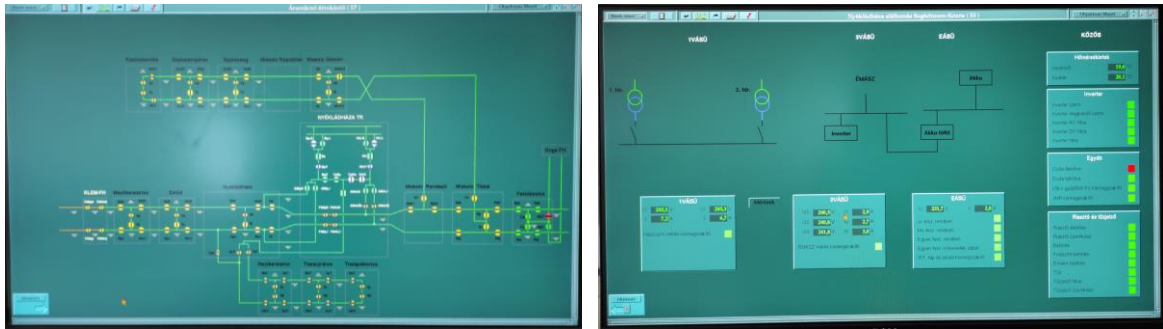
7. ábra: Fejgép és a 2 db switch; Helyi adatmegjelenítő munkahely.



8. ábra: Vezénylőtábla részlet.

A fejlesztés eredményeképpen a Miskolc FET központban a villamos üzemirányítói feladatokat két munkahelyről lehet végezni. Alaphelyzetben az egyik munkahelyről Szerencs alállomást és tápszakaszát, míg a másik munkahelyről Nyékládháza és Encs alállomásokat, valamint tápszakaszait lehet kezelni. A megjelenítést a Prolan Zrt. saját fejlesztésű Zeus SCADA villamosipari távkezelő rendszere látja el. A 9. ábrán láthatjuk Nyékládháza alállomás tápszakaszát a hozzá tartozó vasútállomási kapcsolókeretek sarki szakaszolóival. Zöld szín jelzi a távvezérelt szakaszolókat, sárga szín a helyi kezelésűeket. Utóbbiak működtetését a vasútállomások forgalmi szolgálattevői végzik és sajnos nincs visszajelzés a szakaszolók állapotáról, így ezt a kezelőnek manuálisan kell átállítani a sémaképen a forgalmi szolgálattevő jelentései alapján. A színezés azonban feszültségfüggő logikai úton működik, tehát a bekapcsolt szakaszolókat figyelembe véve láthatjuk a feszültség alatt álló részeket. Ezek zöld színűek, a kikapcsolt részek narancssárgák, a földelt szakaszok pedig feketék. A 9. ábrán egyúttal megfigyelhetjük a segédüzemi berendezések, valamint a riasztó és a tűzjelző állapotait is.

A 10. ábrán megfigyelhetjük, hogy az alállomás primer berendezéseinek megjelenítése két külön képen történik. Az egyik az ÉMÁSZ KDSZ üzemirányítása alá tartozó 132 kV-os berendezések (távvezetékek, sínáthidaló mező és a transzformátor mezők primer oldali berendezései), míg a másikon a 27,5 kV-os berendezések láthatóak (132 kV-os gyűjtősín, transzformátor mezők, 27,5 kV-os kapcsolótéri készülékek és kitáplálások).



9. ábra: Nyékládháza alállomás tápszakasza a Miskolc FET központban; Segédüzemi berendezések.



10. ábra: 132 kV-os berendezések sémaképe; 27,5 kV-os berendezések sémaképe.

7. KÖVETKEZTETÉSEK

A bemutatott irányítástechnika kialakításával megvalósult fejlesztés jelentős mérföldkő a Miskolci Erősáramú Főnökség működésében. Az irányítás azonban csak akkor lesz teljes, ha a vasútállomási irányítástechnikát is sikerül kiépíteni. Ekkor már a kapcsolókeri szakaszolók működtetése is távvezérelhetővé válik. Ez Nyékládháza alállomás tápszakaszán egyelőre csak Felsőzsolca állomáson áll rendelkezésre, a többi állomáson még nem. Közelebbi cél a transzformátorok primer oldali megszakítóinak cseréje, amire a szükséges berendezések már rendelkezésünkre állnak.

A jövőben várhatóan tovább fog emelkedni az energiaigény az új, nagy teljesítményű villanymozdonyok, motorvonatok fokozatos elterjedése miatt. Ezt a megnövekedett energiaigényt az alállomás jelenlegi beépített teljesítménye már valószínűleg nem fogja tudni kielégíteni. További probléma, hogy a jelenlegi transzformátorok fix megcsapolásúak, és így a feszültségük nem változtatható. Ezzel a vasútüzem jelentette dinamikusan változó energiaigényhez kevésbé tudnak alkalmazkodni. Egyrészt a terhelés növekedésekor lecsökkenő feszültség okozhat problémát. Másrészt a féküzemben közlekedő villanymozdonyok által visszatáplált többletenergia megnöveli a felsővezeteki hálózat feszültségét. Szabályozási lehetőség nélkül így a felsővezeték hálózat feszültsége könnyen a szabvány által előírt határokon kívülre eshet.

Végző cél tehát a teljes rekonstrukció, amely a vontatási transzformátorok cseréjét is tartalmazza. Ezen fejlesztések kivitelezése azonban az anyagi forrásokon kívül üzemeltetési nehézségbe is ütközik. Az átépítés alatt ugyanis az alállomás tápszakaszát a szomszédos alállomásoknak kell biztosítani. Így azok karbantartása vagy esetleges üzemzavara esetén nincs tartalék táplálási lehetőség. Mindez hosszú időt és alapos tervezést igényel majd.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CSOMA, A: *Nagyvasúti villamos vontatás felsővezetéki berendezései I.* Vasúti Erősáramú Alapítvány, Pécs, 2018.
- [2] KOVÁCS, K., KÖKÉNYESI, M.: *Vasúti villamos felsővezeték I.* Komáromi Nyomda és Kiadó Kft., Budapest, 2013.
- [3] MARTINOVICH, I., MIHÁLY, I.: *Nagyfeszültségű villamos berendezések.* MÁV Tisztképző Intézet, 1978.
- [4] https://www.protecta.hu/files/files/41617/azt_v2.0_hun_e31e.pdf (letöltés dátuma: 2022. október 14.)
- [5] Kezelési és Végrehajtási Utasítás Nyékládháza 132/25 kV-os MÁV vontatási transzformátorállomás üzemeltetői személyzet számára.
- [6] PÓKA, GY: *Villamos energiarendszer védelme és automatikája.* Tankönykiadó, Budapest, 1976.
- [7] NOVOTNY, F.: *Villamos energetika I.* BMF KVK 2050, Budapest, 2009.
- [8] MORVA, GY.: *Villamosenergetika.* Edutus Főiskola, Tatabánya, 2012.
- [9] BODNÁR, I.: *Villamosenergetika és biztonságtechnika.* Miskolci Egyetem, 2019.
- [10] MÁV ZRT. BELSŐ ANYAG

DÍZEL, CNG ÉS ELEKTROMOS BUSZOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

COMPARISON OF DIESEL, CNG AND ELECTRIC BUSES

JOBBÁGY Marcell¹

¹villamosmérnök hallgató, qgejobbm@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

Kivonat: A globális felmelegedés a jelen egyik legnagyobb problémája. Rengeteg olyan eszközt, gyárat, erőművet használunk, melyek felgyorsítják ezt a folyamatot közvetve, vagy közvetlenül. Az Európai Unió úgy próbál tenni a globális felmelegedés ellen, hogy karbonsemlegességet hirdet. 2050-re nettó nulla üvegházhatás-kibocsájtásra törekszik. Mivel a gyárat és az erőműveket nagyon lassan tudják megváltoztatni, a felhasznált eszközöket igyekeznek befolyásolni. A technológia fejlődésével egyre zöldebb és zöldebb járművek készülnek és egyre szigorúbb szabályok is vonatkoznak rájuk. Európában az „European Emission Standards”, magyarul európai kibocsátási normák, az egyik legfontosabb ilyen szabály. Ez az Európai Unió tagállamaiban eladott új gépjárművek károsanyag-kibocsátásának a határértékét határozza meg. De vajon a szomszéd fűje mindig zöldebb? Vajon a hagyományos benzin, dízel és CNG üzemű járművek tényleg ennyivel környezetszennyezőbbek, mint az elektromos testvéreik? Vagy esetleg a kettő hibrid elege a megoldás?

Kulcsszavak: közlekedés, elektromos járművek, hagyományos járművek, CNG

Abstract: One of today's biggest challenges is global warming. There are many items, factories, power generators, which increase the speed of the process, either directly or indirectly. The EU is trying to work against global warming by advocating carbon neutrality: reaching net zero by 2050. The logical thing to save emissions are items, and the heaviest emission-generators are vehicles. The European Emission Standards try to limit the direct emissions, but they do not count with the required materials' impact. But is the grass greener on the other side? Are traditional petrol, diesel and CNG vehicles really that much worse for the environment than EVs? Or maybe the hybrids are the future?

Keywords: transportation, electric vehicles, conventional vehicles, CNG

1. BEVEZETÉS

A globális felmelegedés a jelen idők egyik legnagyobb problémája. Rengeteg olyan eszközt, gyárat, erőművet használunk, melyek felgyorsítják ezt a folyamatot közvetve, vagy közvetlenül. Az Európai Unió úgy próbál tenni a globális felmelegedés ellen, hogy karbonsemlegességet hirdet. 2050-re nettó nulla üvegházhatás-kibocsájtásra törekszik. Mivel a gyárat és az erőműveket nagyon lassan tudják megváltoztatni, a felhasznált eszközöket igyekeznek befolyásolni. Gondoljunk csak bele, hogy egy atomerőművet felépíteni, vagy lebontani több évtized, míg egy mindenki által ismert eszköz, mint például az autó, egy példányának összeépítése pár óra. Statisztika nélkül is látjuk, hogy egyre több háztartásban egyre több gépjármű jelenik meg. A technológia fejlődésével egyre zöldebb és zöldebb járművek gyártódnak, és egyre szigorúbb szabályok is vonatkoznak rájuk. Európában az „European Emission Standards”, magyarul európai kibocsátási normák, az egyik legfontosabb ilyen szabály. Ez az Európai Unió tagállamaiban eladott új gépjárművek károsanyag-kibocsátásának a határértékét határozza meg. Leegyszerűsítve: mennyire lehet szennyező a kipufogógáz, amit az új jármű termel. Az új norma, az Euro 7 jelen állapotában teljesen ellehetetleníti a hagyományos járművek eladását, és szinte csak az elektromos hajtásúak tudják megütni a mércét.

De vajon a szomszéd fűje mindig zöldebb? Vajon a hagyományos benzin, dízel és CNG üzemű járművek tényleg ennyivel környezetszennyezőbbek, mint az elektromos testvéreik?

Vagy esetleg a kettő hibrid elegye a megoldás? Az autószerető énem nem hagyhatta annyiban, hogy a hagyományos autók eltűnjenek, így szerettem volna jobban utánajárni, hogy tényleg annyira zöldek a zöld rendszámmal rendelkező járművek, mint amennyire reklámozzák őket.

2. ZÖLD TÖMEGKÖZLEKEDÉS ÉS ESZKÖZEI

Egy másik szemszögből is érdemes megközelíteni a gépjárműveket. Idáig személygépjárművekről beszéltünk, de emberek szállítására nem csak ez az egy megoldás létezik. Így szeretnék átvezetni a tömegközlekedésre és azok eszközeire.

A tömegközlekedésben elterjedt hajtási formák leginkább a dízel, a CNG és legújabban az elektromos hajtású járművek, melyekre a korábbiakban megfogalmazott tulajdonságok érvényesek. Sokan gondolják, hogy az elektromos buszok zöldebbek, mint a többi társuk, ám ez a kijelentés személygépjárművek esetén sem volt feltételek nélkül igaz. Továbbra is igaz, hogy magyar viszonylatban a villamosenergia-termelésének oroszán része nem kizárólag megújuló energiaforrásokból történik, és ezen felül az energia egy szép hányadát importáljuk.

Elsőként egy kis történelem a miskolci tömegközlekedésből. Ugyan bérkocsirendszer már a 19. század végén is létezett Miskolcon, azonban Miskolc tömegközlekedése 1897-ben indult a Tiszai pályaudvar és a Verestemplom közötti villamosvonallal. Az első buszvonal 1903-ban indult, de huzamosabb ideig nem működött. A buszközlekedés a második világháború után terjedt el. 1948-ban indult meg újra a menetrend szerinti autóbuszközlekedés, 1949-ben pedig megalakult a Miskolci Gépkocsiközlekedési Vállalat, amit 1954-ben összevontak Miskolci Villamosvasút Közösségi Vállalattal, így megalakult az MKV, az MVK Zrt. jogelődje. 1959-től Ikarus 31-esek biztosították a közlekedést, majd 1969-től Ikarus 620-asokból, 1973-tól Ikarus 260 és 280-asokból állt a járműállomány. 1994 után a vállalat új nevet vett fel: MVK Miskolc Városi Közlekedési Zártkörűen Működő Részvénytársaság, röviden MVK Zrt. Ebben az évben került a vállalathoz az Ikarus 415 és 435 sorozatból is. 2001-ben a vállalat 8 db Rába típusú autóbuszt vásárolt, 2002-ben pedig megjelentek a már ma is látható MAN Lion's Classic autóbuszok. 2006-ban álltak forgalomba az első Neoplan Centroliner N4522 buszok. A cég 2015-ben a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium támogatásával 75 darab CNG üzemű autóbuszra adott be pályázatot, amelyet az MAN nyert meg. 2016 márciusában már közlekedtek az első példányok. 2022-ben 10 BYD gyártmányú elektromos autóbuszt állítottak forgalomba.

Tekintsük át tehát a busztípusokat, amelyeket vizsgálat alá kerülnek! Miskolc városában két dízel, egy természetes gáz és egy elektromos meghajtású buszcsalád látja el a közúti tömegközlekedési feladatokat.

Az első miskolci autóbuszok is dízel üzemanyagot használtak, de napjainkban már csak két autóbuszcsalád dízel üzemű. Az MAN Lion's Classic és a Neoplan Centroliner sorozatok (lásd az 1. ábrán és a 2. ábrán).

A vállalat első 2000-es évekből származó beruházása során 45 darab MAN A75 Lion's Classic G SG263 csuklós, 28 darab MAN A74 Lion's Classic SL223 szóló és 6 darab szóló alacsony padlós autóbuszt vásárolt. A mai napig ebből 12 csuklós, 9 szóló és 4 alacsonypadlós közlekedik az utakon [1] [2] [3]. Mindegyik az Euro 3 szabványnak megfelelő MAN turbófeltöltővel felszerelt dízelmotorral rendelkezik. A járműveket a német MAN törökországi leányvállalata gyártotta le.

A Neoplan Centroliner sorozat 1997-ben kezdődött, de 2001-ben az MAN felvásárolta az anyacéget. Ezután a Neoplan Centroliner Evolution néven folytatódott a gyártás, amelynek alapja valójában az MAN Lion's City típusa volt. Nem meglepő tehát, hogy a 2006-ban beszerzett 38 darab miskolci Neoplan motorjai Euro 4-es MAN turbófeltöltős dízelmotorok. Ezek is alacsonypadlós csuklós buszok. [5]



13. ábra: Az MAN SG263 busz Miskolcon [4].



2. ábra: A Neoplan Centroliner [4].

2015-ben Miskolc a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium támogatásával 75 darab CNG üzemű buszokra és töltőállomások kiépítésére pályázott, melyeket az MAN nyert meg, és 2016-ban forgalomba is álltak az első buszok. A 75 darab közül 40 darab alacsonypadlós szóló A21 típusú (3. ábra) és 35 darab alacsonypadlós csuklós A40 típusú járművek, viszont mindkettő ugyanolyan 12,8 literes motorral van ellátva. [6]

Az MVK Zrt. a modernizáció és a „Miskolc 2030” városfejlesztési stratégia jegyében 2022-ben 10 darab BYD K9UD LF típusú szóló, alacsonypadlós, tisztán elektromos meghajtású buszt szerzett be (4. ábra) a HUMDA Magyar Autó-Motorsport és Zöld Mobilitás-fejlesztési Ügynökség Zrt. által koordinált Zöld Busz Program keretében. Nemcsak az autóbuszállomány fiatalítása volt a cél, hanem a helyben alacsony vagy nulla kibocsátás elősegítése. A BYD egy kínai márka, de a buszokat már Magyarországon, Komáromban szerelik össze. A busz 343 kWh

teljes akkumulátorkapacitással rendelkeznek, ami fenntartásokkal 361 km megtételére elegendő töltést hordoz.



3. ábra: Az MAN Lion's City A21 [4].

Az elektromos töltést a Kempower Charge Eye rendszer biztosítja, a rendszer több töltőfej feladatát hangolja össze, a töltési teljesítmény optimalizálása érdekében. A modulós töltőrendszer alapegysége Charging Power Unit, amelynek a maximális kimenő teljesítménye 200 kW (vagy opcionálisan 4 x 40 kW), kimenő feszültsége 500 V. 800 volt és legfeljebb 8 szatellit töltő csatlakozhat hozzá. Miskolcon szatellit töltőkkel együtt összesen 12 ponton lehet tölteni az I. ütem során beszerzett járműveket. C-Station, C-Series, S-Series Charging System S-sorozatú töltőrendszer és C-sorozatú töltőszekrények dinamikus adaptív kimenettel került kialakításra. A Kempower Charge Eye rendszer, amely Miskolcon telepítésre kerül többféle szériájú S és C töltővel telepített. A telepített C oszlop, 4 G antennával 1 vagy 2 töltőfejjel, érintőképernyős interfésszel, azonosítóval rendelkezik. A töltőfej CCS (Type2) nagyteljesítményű 120 kW töltésre alkalmas. A Kempower rendszer több töltőfej feladatát hangolja össze, a töltési teljesítmény optimalizálása érdekében. Maximum 12 modul hangolható össze. Két opció szerint működhet a töltés, ezt Adaptive EV charging rendszernek nevezik: demokratikus és érkezési prioritás szerint. A demokratikus rendszer, mindenkor egyenlően osztja el a teljesítményt 4-4 töltőhelyenként.

A gyártó által tett nyilatkozat (81,9 kWh/100 km SORT I. fogyasztás és 358 km névleges hatótáv) ismeretében, a hatótávot csökkentő tényezők (pl. akkumulátor-élettartam megóvás, domborzat) figyelembevételével 240 km gyakorlati hatótávot terveztek. Ez a napi fordatervezésük alapja, mely során csak egyszeri éjszakai töltéssel számolnak. A jellemző kezdési és végzési idők figyelembevételével, a napi javasolt üzemidő 14 – 16 óra lett, így a járműtelepen 7 óra technológiai idő áll rendelkezésre, amelyből 6 óra a töltés időablaka, minden jármű részére. A járművenkénti éves átlagos minimum futásteljesítmény értékét 58.572 km-ben határozták meg a Támogatási Szerződés alapján. Az akkucsomag névleges kapacitása 348 kWh, a gyakorlati fogyasztás 1 kWh/km a korábbi üzemeltetési tapasztalatok alapján.

A BYD buszok egyik nagy eladási szlogenje a hat az egyben motorvezérlő, ami az 5. ábrán, középen látható. Ez a vezérlő tartalmazza a két villanymotor, a kormánymű, a légsűrítő vezérlését, egy DC-DC átalakítót és egy energiaelosztó egységet. [7]



4. ábra: A BYD K9UD busz [4].



5. ábra: A "motorháztető" alatt.

Az MVK 2021-es éves átlagfogyasztási adatainak összesítő kimutatása az 1. és a 2. táblázatban látható. Ezekből a táblázatból természetesen hiányzik a BYD, hiszen azokat 2022 közepén szerezték be. Az ETM az energiateljesítmény-mutató rövidítése.

A táblázatokból jól látható, hogy a CNG-s buszok nagyobb fogyasztással rendelkeznek 100 kilométerre vetítve, mint a dízel társaik. Ennek több oka is van. Az egyik az, hogy a CNG autóbussz flotta motor és sebességváltó alapbeállításának meghatározásakor az MVK Zrt. az ún. „dinamic” üzemmódot kérte a gyártótól. A másik ok pedig pont az üzemanyagból származó különbség: míg a dízelt csak be kell porlasztani, a CNG-t tömegként kell vinni az égéstérbe, hogy a megfelelő koncentrációt elérjük. A CNG-s járművek beszerzésekor az üzemanyagárak viszonya is más volt. Akkor ezek a szám adatok kedvezőbbek voltak, mert a gázolaj literenkénti fogyasztói ára 2,41 szerese volt a CNG gáz kilogrammonkénti árának. Mára azonban fordult a kocka, ugyanis a gázüzemű autóbussz üzemanyagra vetített üzemeltetési költsége kétszer annyi, mint a dízelé.

1. táblázat: 2021-es átlagfogyasztás [8]

Szóló, gázolaj	2021 Éves Átlag
Kiadott jármű darabszám:	5,83
Futott kocsi kilométer:	14.727,47
Üzemanyag felhasználás /l/	14.476,02
Üzemidő:	3.352,64
Átlag üzemidő:	298,69
Átlag futott kocsi kilométer/ hó	3.979,32
ETM, liter/100 km/	32,19
Csuklós, gázolaj	2021 Éves Átlag
Kiadott jármű darabszám:	34,42
Futott kocsi kilométer:	135.620,16
Üzemanyag felhasználás /l/	226.253,95
Üzemidő:	31.675,08
Átlag üzemidő:	481,97
Átlag futott kocsi kilométer/hó	6.081,31
ETM, liter/100 km/	55,59

2. táblázat: 2021-es átlagfogyasztás [8]

Szóló, CNG	2021 Éves Átlag
Kiadott jármű darabszám:	39,67
Futott kocsi kilométer:	208.708,35
Üzemanyag felhasználás /kg/	292.519,62
Üzemidő:	49790,21
Átlag üzemidő:	641,07
Átlag futott kocsi kilométer/hó	6.823,88
ETM, kg/100 km/	46,76
Csuklós, CNG	2021 Éves Átlag
Kiadott jármű darabszám:	34,00
Futott kocsi kilométer:	194.188,30
Üzemanyag felhasználás /kg/	344.565,90
Üzemidő:	47.129,16
Átlag üzemidő:	698,52
Átlag futott kocsi kilométer/hó	8.474,89
ETM, kg/100 km/	59,14

3. FELMERÜLŐ FEJLESZTÉSEK

Az MAN és Neoplan dízelbuszok élettartama lassan a végéhez közeledik, lassan meghaladják a 20 éves kort. Ebből következik, hogy a vállalat dilemma előtt áll: e járműveket korszerűbb EURO6-os dízelekkel, vagy a jelenleg legnagyobb arányban futó CNG járművekkel helyettesítsék, vagy a 2021-ben megkezdett folyamat továbbvitelével elektromos buszokat szerezzenek be azok helyett.

Az egyik lehetséges opció egy viszonylag egységes, és ebből adódóan gazdaságosabban üzemeltethető CNG flotta kialakítása. Ennek a lehetőségnek az infrastruktúrája, tehát a töltési pontok már ki vannak alakítva, az üzemeltetési költségek pedig alacsonyak, hiszen a karbantartási és javítási munkák a képzett, tapasztalt személyzet, valamint a többségében azonos járműtípus miatt igen gazdaságosan végezhető. A helyi levegőminőség javítása és a gazdaságos üzemeltetés szempontjából tehát jó alternatívát jelentenek a CNG buszok, de beszerzési értéke az új dízelekét kis mértékben meghaladja, azaz szóló esetben minimum 90 millió Ft-os, a csuklós esetben minimum 120 millió Ft körüli költséggel számolhatunk (elektromos buszokkal összevetve azok beszerzési értékének feléért szerezhető be CNG jármű). A jelenlegi bizonytalan gazdasági- és energetikai viszonyok következtében kialakult, a korábbi évit akár 16-17-szeresen is meghaladó üzemanyag ár mellett azonban, ahogy korábban említésre került, nem beszélhetünk a dízelekhez képest régebben mutatkozó üzemeltetési költség előnyről. A CNG beszerzési árának alakulását övező bizonytalanság mellett nem látható, hogy ez a költségelőny milyen hosszú időszakot (és annak során milyen többletköltségek realizálását) követően állhat vissza. Amennyiben az árak stabilizálódása során az arányok a 2021 és az előtti időszakot jellemző dízel-CNG ár-arányt eredményez, úgy a CNG buszok továbbra is egy jobb, tisztább és költséghatékonyabb alternatíváját jelentik a dízel buszok beszerzésének és üzemeltetésének.

Új, a legmagasabb kibocsátási normákat teljesítő motorokkal hajtott dízel szóló és csuklós buszok beszerzése a CNG meghajtású buszokénál néhány százalékkal alacsonyabb költség mellett lenne megvalósítható, de a lokális levegőszennyezőket jelentős mértékben kibocsátó járművek terhelnék a helyi levegőt kevéssé szennyező CNG buszok helyett, ráadásul – legalábbis a korábbi üzemanyag árak és üzemeltetési költségek alapján – magasabb üzemeltetési költségek mellett. Megfontolásra érdemes alternatívát jelenthet a szintén EURO6-os motorral hajtott, de 6-8 éves, kb. 500.000 km-t futott használt dízel buszok beszerzése, amelyet elsősorban az alacsony (szóló buszok esetén 25-30, csuklósoknál 35-40 millió Ft körüli) beszerzési kiadások tesznek vonzóvá. Ezt a képet azonban lerontja a beszerzést követő néhány éven belül esedékes nagyjavítások szükségessége (pl. motor, váltó felújítása, kormány szerkezet, hajtott tengely javítása), amelynek költségessége mellett további negatív következménye, hogy a járművek hetekre kieshetnek a szolgáltatásból. Így használt járműveknek az újakkal szembeni költségelőnye csupán egy látszat, néhány év alatt eltűnik, 4-8 éven belül pedig az újonnan beszerzett járművekhez képest alacsonyabb megbízhatósággal, gyakoribb javításokkal és magasabb üzemeltetési költségeket generálva üzemeltethető flotta marad, és hamarabb merül fel a járművek újabb cseréjének szükségessége. A hosszabb távra visszatekintő üzemeltetési gyakorlat, tapasztalatok, valamint a kiépített karbantartó-javító infrastruktúra és gyakorlott szerelőgárda miatt a dízel buszok újabb, korszerűbb járművekre történő cseréje is releváns opció: az üzemeltetési kockázatok és költségek igen jól becsülhetők a járműtípus ismeretében, továbbá az üzemanyagárak közelmúltbeli igen jelentős ingadozása is rámutat, hogy előnyökkel is járhat a flotta diverzifikációja, még ha ezzel az üzemeltetési költségei magasabbak is.

Az elektromos buszok beszerzése mellett szól, hogy nehezkesebb a nem elektromos meghajtású járművek finanszírozása, hiszen a Kormány a 1537/2019. (IX.20.) és az azt

módosító 1938/2020 (XII.7.) Korm. határozatban foglaltak szerint 2020-tól kizárólag elektromos meghajtású buszok beszerzését támogatja.

Vagyis összhangban az Európai Unió által meghatározott klímapolitikai célokkal, az elektromos buszok beszerzése adódik úgy a CNG, mint a használtan beszerzett dízel buszokkal végzett városi közösségi közlekedési szolgáltatás leginkább kívánatos alternatívájaként. A karbonsemleges közösségi közlekedés megvalósítása azonban jelentős beruházásokat igényel. A jelenlegi piaci árak, valamint az indikatív ajánlatok alapján az elektromos buszok beszerzésének várható költségei a következők: midi busz: 145 millió Ft + ÁFA, szóló busz: 195 millió Ft + ÁFA, csuklós busz: 250 millió Ft + ÁFA. Az elektromos buszok beszerzése mellett – a 2022-ben megvalósult 10 töltőoszlop üzembehelyezésén túl – további 131 db töltőoszlop telepítése és a töltést lehetővé tevő energiaellátás kiépítése szükséges, valamint az elektromos buszok töltéséhez és kiszolgálásához is alkalmassá kell tenni a telephelyet. Ezen felül számításba kell venni, hogy a 8 évente cserére szoruló akkumulátorok pótlásának is jelentős (midi esetben 25, szóló buszok esetében 35 millió Ft-ra, csuklós buszok esetében 45 millió Ft-ra becsült) költségei merülnek fel. Egy-egy töltőoszlopot 2022-ben 13 millió Ft-ba kerül üzembe helyezni, a töltéshez szükséges elektromos hálózati kapacitás kiépítése pedig teljesítményegységenként (MWh) közel 40 millió Ft-ba kerül 2022-ben. A 16 éves szolgálat után a forgalomból kivont járműveket értékesítve, eredeti beszerzési értékük 5%-ának megfelelő áron (maradványérték), az ebből befolyó nagyságrendet bevételként értelmezhetjük, amely így összességében csökkenti a beruházásra fordítandó összegeket. [8]

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Míg a hagyományos járművek esetében a közvetlen kibocsátás a mérvadó, addig az elektromos járművek esetében az adott jármű gyártása és újrahasznosítása, életciklusa környezetterhelőbb. Tervezett élettartamtól és kilométertől, valamint használatától függően az elektromos jármű élettartama alatt még nagyobb környezeti kockázatot jelenthet, mint egy hagyományos járműé. Természetesen számos más tényezőtől (pl. karbantartás és felújítás) is függ az életciklusra vetített kibocsátás. Csökkenthető az elektromos járművek környezeti hatása, ha az általuk felhasznált villamosenergia megújuló energiaforrásokból vagy atomerőművekből származik. Az akkumulátor-technológia folyamatos fejlesztése az elektromos járművek számára is előnyös lehet. Tömegközlekedést tekintve, bár tényleges életciklus-adataink nincsenek, hasonló helyzet áll fenn, mint egyéni közlekedés esetén. Bár az öreg dízel járművek jelentős kibocsátással rendelkeznek helyileg, a CNG és elektromos járművek más formában szennyezik a környezetet. A diverzitás segíti a kibocsátások kiegyenlítését és a flotta fenntarthatóságát.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Fotobus administration, „Vehicles List of Hungary, MAN A75 Lion's Classic G SG263,” Fotobus, [Online]. Available: <http://fotobus.msk.ru/list.php?cid=147&mid=1999>. [Hozzáférés dátuma: 10. október 2022.].
- [2] Fotobus administration, „Vehicles List of Hungary, MAN A74 Lion's Classic SL223,” Fotobus, [Online]. Available: <http://fotobus.msk.ru/list.php?serv=0&mid=790&cid=147>. [Hozzáférés dátuma: 10. október 2022.].
- [3] Fotobus administration, „Vehicles List of Hungary, MAN A21 NL223,” Fotobus, [Online]. Available: <http://fotobus.msk.ru/list.php?serv=0&mid=2739&cid=147>. [Hozzáférés dátuma: 10. október 2022.].

- [4] MVK Zrt., „Járműállomány,” [Online]. Available: <https://www.mvkzrt.hu/jarmuallomany>. [Hozzáférés dátuma: 9. szeptember 2022.].
- [5] Fotobus administration, „Vehicles List of Hungary, Neoplan 489 N4522/3 Centroliner Evolution,” Fotobus, [Online]. Available: <http://fotobus.msk.ru/list.php?serv=0&mid=3030&cid=147>. [Hozzáférés dátuma: 10. október 2022.].
- [6] S. Áron, „75 darab MAN Lion's City CNG | MVK Zrt.,” BusWorldblog, 5. március 2016.. [Online]. Available: https://www.busworldblog.com/post/mvk_man. [Hozzáférés dátuma: 10. október 2022.].
- [7] BYD, „Bus and Coach.,” BYD Europe B.V., [Online]. Available: <https://bydeurope.com/pdp-bus-coach>. [Hozzáférés dátuma: 10. október 2022.].
- [8] MVK Zrt., Dekarbonizációs Terv 2021, 2021.

KÜLÖNBÖZŐ TÍPUSÚ NAPELEMES RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGI OLDALRÓL

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FROM THE TECHNICAL AND ECONOMIC SIDE

LIPTÁK Róbert

Ph.d. hallgató, elkrobi@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A környezetromlás csökkentése érdekében az alaperőművek mellett nagy mennyiségben kell megújuló energiaforrásokat, például napenergiát alkalmazni. Ennek érdekében fontos lenne tudni, hogy a megújuló energiaforrások közül milyen energiahatékonyság érhető el a napelemes rendszerekkel, illetve milyen megtérülés várható a különböző PV konfigurációktól. Ezenkívül figyelembe kell venni az egyes konfigurációk előnyeit és hátrányait is. Ebben a tanulmányban egy hálózaton kívüli fotovoltaikus napelemes rendszer gazdasági megvalósíthatóságát elemezték, és két konfigurációban méretezték. Ezt követően összehasonlítottuk ezeket a kialakításokat a hálózatcsatolt és hibrid konfigurációkkal. Általában az akkumulátor növeli a költségeket és a megtérülési időt minden rendszer esetében. Ez pedig negatív hatással van az szigetüzemű rendszer költségeire és megtérülésére. Az akkumulátorok és a fotovoltaikus panelek árának jövőbeni csökkenése lehetővé tenné a szigetüzemű és a hibrid rendszerek fenntarthatóságát is.

Kulcsszavak: gazdasági vizsgálat, hálózat-csatolt, szigetüzemű, hibrid, megtérülés, összehasonlítás

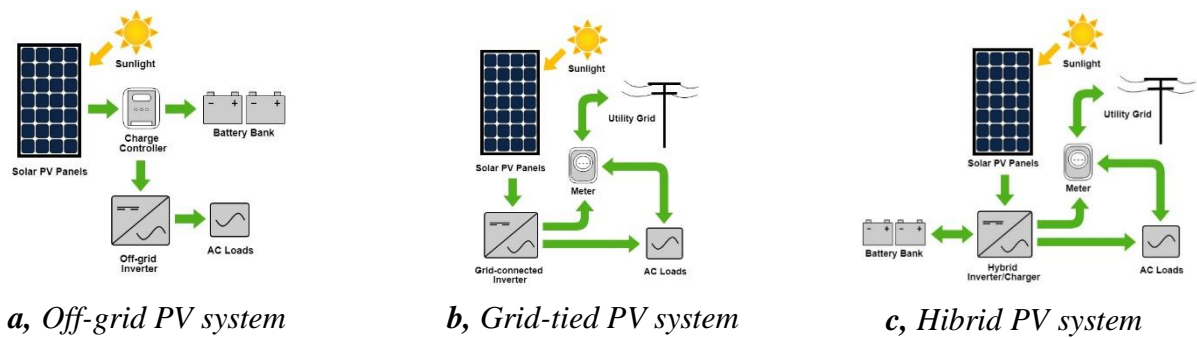
Abstract: In order to reduce environmental degradation, renewable energy sources such as solar energy must be used in large quantities, next to the base power plants. In order to do this, it would be important to know what kind of energy efficiency can be achieved with solar systems among the renewable energy sources, and what kind of return can be expected from the different PV configurations. Furthermore, it is also necessary to take into account the advantages and disadvantages of each configuration. In this study, the economic feasibility of an off-grid photovoltaic solar system was analyzed and sized in two configurations. After that we compared these design with grid-tied and hybrid configurations. In general, it is the battery that increases costs and payback time for each system. And this has a negative effect on the costs and returns of the off-grid system. A future decrease in the price of both batteries and photovoltaic panels would allow off-grid systems to be sustainable as well.

Keywords: economic analysis, grid-connected, off-grid, hybrid, payback, comparison

1. INTRODUCTION

The use of fossil fuels such as coal, oil and gas causes environmental degradation. Furthermore, limiting the use of fossil fuels and reducing greenhouse gas emissions are the two main objectives of European energy policy and global agreements aimed at curbing climate change. Because in the construction industry, a significant improvement in energy performance and an increase in energy efficiency must be implemented, because the use demand for renewable energies is continuous. In order to do this, it would be important to know what kind of energy efficiency can be achieved with solar systems among the renewable energy sources, and what kind of return can be expected from the different configurations. Furthermore, it is also necessary to take into account the advantages and disadvantages of each configuration. In this study, the economic feasibility of an off-grid photovoltaic solar system was analyzed and sized in two configurations. The two types of sizing examined the increase of autonomy from both a technical and an economic point of view. We also examined grid-tied and hybrid

configurations and compared these possible designs.



1. figure: Different types of PV systems

1.1. Off-grid PV systems

In the case of Off-Grid systems (Figure 1.a), only the electricity produced by the solar system is available to the users. The energy is stored in a battery. The reliability of the system is determined by the battery charger and the associated batteries, as well as the properly selected charging characteristics, which can ensure the battery's service life in the long term. When sizing the system, we must take into account that not only our consumers must be supplied with enough energy for a continuous energy supply, but also the necessary current must be provided to charge the storage batteries during the sunny hours - even on the "shorter" winter days - which may require a relative oversizing of the solar surface [14, 15].

1.2. Grid-tied PV systems

In the case of grid-tied solar systems (Figure 1.b), the network systems do not have their own energy storage, part of the produced energy goes to the consumers of our internal network. The generated but unused electricity is fed by the inverters into the power supply network through a so-called two-way consumption measuring device, which is used as energy storage in practice [14, 15].

1.3. Hybrid PV systems

Hybrid systems operate as a combination of off-grid and grid-tied systems (Figure 1.c), in which two-way consumption measurement is not a condition, but is not excluded - (feeding back into the grid depends on the tariff), if provided, the first in the charging control priority is the own fills storage capacities. The use of mixed operation can be justified by economic calculations (the unit price of the received energy is always lower than the purchase unit price), but it can also be important from the point of view of security of supply to have our own uninterrupted power supply capacity in addition to the network supply. Such a system - with a sufficiently large solar panel surface - can provide the energy needs of a facility for hours during the daytime (sunny) period, almost regardless of the built-in battery capacity. Given the stable operation of the national electricity system, mixed operation systems provide a solution for absorbing part of the energy fed into the grid with "unexpected" sunshine into their own storage capacities. Since, in addition to the fixed schedule of large power plants, it is necessary to find a long-term solution to reduce the effects of renewables, which are present as an almost unpredictable power source and cause network instability [14, 15].

2. DESIGN AND COST ANALYSIS OF PV SYSTEMS

The entire PV system must be optimized based on the following aspects: yield, investment cost, operating cost. The performance of the inverter must be determined as a result of the optimization. Optimization must be done for every project. The most appropriate inverter and PV system elements must be selected based on different criteria for each system. In this section, we develop expressions for different solar systems depending on the load demand. The calculations take into account all three (Off-grid, Grid-tied, Hybrid) systems, so the correlations also cover the size and number of solar panels, inverters and batteries.

2.1. System configuration of PV systems

The sizing can be approached from 2 directions. One is production optimized design, where the system size is determined by the coordination of the facility's consumption and production yield. Annual consumption or daily average consumption can also be taken into account in the calculation. The goal in this case is to create a system that is able to cover consumption on an annual basis. The other is size-optimized planning, in which the size of the system is determined by the facility or determined by the physical characteristics of the installation location. The goal in this case is to make optimal use of the available space to install the highest possible performance [2, 4, 5, 14, 15].

2.1.1 Production optimized design

Before building the appropriate system, planning the PV system is essential. The first step is to examine the total daily energy consumption based on the estimation of the use of different types of loads. The daily energy requirement can be calculated using the following equation [2, 4, 5, 15]:

$$E_{day} = \sum_{i=0}^n \frac{u_i p_i n_i}{1000} \quad [kWh] \quad (1)$$

where:

- i the index of individual load types and electrical devices,
- U_i is the number of hours in daily use of device type i ,
- P_i is nominal power of the i -th device type,
- n_i is the number of devices of the i -th type.

If we have previous data on consumption, it is most appropriate to select the highest consumption value of the last 12 months and multiply it by 12. If daily average consumption is required, it must be divided by 365, so we can get a good starting point for what size system we would need. The performance data of solar modules refer to standardized test conditions, which rarely occurs in practice. for this reason, it is necessary to take efficiency and reduction factors into account. One such reason is the orientation and placement of the panels. Based on the available consumption data and the production forecast, the size of the PV system to be installed can be determined [2, 4, 5].

$$P_{PV} = \frac{E_{day}}{E_p \cdot d} \quad [kW] \quad (2)$$

where:

- E_p is the energy that can be produced for a 1kWp solar panel system

- d is the reduction factor

The value of EP in Hungary is 1050-1200 kWh. The reduction factor is affected by effects such as panel orientation, shadows, contamination, snow cover, aging, etc. This multiplier value also depends on whether we want to scale our system for the winter or summer months. The number of required solar panels can be calculated from the size of the PV system, but for this it is necessary to know the performance of the individual panels. This can be calculated using the following formula [2, 3, 4, 5]:

$$n_p = \frac{P_{PV}}{P_o} \quad (3)$$

where:

- P_o output power of each panel.

Off-grid systems must provide power to loads, even when solar irradiance is insufficient or during nighttime. During this period, batteries must support the system, so their proper capacity must be sized up. The power of the PV array must be determined so that during sunshine periods it can allow both load feeding and battery charging.

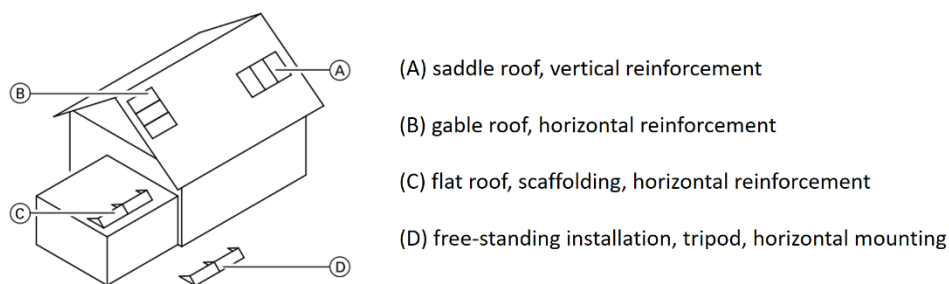
The energy that is to be delivered daily and stored in batteries is a function of the number N of autonomy days of the system and of the load to satisfy. It can be calculate the performace of the PV array [2, 3, 4, 5]:

$$P_{PV} = \frac{(1+N) \cdot E_{day}}{E_p \cdot d} \quad [kWp] \quad (4)$$

2.1.2 Size optimized design

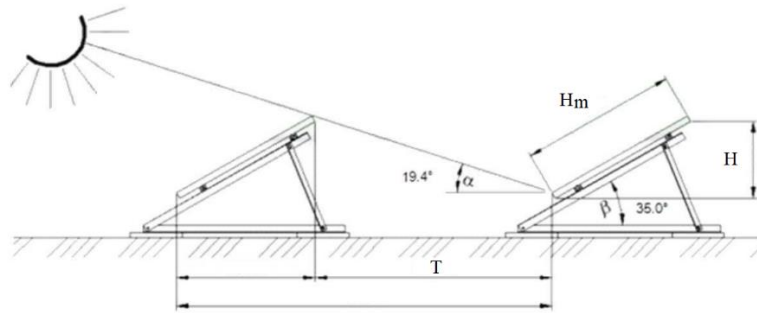
In the case of size-optimized planning, the size of the system is determined by the physical characteristics of the installation location. So in this case, the number of solar panels that can be placed will determine the maximum performance of the system. The second figure shows the possible ways of placing the solar panels [13, 15].

2.1.3 Placement and self shadowing



2. figure: Placement options of PV panels [13]

The self-shadowing is when the previous row cast shadow to the bottom of the next row of solar panels (or part of them). Therefore, in the case of systems installed in several rows, the shading of the panels must be limited. The longest-cast shadow can be associated with the winter solstice. So the highest solar position associated with the given latitude must be taken into account for this date. In Hungary, the angle of this solstice is 19..19.5°. In the case of placement "A" and "B" shown in Figure 2, there is no problem of self-shading, but in the case of "C" and "D" it is necessary to calculate the minimum distance between the rows:



3. figure: Determination of the minimum row distance [15]

The following equation can be used to determine the minimum distance (T) [13, 15]:

$$T = \frac{H}{\text{tg } \alpha} = \frac{H_m \cdot \sin \beta}{\text{tg } \alpha} \quad [m] \quad (5)$$

where:

- H is the vertical projection of the panel
- H_m is high of the panel
- α is the angle of winter solstice
- β is the angle of panel

2.1.3 Sizing the battery pack

Since consumer load and solar production do not necessarily coincide at any given time, we need a storage system that can bridge these temporal differences. One possible way to store the energy produced by solar systems is to use batteries. Batteries are typically connected to the charge controller as shown in Figure 1a. During the planning stage of the battery pack, it is necessary to decide whether to choose a 12V or 24V battery group. This is an important decision, as it will not be easy to change this later on (e.g. the 12V inverter will not be good for the 24V system and vice versa, at 12V solar charge controllers deliver half as much charging current as at 24V, cable cross-section, etc.). {WEB_1} It is then necessary to decide how long the batteries must supply the consumers without recharging in cases where, for example, there is no sunshine for days. This time is often called "bridging time". So the bridging time describes how many days our batteries have to supply the consumers without solar panels or other power sources recharging the battery (the number of consecutive rainy, cloudy days) [2, 3, 4, 5, 9].

$$C_a = \frac{ND_a}{V_{bat} \cdot (1 - L_c)} \quad (6)$$

where:

- N are autonomy days of the system
- D_a is the design load,
- V_{bat} is the rated voltage of the battery (V),
- L_c is the minimum allowed depth of the battery discharge (%).

In the case of larger systems, it is advisable to choose larger capacity batteries, so fewer need to be connected in parallel (and in series) and the costs will be lower.

2.1.4 Selecting an inverter for an off-grid system

In the case of an off-grid system, the capacity of the inverter is determined by the expected peak demand of the load. Therefore, the peak load demand is estimated using the relationship between the connected load and the load diversity factor (FD) [2, 3, 5, 8].

$$P_{inv} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i \cdot n_i}{F_D} \quad [W] \quad (7)$$

The diversity factor is the ratio of the sum of the maximum needs of different parts of the system to the coincident maximum demand of the entire system. The maximum needs of individual consumers of a group do not appear at the same time. Because of this varied nature of the load, there is no need to supply full load power to all consumers at the same time [7].

$$F_D = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{D_g} \quad (8)$$

where,

- F_D is the diversity factor,
- D_i is the maximum demand of load I, regardless of the time of occurrence,
- $D_g = D (1+2+3 \dots n)$ maximum coincident demands of an n load group.

2.1.5 Selecting an inverter for a grid-tied system

In the case of a grid-tied system, the selection of the inverter is different compared to the off-grid system. To determine the performance of the inverter, the peak performance of the solar panels to be installed must be taken into account. Although inverters can work in a wide range, it is still worth choosing the right size for the future system, since this way the highest efficiency can be achieved. If we oversize the inverter, we must expect significant losses. If we undersize it, the system limits it above a certain power, so we cannot use all the energy produced by the solar panel.

During the calculation, it is worth considering that the performance data of solar modules refer to standardized test conditions, which rarely happens in practice. Therefore, the inverter can usually be scaled down by approximately 5-10% (even smaller in case of unfavorable orientation). The maximum voltage and current characteristics of the inverter must always be observed [13].

$$P_{inverter} = 0.9 \cdot P_{PV} \quad [kWp] \quad (9)$$

2.2. Life cycle and cost analysis (calculation of the costs)

This section presents some economic parameters that can be used to evaluate the efficiency of the use of PV systems in residential buildings. The parameters used for the economic evaluation are the simplified payback time calculation, the net present value, the internal rate of return and the profitability index and compound payback time. These parameters are described below. A simple examination of the payback time of solar systems must first of all take into account the cost of building the system and the expected energy savings. As its name implies, it shows when the amount invested in a given investment will pay off in the future. Table 1 shows the possible costs of individual solar systems. The implementation of a solar

system is a financially profitable, long-term, predictable investment that provides a high and tax-free return [1, 10, 11].

1. table: The possible device of each PV system

	Off-grid system	Grid-tied system	Hybrid system
Photovoltaic panels	✓	✓	✓
Charge controller	✓	✗	✗
Off-grid inverter	✓	✗	✗
Grid-tied inverter	✗	✓	✗
Hybrid inverter	✗	✗	✓
Battery storage	✓	✗	✓
Surge protectors	✓	✓	✓
Support structure	✓	✓	✓
Accessories: junction boxes, cables etc.	✓	✓	✓
DC side isolating main switch	✓	✓	✓
Load switching station	✗	✗	✓
Grounding	✓	✓	✓
Work fee (design, construction, etc)	✓	✓	✓

2.2.1 The simplified payback period (Payback Period, PB)

The payback period (PP) refers to the time required to recover the funds spent on the investment. PP is a simple way to calculate the risks associated with an investment. Although this is a very simple method that ignores the time value of money, it does provide some insight into the economic value of a project. The longer the payback period of a project, the less attractive it is project [12].

Calculating the simplified payback period (Payback Period, PB): we can calculate it by dividing the investment cost of the solar panel system with a unit of power by the price of the electricity produced by the system in one year [10, 11].

$$\text{Payback Period (PP)} = \frac{\text{Initial Investment}}{\text{Cash infow per year}} \quad (10)$$

Many important factors were not taken into account during the simplified calculation:

- quality of system components,
- solar panel system technology
- location of the building (contamination of solar panels, shading),
- roof size, angle of inclination,
- the number of hours of sunshine in a given geographic location,
- changes in the price of energy,

2.2.2 Present Value (PV)

It is also worth investigating whether a solar system is more profitable than placing the cost of the investment in a bank deposit (calculations using the annuity method). The present value of a sum of money due in the future shows how much money we would have to invest in the present with the expected return in order to receive the sum of money due at the given future

date. During the present value calculation, we are looking for the answer of how much a sum of money due in the future is worth today. The formula for calculating and discounting the present value (C_t is the future amount of money in the t th year, r is the interest rate) [11]:

$$PV = \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (11)$$

2.2.3 Future Value (FV)

The future value of a sum of money shows how much money we would have at the end of the term if we invested the money with the expected return during the given term. There are two types of future value calculation: Simple interest: during the entire interest period, interest only accrues on the initial capital. Interest is paid at the end of each interest period, so interest is not capitalized. The future value of today's sum of money (C_0) at the end of the n th year (r is the interest rate):

$$FV = C_0(1 + r \cdot n) \quad (12)$$

Compound interest: the interest received per period is recapitalized, so it is reinvested. Capital thus grows exponentially. The value of today's sum of money (C_0) at the end of the " n "-th year (r is the interest rate) [10, 11]:

$$FV = C_0(1 + r)^n \quad (13)$$

2.2.4 Net Present Value (NPV)

The net present value calculation gives you the opportunity to compare individual investment options. It is important that NPV takes into account the time value of money! It shows how much cash flow the given investment generates, all of which is discounted (brought to present value) for the day of the investment. Given a given interest rate, how much is the loss/profit for the given project in present value. The difference between the cash flows related to the investment and the present values of the initial investment costs [10, 11, 12]:

$$NPV = -c_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = -c_0 + PV \quad (14)$$

where

- C_0 is the total initial cost,
- C_t is the net cash flow during time " t ",
- r is the discount rate,
- and t is the number of periods,
- n is the length of the entire time span

If the NPV value is:

- is greater than zero, then the investment is profitable and in this case the investment proposal can be accepted.
- is less than zero, then the idea of the investment must be discarded, as it would produce a loss.
- exactly zero, then acceptance or rejection of the investment proposal is indifferent.

The primary problem with NPV is that this method is based on certain assumptions, such as the discount rate; therefore, it provides a significant margin of error [10, 11].

2.2.5 Internal Rate of Return (IRR)

The internal rate of return is the interest rate at which, when discounted, the net present value of the investment comes to just zero, so the investment just pays off. So the rate of return at which the net present value is zero, i.e. $NPV = 0$, and then $PV=C_0$. The given investment is economical if the IRR is higher than the interest rate available on the market (it can be obtained through an iteration process) [10, 11].

$$NPV = -c_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+IRR)^t} = 0 = -c_0 + PV \quad (15)$$

If at the time of payback ($NPV=0$):

- $IRR > r$, then it is worthwhile to implement the investment (the internal return of the investment is greater than what the investor expected from it).
- $IRR = r$, then it is indifferent whether the given project is realized or not (the investment fulfills the return expected by the investor).
- $IRR < r$, then the investment should not be implemented (it does not produce the level that the investor would have expected).

2.2.6 Profitability Index (PI)

The profitability index (PI) shows how much return a unit of invested capital brings in today's money. In other words, if the investment is accepted, how many times will our invested money increase. Also known as profit investment ratio, an identifier of the relationship between the costs and profits of a project. The profitability index can be defined as the ratio of the present value of future cash flows to the initial cash flow of the investment [10, 11].

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}{C_0} \quad (16)$$

It also shows how much money is generated during the investment of a unit amount of money.

If the value of PI is:

- is greater than one, then the investment proposal can be accepted. Each unit of money invested results in more than one unit of money over the asset's useful life.
- is less than one, then it does not produce the invested value either, so it is unprofitable. This proposal must be rejected.
- exactly one, then it doesn't matter whether we accept the investment proposal or not.

2.2.7 Compound payback period

During the simplified calculation, we did not take into account:

- Quality of system elements, solar panel system technology, building location, roof size, angle of inclination, number of hours of sunshine in a given geographic location,
- The efficiency of the solar system is not 100%,
- Over time, a certain degree of performance reduction of the solar panels occurs (yearly performance deterioration),
- The solar system also has maintenance costs (plus insurance),
- In the payback period, inflation and energy price changes,
- The payback time can be significantly shortened if we use state or EU support (it can be reduced to a fraction, even 0-2 years) [11].

During the complex return calculation, several data will be needed that characterize our solar system in more detail, both technically and economically. These data are included in Table 2.

2. table: Parameters of taken into account during the compound return calculation [3]

Photovoltaic system		Maintenance data	
Energy production (max) per year:	$E_{\text{produced, max}}$	Price of purchased electricity per kWh:	C_{PE}
System efficiency:	η	Price of solded electricity per kWh:	C_{SE}
Energy production per year:	E_{produced}	Annual estimated maintenance cost:	$K_{\text{maintenance}}$
Used energy per year:	E_{used}	Insurance	$K_{\text{insurance}}$
Energy esport to grid per year:	E_{export}	Financing possibilities	
System cost:	C_{system}	State aid:	S_A
Assembly cost:	C_{assembly}	Loan:	L
Lifetime:	L_T	Inflation:	Inf
Performance degradation per year	PD_{η}	Electricity price changes annually:	CH_{EP}

Calculation of all energy production of given year (E_p^{gy}) [11]:

$$E_p^{gy} = E_p^{py} \cdot \left(1 - \frac{PD_{\eta}}{100}\right) \quad (17)$$

where:

- E_p^{py} is the energy production of previous year
- PD_{η} is the performance degradation per year

Calculation of the amount saved on electricity in a given year (A_s^{gy}) [11]:

$$A_s^{gy} = E_u^{gy} \cdot C_{PE} \cdot \left(1 + \frac{CH_{EP}}{100}\right)^{\text{previous year}} \quad (18)$$

where:

- E_u^{gy} is the used energy of given year
- C_{PE} is the price of purchased electricity per kWh
- CH_{EP} is the electricity price changes annually

Calculation of all exported energy in a given year (E_e^{gy}) [11]:

$$E_e^{gy} = E_p^{gy} - E_u^{gy} \quad (19)$$

where:

- E_p^{gy} is the energy production of actual year
- E_u^{gy} is the used energy of actual year

Calculation of the profit of the electricity sold in a given year (P_e^{gy}) [11]:

$$P_e^{gy} = E_e^{gy} \cdot C_{SE} \cdot \left(1 + \frac{CH_{EP}}{100}\right)_{previous\ year} \quad (20)$$

where:

- E_e^{gy} is the energy export to grid of actual year
- C_{SE} is the price of sold electricity per kWh
- CH_{EP} is the electricity price changes annually

Calculation of maintenance and insurance costs for a given year (C_{m+i}^{gy}) [11]:

$$C_{m+i}^{gy} = (C_m^{gy} + C_i^{gy}) \cdot \left(1 + \frac{Inf}{100}\right)_{previous\ year} \quad (21)$$

where:

- C_m^{gy} is the maintenance cost of given year
- C_i^{gy} is the insurance cost of given year
- Inf is the inflation

Calculation of profit for a given year (P_{sum}^{gy}) [11]:

$$P_{sum}^{gy} = A_s^{gy} + P_e^{gy} - C_{m+i}^{gy} - L_I^{gy} \quad (22)$$

where:

- A_s^{gy} is the saved amount of actual year
- P_e^{gy} is the profit of the electricity sold in a given year
- C_{m+i}^{gy} is the maintenance and insurance cost of given year
- L_I^{gy} is the installment of given year

Calculation of the inflation-adjusted value of given years profit ($P_{sum+inf.}^{gy}$) [11]:

$$P_{sum+inf.}^{gy} = \frac{P_{sum}^{gy}}{\left(1 + \frac{Inf}{100}\right)_{given\ year}} \quad (23)$$

3. table: Investment and operating costs of each PV system

Configuration	Investment costs	Annual operating costs
Off-grid	Photovoltaic panels Inverters and accessories Batteries Charge Controllers	Maintenance facility
Grid-tied	Photovoltaic panels Inverters and accessories Connection to the grid	Energy purchases Maintenance facility
Hybrid	Photovoltaic panels Inverters and accessories Batteries Charge Controller Connection to the grid	Energy purchases Maintenance facility

2.3. Environmental effect

Losses occur during the delivery of electricity to the consumer, which is almost 13.5% of the energy consumed. This means that for 1 kWh of electricity consumed, approx. 1.135 kWh of energy must be produced. The production of 1 kWh of electricity produces approximately 0.37 kg of CO₂ emissions. Consumption of 1 kWh of electricity results in approximately 0.375 kg of CO₂ emissions. The annual electricity consumption of an average family of 4 is approx. 4.000 kWh, so this results in 1.4 tons of carbon dioxide emissions per year.

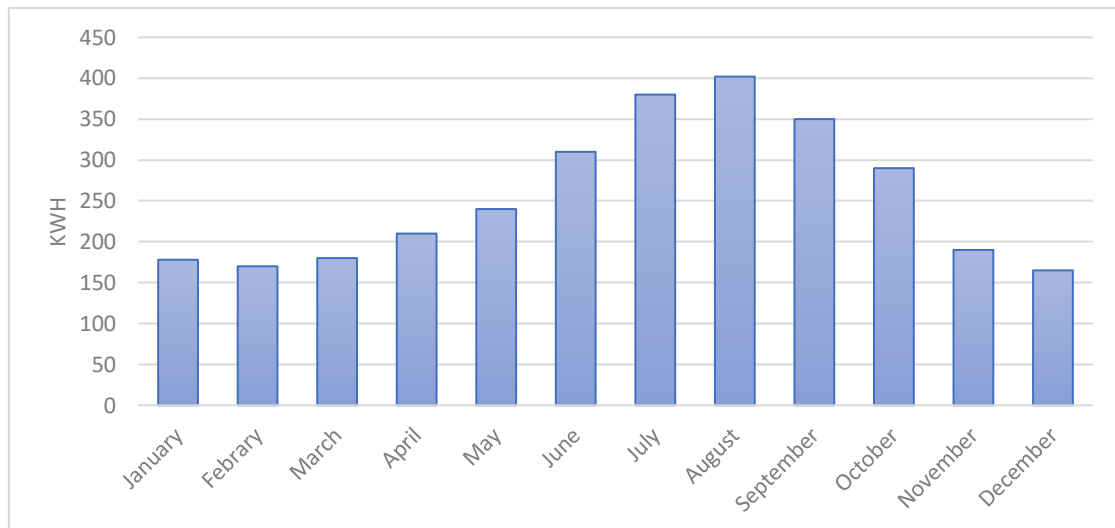
Calculation of reduction of CO₂ emission on account of shifting to the photovoltaic system [2]:

$$CO_2 \text{ emission} = \frac{E_{day} \cdot CO_2 \text{ emissions} \cdot 365 \cdot Lifetime}{1000} \text{ [tone]} \quad (24)$$

3. CALCULATION

3.1. Input parameters

We took the energy demand of an average family as a basis, where the total annual demand is 3065 kWh. In the summer months, the energy demand is higher due to the air conditioners.



4. figure: Yearly demand

3.2. Calculation of different PV configurations

For all three systems, a 4kw system was tested. In the case of the hybrid system, a daily storage capacity of the batteries was tested. In the case of an off-grid system, we examined two types of cases, in the first case we considered 1-day autonomy, in the second case 2-day autonomy. This affects the number of solar panels and the capacity of the battery. The load being unchanged, the same inverter as for the grid-connected case.

3.2.1. Calculation of Grid-tied and Hybrid PV-system

When sizing the grid-connected and hybrid system, the power of the panels, which is calculated to be 3.1 kW_p, the number of panels (10 pieces), and the power of the inverter (3kW) are also the same. The battery capacity of the hybrid system is 182.5 Ah, calculated with 1 day of autonomy.

3.2.2. Calculation of Off-grid PV-systems for two different cases

In the case of the Off-grid system, the power of the PV array must be determined so that during sunshine periods it can allow both load feeding and battery charging. In the first case, calculating with 1 day of autonomy, the output of the panels was 8.44 kW_p. This means a total of 24 panels, if they are panels with a value of 350W_p each. The battery capacity in this case is 182.5 Ah. In the second case, calculating with 2 days of autonomy, the output of the panels was 16.88 kW_p. This means a total of 48 panels, if they are panels with a value of 350W_p each. The battery capacity in this case is 384.5 Ah. The load being unchanged, the same inverter as for the grid-connected case.

3.3. Comparison of investment costs and payback results of different PV systems

Table 4 summarizes the investment costs and the payback period for the different systems. The first two configurations show two cases of the Off-grid system. Case 1 is the 1 day autonomy and case 2 is the 2 day autonomy. The third and fourth configurations show the cases of grid-tied and hybrid systems.

4. table: Comparison of investment costs and payback results of different systems

	Investment item	Note	Qty	Unit cost	Total cost	Summary	Payback
Off-grid (Case1)	Photovoltaic panel	350Wp / each	24	80 000 Ft	1 920 000 Ft	5 020 000 Ft	~ 35 year
	Inverter + Charge controller	3-5kW	1	500 000 Ft	500 000 Ft		
	Cables, accessories, instalation, support structure				1 100 000 Ft		
	Battery	4.5 kWh	1	1 500 000 Ft	1 500 000 Ft		
Off-grid (Case2)	Photovoltaic panel	350Wp / each	48	80 000 Ft	3 840 000 Ft	8 440 000 Ft	~ 54 year
	Inverter + Charge controller	3-5kW	1	500 000 Ft	500 000 Ft		
	Cables, accessories, instalation, support structure				1 100 000 Ft		
	Battery	10 kWh	2	1 500 000 Ft	3 000 000 Ft		
Grid-tied	Photovoltaic panel	350Wp / each	10	80 000 Ft	800 000 Ft	2 400 000 Ft	~ 27 year
	Inverter	3-4kW	1	500 000 Ft	500 000 Ft		
	Cables, accessories, instalation, support structure				1 100 000 Ft		
Hybrid	Photovoltaic panel	350Wp / each	10	80 000 Ft	800 000 Ft	4 650 000 Ft	~ 37 year
	Inverter	4 kW	1	650 000 Ft	650 000 Ft		
	Cables, accessories, instalation, support structure				1 100 000 Ft		
	Battery	4.5 kWh	1	2 100 000 Ft	2 100 000 Ft		

3.4. Calculation of CO2 reduction

Reduction of CO2 emission on account of shifting to the photovoltaic system for a lifetime of 25 years:

$$CO_2 \text{ emission} = \frac{8.383 \cdot 0.375 \cdot 365 \cdot 25}{1000} = 28.68 \text{ [tone]} \quad (25)$$

We also have to take this into account when investing in renewables, not just general monetary returns.

4. CONCLUSION

The advantage of this system is independent, not dependent on PLN's electricity network. The disadvantage of this PV system is more expensive than on-grid PV system. Even with just one day of autonomy, it is clear that such a configuration is neither energetically nor economically sustainable.

Given that both solar panels and batteries need to be oversized, with overflowing power and capacity. This is all in order to provide a satisfactory supply even under the worst conditions, even on the winter solstice, the day of the year with the least amount of sunlight and energy production.

In fact, stand-alone configurations are currently at a disadvantage due to high investment costs; however, if we take into account the fact that the given building can be even kilometers away from the electricity grid, it is obvious that only this type of solar system can be considered.

Comparing the grid-connected and the hybrid system, the hybrid system will also be more expensive due to the investment cost of the battery cells, and in this case too, the solar panels may be over-planned during the system design, but this system can be used in many more cases.

If the mains voltage disappears, it is also possible to operate in off-grid mode, if solar energy is available or the battery charge allows.

On-Grid PV system is environmentally friendly and emission-free. This system also reduces household electricity bills and adds value to the owners.

In general, the battery increases the cost and payback time for any system. This has a negative impact on the costs and profitability of the stand-alone system.

The future reduction in the price of batteries and photovoltaic panels would enable the sustainability of stand-alone and hybrid systems.

5. REFERENCES

- [1] G.C. BAKOSA, M. SOURSOS, *Technical feasibility and economic viability of a grid-connected PV installation for low cost electricity production*, Energy and Buildings 34 (2002) 753–758
- [2] A. JASUAN, Z. NAWAWI; H. SAMAULAH *Comparative Analysis of Applications Off-Grid PV System and On-Grid PV System for Households in Indonesia*, 978-1-5386-5721-8/18/\$31.00 ©2018 IEEE
- [3] C. MARINO, A. NUCARA, M. F. PANZERA, M. PIETRAFESA, A. PUDANO *ECONOMIC Comparison Between a Stand-Alone and a Grid Connected PV System vs. Grid Distance* Energies 2020, 13, 3846; doi:10.3390/en13153846
- [4] P. SHARMA, H. BOJJA, P. YEMULA, *Techno-Economic Analysis of Off-Grid Rooftop Solar PV System*, 978-1-5090-0128-6/16/\$31.00 c 2016 IEEE
- [5] A. E. A. NAFEH, *Design and Economic Analysis of a Stand-Alone PV System to Electrify a Remote Area Household in Egypt*, The Open Renewable Energy Journal, 2009, 2, 33-37
- [6] A. Q. JAKHRANI, AL-KHALID O., A. R. I. H. RIGIT, S. R. SAMO, S. A. KAMBOH, *Life Cycle Cost Analysis of a Standalone PV System*, 978-1-4577-2171-7/12/\$26.00 ©2011 IEEE
- [7] C. R. BAYLISS, C. BAYLISS, B. HARDY, *Transmission and Distribution Electrical Engineering 4th Edition*, ISBN-13978-0080969121
- [8] ASHTIANIA M.N. , ASHKAN T. ,F. R. ASTARAEI, HOSSEIN Y., AKBAR M. *Techno-economic analysis of a grid-connected PV/battery system using the teaching-learning-based optimization algorithm*, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.007>, Received 26 July 2019;
- [9] https://panelectron-shop.hu/szigetuzemu_napelemes_rendszer_meretezese
- [10] BOZSIK S., SZEMÁN J., SÜVEGES G., *Vállalati pénzügyek*, ISBN 978-615-5216-39-8. Miskolc. 2017
- [11] SOMOGYINÉ Dr. MOLNÁR J., *Gazdasági aspektusok előadás jegyzet*, Miskolci Egyetem Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék Miskolc, 2022.
- [12] M. ZERAATPISHEH, R. ARABABADI, M. S. POUR *Economic Analysis for Residential Solar PV Systems Based on Different Demand Charge Tariffs*, Energies 2018, 11, 3271; doi:10.3390/en11123271
- [13] VITOVOLT 200 *Tervezési segédlet*, 5418 398 HU 4/2014
- [14] *Villanyszerelő Mestervizsgára felkészítő oktatási jegyzet*, BUDAPEST, 2021
- [15] MÉSZÁROS L. SCHOTTNER K. *Megújuló energiatermelő rendszerek Napelemes erőművek*, Magyar Mérnöki Kamara Elektrotechnikai Tagozat, 2015. február

HŰTÖTT NAPELEMEK LABORATÓRIUMI ÉS SZABADTÉRI VIZSGÁLATA

LABORATORY AND OUTDOOR EXAMINATION OF COOLED SOLAR PANELS

MATUSZ-KALÁSZ Dávid¹

¹ doktorandusz, egyetemi tanársegéd, elkmkd@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

Kivonat: *A tanulmány a napelem panelek hűtésének a termelőképességükre gyakorolt pozitív hatásának vizsgálatáról szól. A kísérletek kulcsfontosságú kiindulóeleme a hőmérsékleti tranziens jelenség tanulmányozása. E jelenség tanulmányozása céljából készítettem egy ventilátoros hűtést, melyet egy 20Wp csúcsteljesítményű napelem panel hátoldalára erősítettem. Lényeges kiemelni, hogy a kísérletek célja a panel feszültségének mérése a hőmérséklet változásának függvényében. A kutatás során nem volt cél a hűtés optimalizálása, valamint az abból adódó energianyereség előállítás. A hűtött napelem panelek alkalmazásának legjobb, leggazdaságosabb módja a hibrid napelem, mikor a fényérzékeny felületet folyadékkal hűtik, ezáltal a melegvizet is hasznosítják egy napkollektoros rendszerben.*

Kulcsszavak: *napelem, ventilátoros hűtés, energetikai hatékonyság, villamosenergia-termelés*

Abstract: *This paper presents the investigation of the positive effect of cooling on the productivity of solar panels. A key starting point of the experiments is the study of the temperature transient phenomenon. To study this phenomenon, I made a cooling fan, which I attached to the back of a 20Wp peak power solar panel. It is important that the purpose of the experiments is to measure the voltage of the panel as a function of the temperature. The aim of the research was not to optimize the cooling and to produce energy gain. The best and most economical way of using cooled solar panels is the hybrid solar panel, when the light-sensitive surface is cooled with a liquid, thereby the hot water is also utilized in a solar collector system.*

Keywords: *Solar Cell, Cooling Fan, Energy Efficiency, Power Generation*

1. BEVEZETÉS

A kutatómunkám motivációját a támaterületen tapasztalt rendkívül szerteágazó kutatási irányvonalak mennyisége és a téma népszerűsége adta. Továbbá a tanszékünkön is már jó ideje folynak ilyen jellegű kutatások, aminek e tanulmány egy megfelelő kiegészítőeleme.

Magyarországon a teljes napelem-erőművi kapacitás évről-évre exponenciálisan növekedik. Azonban a meglévő kapacitás 10% hasznosul és kerül felhasználásra a villamosenergia-rendszeren keresztül. Ennek alapvető oka, hogy a napelemek éves és napi energiatermelése nem kiegyenlített, valamint meglehetősen alacsony (~20%) hatásfokkal működnek. További problémát vet fel, hogy a nyári melegben, mikor megfelelő mennyiségű kiaknázható energia áll rendelkezésre, a magas hőmérséklet káros hatást gyakorol a napelemek villamos teljesítőképességére.

Sokszor és sokakban felmerült már az az ötlet, hogy a napból származó energiát a hazánktól délre eső, mediterrán, észak-afrikai és közel-keleti régiók országiban kellene megtermelni. Azonban ezekben az országokban a magas kültéri hőmérséklet, a sivatagi por hő-akkumuláló, valamint az erős napsugárzás melegítő hatása drasztikusan csökkentheti a napelemek hatásfokát és élettartamát. Továbbá a sivatagi homok erodáló hatása megmutatkozik a napelem modulokon és tartószerkezetükön egyaránt.

Mikor egy napelem modul hátoldalára ragasztott termékcímkére pillantunk, leolvashatjuk róla legfontosabb paramétereket. Többek között az üresjárási és maximális munkaponti

feszültséget, melyekre a 25°C-os STC (Standard Test Condition) hőmérséklet gyakorol hatást. Valamint megtaláljuk az üresjárású és maximális munkaponti áram értékét, amiket elsősorban az 1000 W/m² STC megvilágítás befolyásol. Azonban működés közben jellemzően az üzemi körülmények adatai ritkán egyeznek az STC értékekkel.

A legtöbb forrás egyetért azzal a megállapítással, hogy 1°C felületi hőmérséklet növekedés esetén a várható hatásfokcsökkenést 0,25% és 0,5% közötti érték. Ez elsősorban a napelem anyagi minőségétől, valamint gyártási technológiájától függ.

2. A NAPELEMEK HŰTÉSÉNEK MÓDSZERTANA

A napelemek hűtésére már számos megoldást kipróbáltak különböző kutatócsoportok. Az alkalmazott hűtőközeg leggyakrabban víz, levegő, vagy valamilyen fázisváltásra alkalmas közeg. Ez utóbbi egy nagyon izgalmas tématerület, amikor a kutatócsoportok a legmegfelelőbb hűtőanyag típusát igyekeznek megtalálni. Talán a legkézenfekvőbb megoldásnak tűnik a levegővel való hűtés, mivel szinte korlátlan mennyiségben áll rendelkezésre, azonban a légköri hőmérséklet is jellemzően azokban a nyári hónapokban a legmelegebb, mikor a panelek felülete leginkább igényelné a fokozott hűtést, ezáltal a hőmérséklet különbség nem minden esetben ideális. A csekély hőmérsékletkülönbséget a lehető legnagyobb légköbméter mennyiség megmozgatásával igyekeznek a kutatók ellensúlyozni, intenzív ventilátoros hűtőmódok alkalmazásával. Gyakran a panelek hátoldalára erősített hűtőbordákkal igyekeznek fokozni a hűtés minőségét [1, 2, 3].

A vízzel való hűtés talán a legígéretesebb megoldás, melynek számos változata létezik. A folyadék-hűtés kiemelkedő esete a PV/T (Photovoltaic/Thermal) rendszerek, melyek hibrid napelemekkel működnek. A hibrid napelemek fényérzékeny oldaluk irányából napelemek, a hátoldaluk irányából napkollektorok. A kombinált rendszer telepítésekor az épület villamos energia, valamint hő igényének egy része egyaránt kiváltható napenergiával. A vízzel hűtő leggyakrabban vizsgált konstrukciók [1, 2, 3]:

- folyadékfilm létrehozás,
- vízpermettel,
- csöves hőcserélővel,
- vízbemerítéssel,
- vízfelszínen történő lebegtetéssel.



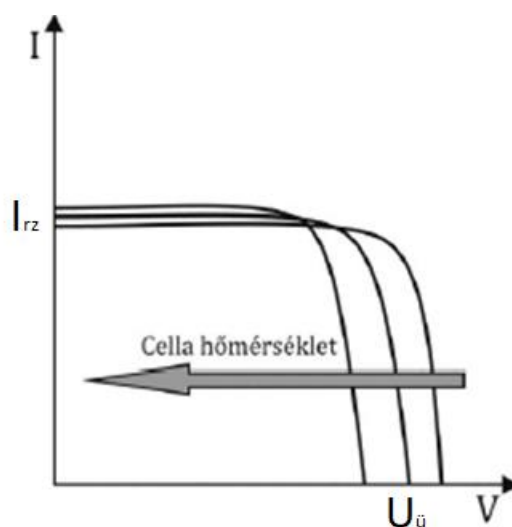
1. ábra: A hibrid napelem illusztrációja

3. A HŐMÉRSEKLET ÉS VILLAMOS FESZÜLTSG KAPCSOLATA

A szilícium alapú napelem egyes jellemzői erős hőmérsékletfüggést mutatnak. A napelem, mint energiatermelő eszköz esetében ezek leglényegesebb megnyilvánulása, hogy a napelem által leadható teljesítmény jelentősen csökken az eszköz hőmérsékletének növekedésével. Összességében elmondható, hogy egy napelem fotoáramának hőmérsékletfüggését az abszorpciós tényező, a diffúziós hossz és tiltott sáv szélesség hőmérsékletfüggése befolyásolja. Röviden megfogalmazva, számunkra fontos az energiatermelés szempontjából a teljesítmény, melyet a rövidzárási áram és az üresjárási feszültség szorzatával képezzük. Ezen szorzat elemei mind függenek a napelem egydiódás kapcsolásából értelmezhető áramoktól, melyek a félvezető anyag tulajdonságainak hőmérsékletfüggésére eredeztethető vissza. Tehát a napelem által leadható teljesítmény jelentősen csökken az eszköz hőmérsékletének növekedésével [4].

A napelemek működésük során magas hőmérsékletre felmelegedhetnek, ennek kialakulásáért javarészt az őket érő napsugárzás tehető felelőssé. A növekvő megvilágítással a hasznos intenzitás mellett a napelem melegedéséért felelő sugárzás is növekszik. Növekvő hőmérséklet hatására az üresjárási feszültség ($U_{\bar{u}}$) csökken. Tehát adott megvilágítás mellett, különböző hőmérsékleten U - I karakterisztikák láthatók. A feszültség eséséből közvetlenül következik a teljesítmény és hatásfok csökkenése is, ha a besugárzást állandónak vettük. Ezen változások magyarázata az, hogy a hőmérséklet növekedése esetén, a p-n átmenetben lejátszódó termikus generáció hatására nagymértékben megnövekszik a kisebbségi töltéshordozók koncentrációja, ez okozza a telítési áramsűrűség I_s megnövekedését és az üresjárási feszültség $U_{\bar{u}}$ lecsökkenését [4].

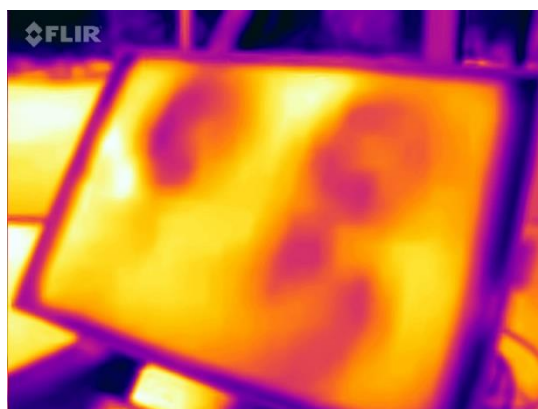
A megvilágítás hatására a napelem melegszik, ezen felül a nagyobb intenzitás nagyobb átfolyó áramot jelent, amely négyzetes arányban tovább növeli a napelem hőmérsékletét. Emiatt nem csak a környezeti hőmérséklet, hanem a napelem belső ellenállásán hővé alakuló teljesítmény is veszteséget jelent. Ezek alapján elmondható, hogy a megvilágítás intenzitásának növekedésével csökken a napelem hatásfoka. A napelemek feszültségének és áramának (ezért teljesítményének is) van hőmérsékleti tényezője, ez a T_k . A hőmérsékleti együttható mértékegysége %, mely megadja, hogy egy Kelvin (Celsius fok) változás hatására az adott fizikai mennyiség milyen jelleggel (nő vagy csökken). A feszültség hőmérsékleti tényezője negatív, az áramé kis mértékben pozitív, ezért a teljesítmény változása magasabb hőmérsékletek esetében eredőben negatív [4].



2. ábra: A cellahőmérséklet hatása az áramerősség-feszültség karakterisztikára [4]

4. AZ EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

A hűtött napelem panel vizsgálata 2022 augusztusában kezdődött kültérben természetes napfény által megvilágítva. Az első vizsgálat végeredménye sikeresnek volt mondható, mivel a ventilátorok viszonylag rövid idő alatt (15 perc) visszahűtötték a felmelegedett panelt, ezáltal az üresjárási feszültség csökkenése megállt és növekedni kezdett. Ellenben gondot jelentett, hogy a negyedik ventilátor selejtesnek bizonyult és nem indult be. A 3. ábrán látható, hogy csak három ponton kezdett lehűlni a felmelegedett panel felülete. Sajnos a szabadtéri vizsgálatok során nehéz állandó feltételeket biztosítani. Befolyásoló tényező a nem állandó fényintenzitás, mely 780 – 870 W/m² között ingadozott. A külső hőmérséklet 23°C volt, azonban a szélmozgás befolyásolhatta a hőmérsékletértékeket [5].



3. ábra: A ventilátoros hűtés szabadtéri tesztelésének hőkamerás felvétele

1. táblázat: A vizsgált napelem panel paramétereit.

Megnevezés	Jele	Mértékegysége	Értéke
Csúcsteljesítmény	P_{max}	Wp	20
Üresjárási feszültség	$U_{ü}$	V	21,67
Rövidzárási áram	I_{rz}	A	1,22
Maximális munkaponti feszültség	U_{mpp}	V	17,49
Maximális munkaponti áram	I_{mpp}	A	1,144

A laboratóriumi vizsgálatok során különböző (700 W/m² és 900 W/m²) megvilágítottsági szintnek (fényintenzitás) vettem alá a napelem panelt. Továbbá, a méréseket a működő ventilátoros hűtés mellett és anélkül is elvégeztem. Minden mérés 15 percig tartott, mert a panel felületének hőmérséklete ez idő alatt elérte a szabadterben tapasztalt átlagosan jellemző értéket, ami hozzávetőleg 45-50°C volt.

A 2. táblázat mutatja a mért kiinduló értékeket, melyek üresjárási feszültség esetében a maximális értékek, míg a hőmérséklet esetében a minimális értékek, valamint a mérések befejezésekor mért értékeket. 900 W/m² fényintenzitás mellett a hűtés 4,6°C -al csökkentette a panel felületének hőmérsékletét, ami közel 0,614 V feszültségnyereséget jelentett. 700 W/m² megvilágítottság mellett a két mérés hőmérséklet különbsége 2,9°C, míg a feszültség esetében 0,214 V különbséget lehetett tapasztalni.

Az eredmények azt mutatják, hogy esetlegesen a hűtés optimalizálásakor megeshet, hogy bizonyos fényintenzitás határérték elérése esetén a hűtést ki lehet kapcsolni. A hűtés építésekor lényeges szempontnak tekintettem, hogy impulzusszélesség-modulációval (PWM) vezérelhető ventilátorokat válasszak.

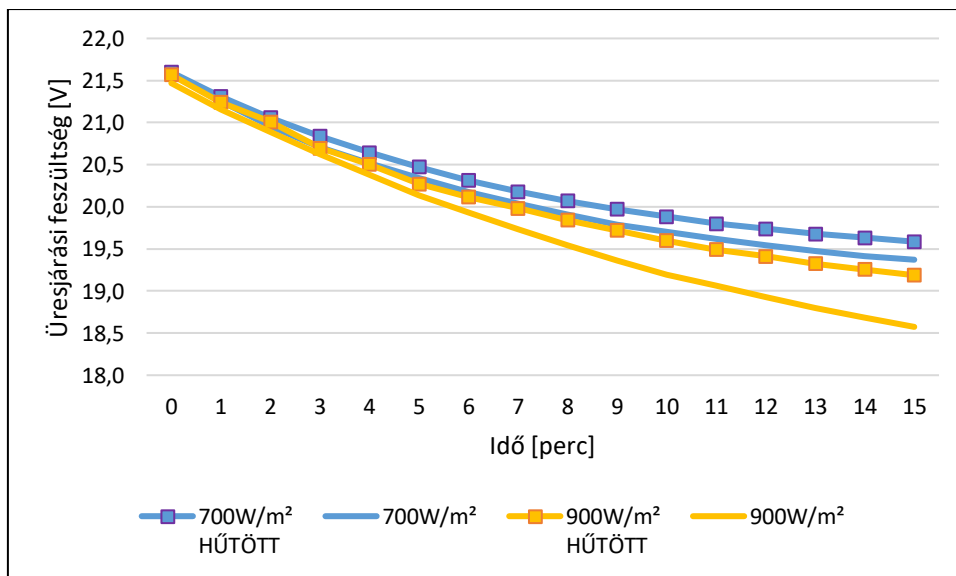
2. táblázat: A vizsgálatok során mért kiinduló és záró értékek

Vizsgált jellemző paraméter	900 W/m ²		700 W/m ²	
	nem hűtött	hűtött	nem hűtött	hűtött
Maximális üresjárási feszültség [V]	21,469	21,567	21,577	21,599
Minimális üresjárási feszültség [V]	18,574	19,188	19,412	19,586
Maximális hőmérséklet [°C]	61,4	58,5	52,4	50
Minimális hőmérséklet [°C]	24,3	23,9	23,5	23,7

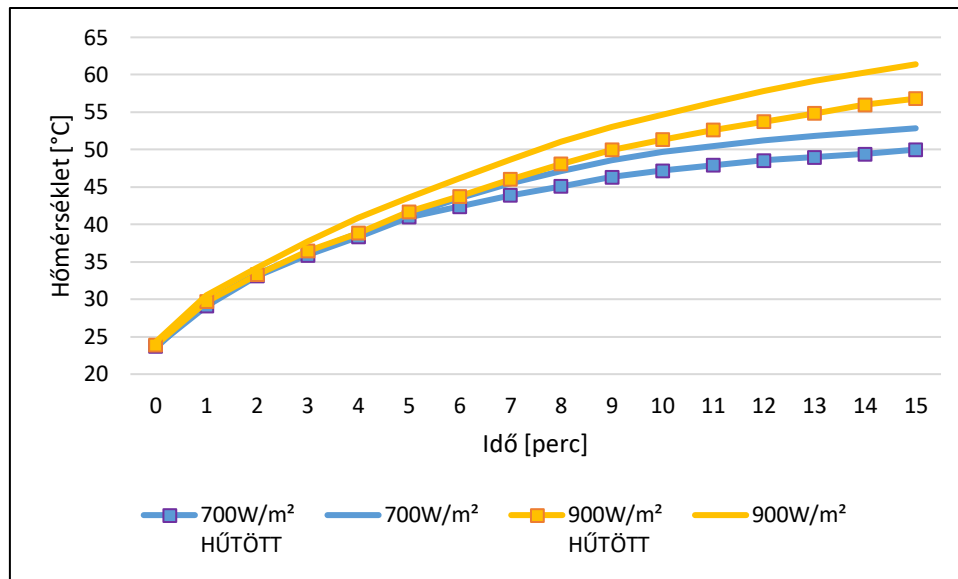
A hőmérséklet tranziens jelenség lefutásának hatását jól szemlélteti a 4. ábra. A panel üresjárási feszültsége minden alkalommal közel azonos értékről indult. Az előzetes várakozásoknak megfelelően a nagyobb fényintenzitás hatására a panel gyorsabban és intenzívebben melegedett át (5. ábra). A 15 perces mérések első 5 percében sem a hőmérséklet, sem az üresjárási feszültség értékek esetében nem alakultak ki számottevő különbségek. Amennyiben az utolsó 5 perces szakaszt vizsgáljuk szembevetve, hogy a 900 W/m² fényintenzitás mellett a hűtés hatása erőteljesebben megmutatkozott.

A 4. és 5. ábráról is egyértelműen leolvasható, hogy 700 W/m² megvilágítás mellett a melegedési folyamat és az ezzel járó feszültség logritmikus jellegű csökkenése már szinte teljesen lecsengett, de még nem lépett át állandósult fázisba. A hűtés látszólag nem bizonyult olyan aktívnak mint 900 W/m² fényintenzitás mellett, azonban ennek oka inkább abban a tényben keresendő, hogy a hűtés nélküli mérés során alacsonyabb fényintenzitás mellett a panel felületét érő hősugarak erőssége is gyengébb volt. A hűtés nélküli alacsonyabb fényintenzitás mellett produkált feszültség változás közel azonos volt a magasabb fényintenzitás mellett hűtött panel feszültségváltozásával.

Fontos kiemelni grafikonok logaritmikus jellegét az idő függvényében való ábrázolás adja, ellenben, mind a négy esetben a feszültség és a hőmérséklet kapcsolata közel lineáris volt. Továbbá, mind a négy esetben ez a feszültség-hőmérséklet közti linearitást leíró függvények minimális mértékben tértek el.



4. ábra: A különböző fényintenzitás értékek esetében mért üresjárási feszültség értékek



5. ábra: A különböző fényintenzitás értékek esetében mért hőmérséklet értékek

5. KÖVEZTKEZTETÉSEK

Az alkalmazott hűtési mód kültéri környezetben hatékonyabb volt, mint a laboratóriumi vizsgálatok során. Ennek egyik oka lehet, hogy a szabadtéri vizsgálatok során a meleg levegő könnyebben elhagyhatta a vizsgálati zónát. Másodsorban a halogén megvilágítás nagy mennyiségű hője torzítja a vizsgálatokat, valamint a fény spektrális eltérése miatt a termelt áramerősség is jóval alacsonyabb (900 W/m² esetén, kevesebb mint fele; 700 W/m² esetén harmada), így a panel belsejében a folyó áram hatására keletkező hő nem jelentkezik. Ugyanakkor hasznos adatokat sikerült gyűjteni a panel működésével kapcsolatban, ami megalapozhatja további vizsgálatok elvégzését.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SIECKER, J., KUSAKANA, K., NUMBI, B.P: *A review of solar photovoltaic systems cooling technologies*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79. kötet, pp. 192–203, 2017.
- [2] SAHAY, A., SETHI, V.K., TIWARI, A.C., PANDEY M: *A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to Ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS)*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42. kötet, pp. 306–312, 2014.
- [3] GRUBIŠIĆ-ČABO, F., NIŽETIĆ, S., MARCO, T.G: *Photovoltaic panels: A review of the cooling techniques*, Transactions of Famera XL - Special issue 1, pp. 63-74, 2016.
- [4] MATUSZ-KALÁSZ, D., BALÁZS, P: *Napelemek hibáinak feltárása hőkamerás vizsgálattal*, Multidiszciplináris tudományok, A Miskolci Egyetem Közleménye, 11. kötet, 3. szám, pp. 112-122, 2021.
- [5] Gökmen, N., Hu, W., Hou, P., Chen, Z., Sera, D., Spataru, S: *Investigation of wind speed cooling effect on PV panels in windy locations*, Renewable Energy, 90. kötet, pp.283-290, 2016.

FORMULA STUDENT VERSENYAUTÓ BIZTONSÁGI RENDSZERÉNEK FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF THE FORMULA STUDENT RACING CAR SAFETY SYSTEM

OROSZ Máté¹, PINTÉR Judit Mária²

¹Msc hallgató, omate98@gmail.com

¹ Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-140

²Ph.D., tudományos főmunkatárs, judit.pinter@uni-miskolc.hu

² Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

Kivonat: *A Formula Student egy olyan nemzetközi versenysorozat, ahol egyetemi hallgatók terveznek formula jellegű versenyautót, azzal a céllal, hogy formula student versenyeken vegyenek részt. Ez egy projekt verseny, ahol a mérnöki megoldások mellett egy átfogó üzleti tervet kell létrehozni, ami bemutatja a terméket – formula student versenyautó – mint nyereséges befektetési lehetőség. Ezekben a versenyekben a legfontosabb szempont, mindig a biztonság. Éppen ezért az autó tervezését egy szigorú előre felállított szabálykönyv szerint kell elvégezni, ami biztosítja a jármű biztonságát. Az autó biztonságát mechanikai, illetve elektronikai tényezők alkotják. Ebből az elektronikai biztonsági rendszert mutatjuk be, azon belül az egyik legfontosabb alkotó elemét a BSPD-t (Brake System Plausibility Device). Ebben a dolgozatban ennek az elemnek a tervezéséről és megvalósításáról fogunk beszélni.*

Kulcsszavak: *Formula Student, biztonsági rendszer, BSPD.*

Abstract: *Formula Student is an international series of competitions where university students design a formula car with the aim of competing in Formula Student races. It is a project competition where, in addition to engineering solutions, a comprehensive business plan must be created to present the product - a formula student racing car - as a profitable investment opportunity. The most important aspect in these competitions is always safety. That is why the design of the car has to follow a strict set of predefined rules to ensure the safety of the vehicle. The safety of the car is based on mechanical and electronic factors. From this, We will describe the electronic safety system, one of the most important components of which is the BSPD (Brake System Plausibility Device). In this description, We will talk about the design and implementation of this component.*

Keywords: *formula student, safety system, BSPD.*

1. BEVEZETÉS

A Formula Student Európa legelterjedtebb projekt versenye, amely a 20. évfordulóját ünnepelte 2018-ban. A verseny fő célja az, hogy vállalkozó szellemű és innovatív fiatal mérnökhallgatóknak adjanak lehetőséget arra, hogy összekapcsolják egyetemi tanulmányaikat és „hands on” tapasztalatot szerezzenek a szakterületükön. Mindemellett szeretnék kinevelni a következő generációt, amivel az utánpótlást tudják biztosítani az ipar és a motorsportok számára.

A hallgatóknak a versenyre egy olyan Formula stílusú versenyautót kell tervezniük, fejleszteniük és gyártaniuk, amivel versenyezni tudnak statikus, illetve dinamikus versenyszámokban.

A verseny az alábbi három kategóriába van felosztva:

- Belső Égésterű Motoros Jármű - Internal Combustion Engine Vehicle (CV)
- Elektromos Jármű - Electric Vehicle (EV)

- Önvezető Jármű - Driverless Vehicle (DV) (amely lehet CV vagy EV)

A szervezők minden évben próbálnak olyan versenyszabályzatot összeállítani, ami lépést tart az ipar fejlődésével, így a csapatok rá vannak kényszerítve a frissebb technológiák alkalmazására. Az elektromos hajtások és az önvezetői funkciók azok, amelyek a következő években a járműiparban dominánsan meghatározóak a kutatások és fejlesztések jelentős részében. Ezen okból kiindulva előreláthatólag a 2023-es versenyszezontól minden járműnek (kategóriától függetlenül) a verseny részét fogja képezni autonóm versenyszámok teljesítése is.

2. A VERSENYAUTÓ VÉSZKÖRE

Az autó biztonsági rendszerének lelke a vészkör, amely tartalmazza azokat a biztonsági funkciókat, melyek a **pilóta**, az **autón dolgozók** és a **jármű** épségét szolgálják. A vészkörnek több megszakítási lehetősége van, melyet két csoportra tudunk bontani:

Manuális elemek:

Abban az esetben, ha pilóta, az autón dolgozók vagy felügyelők úgy ítélik meg, hogy a szituáció veszélyes, bármely manuális elem megnyomásával, a vészkör életbe lép és leállítja az autót.

- LVMS (Low Voltage Master Switch – Kis feszültségű főkapcsoló)
- 3 db vészgomb (műszerfalon és a jármű két oldalán)

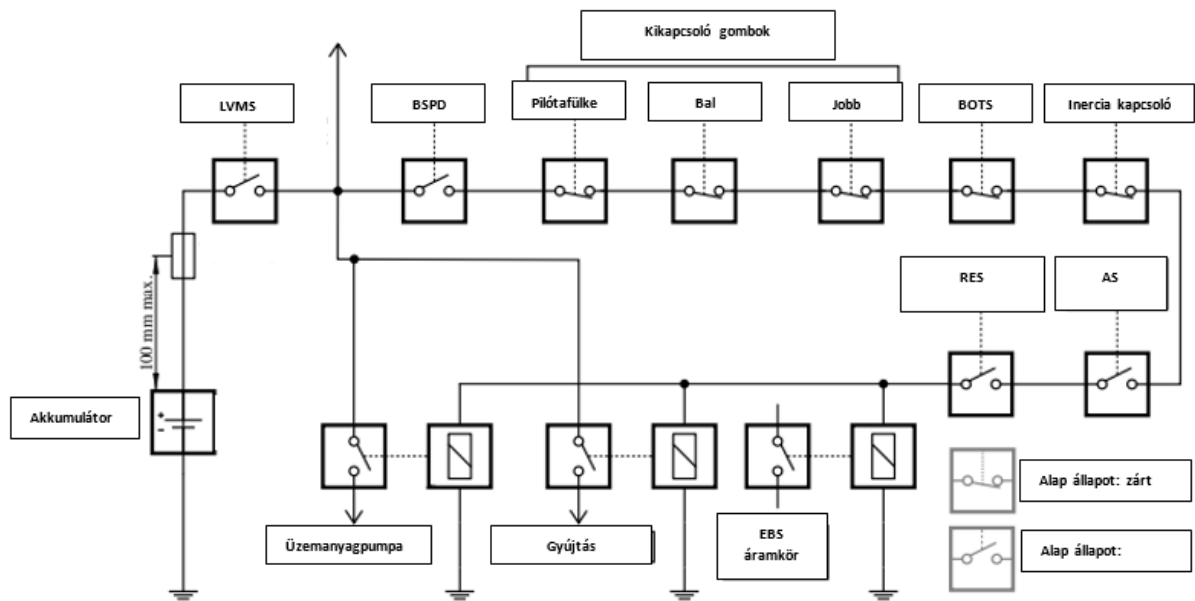
Automatikus elemek

Abban az esetben, ha a szabályzatban előre megadott feltételek teljesülnek (amely minden automatikus elemnél egyedi), akkor a vészkör életbe lép és leállítja az autót.

- Inercia kapcsoló
 - Ez egy ütközésérzékelő. A benne lévő golyó az ütközés hatására kimozdul, és megszakítja az áramkört. A szabályzatban leírtak alapján 6 és 11 g közötti gyorsulási erő hatására kell nyitnia az áramkört.
- BOTS (Brake Over-Travel Switch)
 - Ez egy kapcsoló, amely a fékpedál mögé van felszerelve. Akkor nyitja a vészkört, ha a fékrendszerben valamilyen szivárgás jelentkezik és lecsökken az olajnyoms. Így amikor a pilóta fékez, a fékpedált messzebbre képes juttatni fékezés nélkül, benyomva ezzel a kapcsolót.
- BSPD (Brake System Plausibility Device)
 - Ez egy olyan nem programozható áramkör, amely bizonyos féknyomás és gázpedál állás esetén áramtalanítja a járművet.

A vészkörnek a következő elemeket kell hatástalanítania:

- Gyújtás
- Üzemanyag befecskendezők
- Üzemanyag pumpák



1. ábra: A vészkör blokkdiagrammja.

Ezek a biztonsági, valamint a leállítandó elemek sorosan vannak kapcsolva egymással. Ez biztosítja azt, hogy bármelyik elemnél szakad meg a kapcsolat, a vészkör életbe lép leállítja az adott berendezéseket.

2.1. Vészleállítóáramkör (BSPD)

A BSPD egy olyan NEM programozható áramkör, amelynek közvetlenül az autó vészkörét kell, vezérelnie két mechanikus relén keresztül, (Relé 1: Üzemanyagpumpa Relé 2: befecskendezés és gyújtás) abban az esetben, ha kemény/hirtelen fékezés lép fel és a folytószelep 25%-nál jobban nyitva van.

2.2. Tervezési Szempontok

A szabályzat szerint „Standalone”, azaz különálló áramkörnek kell lennie a BSPD-nek. Ez a következő dolgokat jelenti:

- Kizárólag egy funkciója van.
- Csak a szükséges jelek lehetnek jelen az áramkörön.
- A jelek nem mehetnek keresztül más eszközön mielőtt belépnek a BSPD-be. (tápfeszültség, szenzorok jelei stb.).

A szabályzat kimondja, hogy hirtelen fékezés detektálásához féknyomásszenzort kell alkalmaznunk. Úgy kell megválasztanunk a küszöbfeszültséget a szenzoron, hogy még a jármű kerekei ne blokkoljanak és a féknyomás **legfeljebb 30 bar** legyen. Mivel a verseny fontos a része a technikai átvizsgálás, a szabályzatban külön kitérnek arra, hogy a BSPD könnyen elérhető helyen legyen, illetve lehetőség legyen különválasztani az áramkört az autó kötegtől.

A BSPD-nek kettő szenzorra van szüksége a működéséhez:

- TPS szenzor (Throttle Pedal Sensor) – Gázpedálállás-szenzor
- féknyomás szenzor

A belső égésű járművek esetén a következő elv szerint kell működni a BSPD-nek:

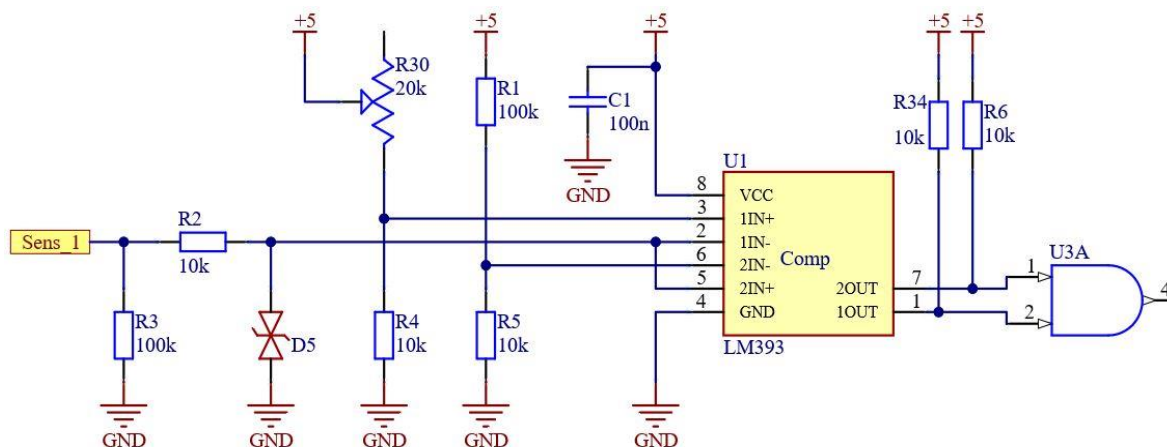
1. A TPS szenzor (throttle pedal sensor) az alapállapothoz képest 25%-kal jobban nyitva van a folytószelep
2. A féknyomás-szenzor eléri a küszöbértéket.
3. Bármelyik szenzor jele megszakad.

Ha az első két feltétel bármelyike teljesül legalább 500 ms-ig, vagy bármelyik szenzor jele megszakad, akkor a BSPD automatikusan nyitja a vészkört és áramtalanítja a járművet.

Abban az esetben, ha a nyitófeltételek nincsenek jelen legalább 10 mp-ig, akkor az áramkör visszaállíthatja magát az alapállapotba.

2.3. Az áramkör működése és módosítások

Az áramkörbe két szenzor jele érkezik meg, amik a TPS és a féknyomás-szenzor jele, ezeket 1-1 LM393 IC dolgozza fel. Az LM393-as IC-ben, mint ahogy **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** c. bekezdésben is ismertettem, két összehasonlítást tudunk végezni.



2. ábra: A vészkör blokkdiagramja.

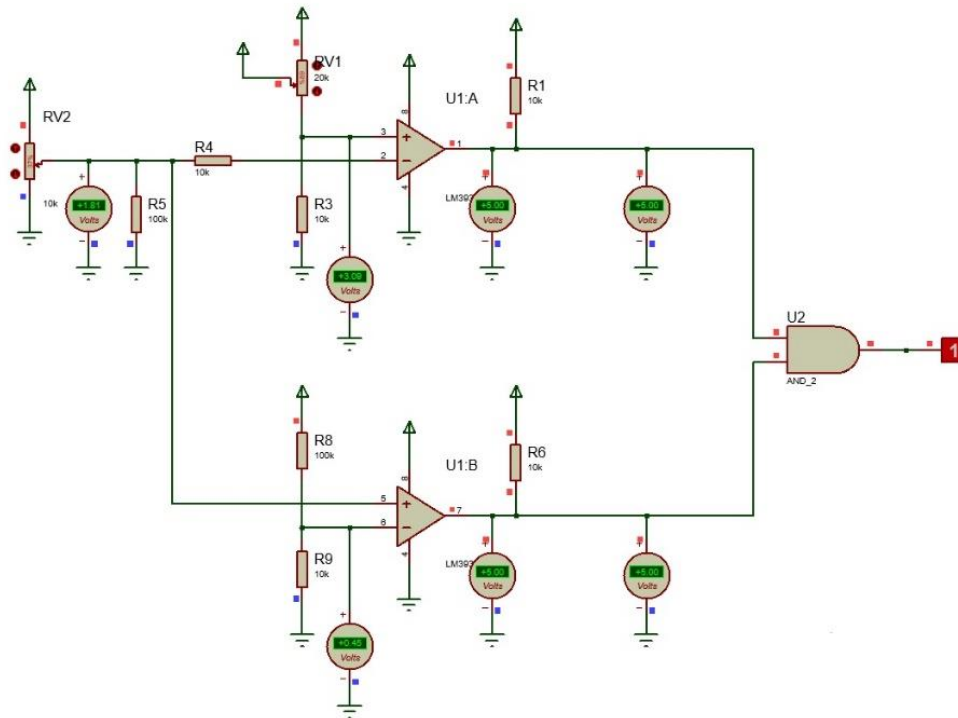
Az 1-es komparátor invertáló bemenetére van vezetve a TPS/Féknyomás-szenzor jele, a nem invertáló bemenetére pedig az a referencia feszültség, amit a szenzor akkor ér el mikor:

1. A TPS szenzor (throttle pedal sensor) az alapállapothoz képest 25%-kal jobban lenyitott állást érzékel.
2. A féknyomás szenzor meghaladja a küszöbértéket.

A feszültségosztót, - ami az első komparátor nem invertáló bemenetére van kötve- nagyon fontos bekalibrálni, hiszen ez adja meg a küszöbértéket a két szenzor számára. A kalibrálás során a gázpedál alapállásban van. Ebben a pozícióban megmérjük a feszültséget a szenzoron. Ezután lenyomjuk a pedált, és megmérjük végállásban is a feszültséget. A kapott tartománynak vesszük a 25 %-át és az így kapott feszültség-értéket beállítjuk a potencióméter segítségével. A féknyomás küszöbértéke 20 bar mérések alapján.

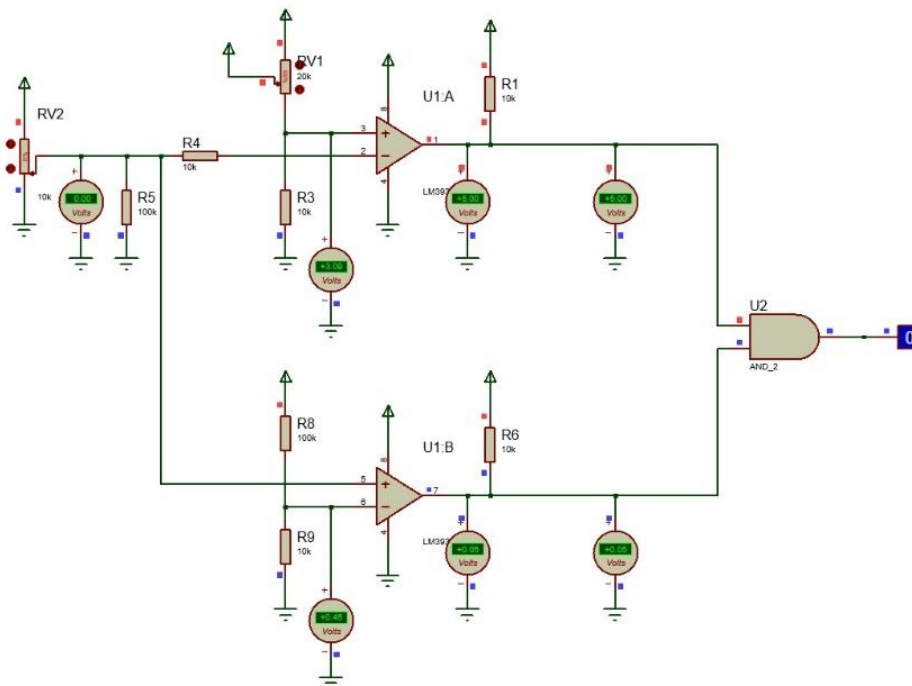
A kettes bemeneten lévő feszültségosztó 100 k, illetve 10 k ellenállással az 5 V-os tápfeszültséget 0,45 V-ra fogja limitálni. Ez van rákötve a kettes komparátor invertáló bemenetére.

A nem invertáló bemenetre pedig a szenzor jele van csatlakoztatva. Ezzel azt ellenőrizzük, hogy szenzorunkról megérkezik-e a jel a BSPD-be (élőnulla vizsgálat).



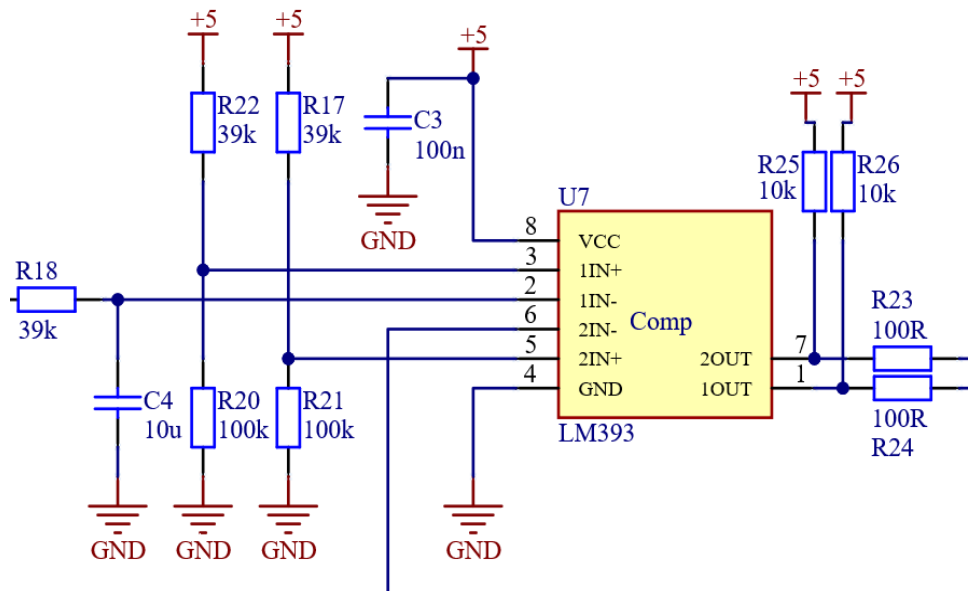
3. ábra: A BSPD működési fázisa

A Hiba! A hivatkozási forrás nem található. azt az esetet szimulálja, mikor a szenzor jelünk megszakad. Ebből is látszik, hogy áramkörünk ezen szintjén a hibajelünk a 0.



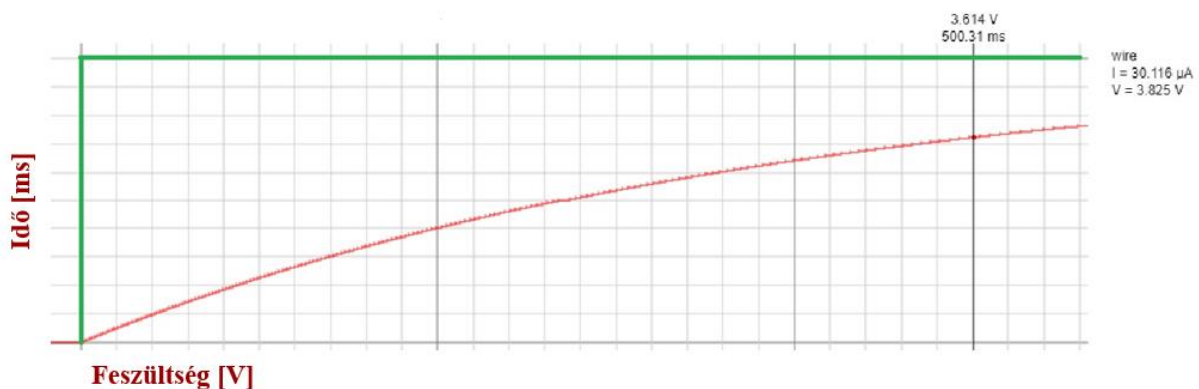
4. ábra: A BSPD hiba fázisa

Most, hogy külön-külön meglehet határozni a szenzorok helyes értékeit, fontos, hogy össze legyen vetve a két LM393 kimenete és egy olyan logika működjön mellette, amivel teljesülnek a szabályzatban leírtak, melyet a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** c. bekezdésben kifejtettem. Ez a logika utolsó kapuja. Fontos figyelembe venni, hogy ennek a kapunak a kimenete fogja vezérelni azt az RC kört, ami a 500 ms-os késleltetést biztosítja. Mivel abban az áramkörben pozitív logika működik, emiatt fontos belátnunk, hogy a hibajelünk a magas logikai szint lesz, hiszen ez fogja a kondenzátort tölteni.



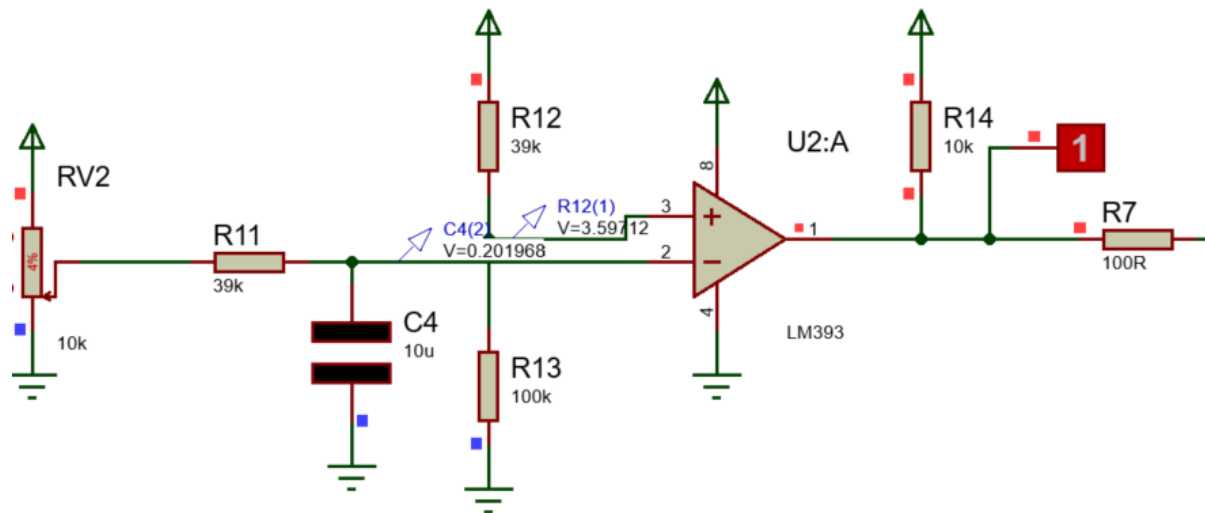
5. ábra: Időzítő komparátor

Egy RC tagon keresztül késleltetés történik, aminek az időállandója 500 ms. Ennyi idő alatt a kondenzátor 3,6 V-ot ér el. Ezt a feszültséget szintén egy LM393 vizsgálja.



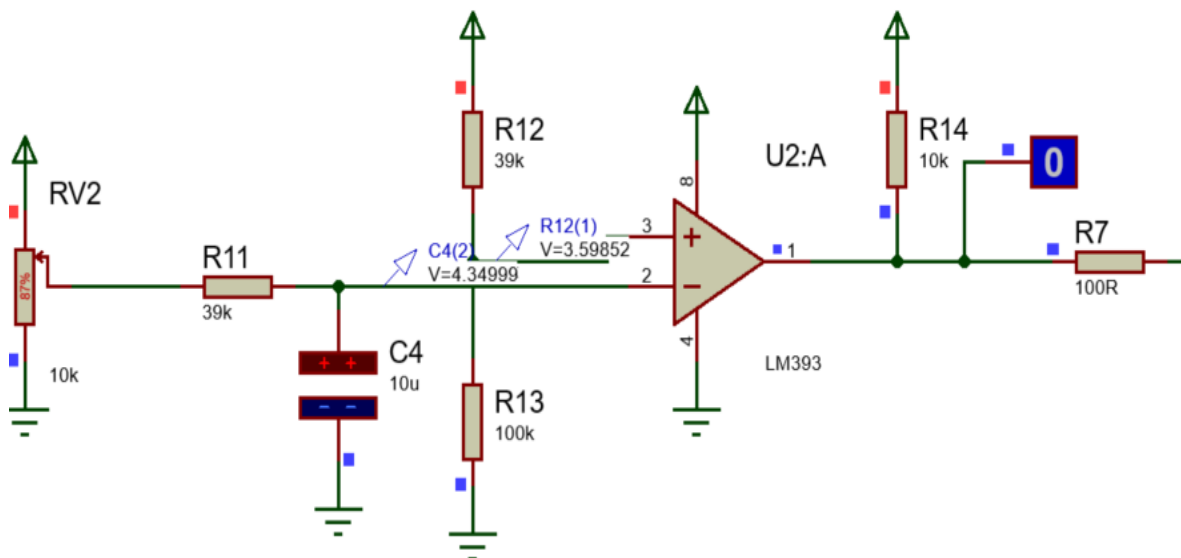
6. ábra: A kondenzátor feszültség-idő függvénye

A méréshez az „A”-csatornán zölddel az egységugrás függvény látszik, a „B” csatornán pirossal pedig a feszültség-idő függvény. Jól leolvasható, hogy a 3,6 V-ot 500ms alatt éri el a kondenzátor feszültsége. Az egyes nem invertáló bementre kötjük a referencia-feszültséget az, invertálóra pedig az időzített jelet. Az egyes komparátor kimenetére kötünk egy P-csatornás MOSFET-et. Az egyes komparátor kimenete magas logikai szintet fog mutatni, hiszen a kondenzátor még nem érte el a megfelelő töltöttséget (7. ábra).



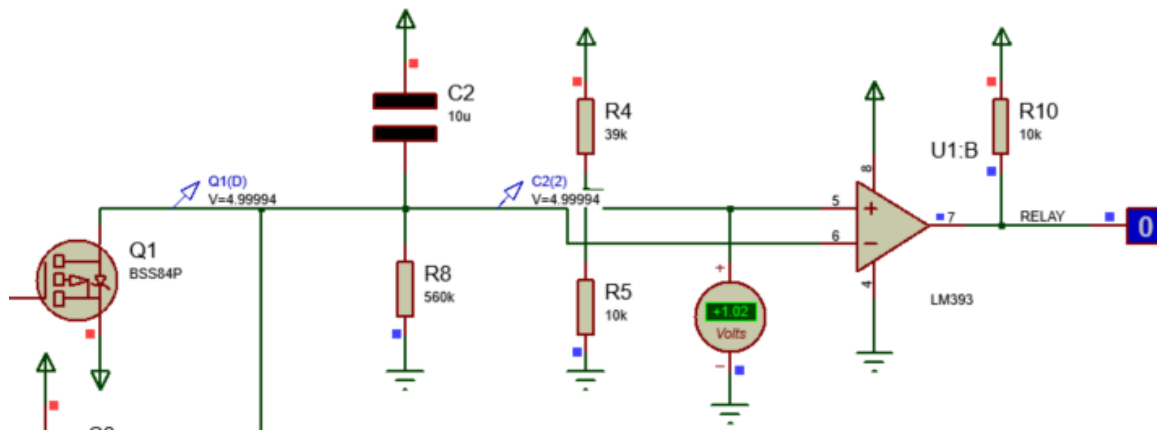
7. ábra: Időzítés előtt

Amint megérkezik a feszültségszint, a komparátor átbillen és a kimenetén alacsony logikai szint fog megjelenni.



8. ábra: 500ms Időzítés után I.

Mivel az egyes komparátor kimenete rá van kötve egy P-csatornás MOSFET-re ez így be fog kapcsolni, hiszen ahhoz, hogy egy ilyen MOSFET bekapcsoljon a source lábára pozitív feszültséget és a gate lábára negatív feszültséget kell adni. Akkor tud áram folyni a source és drain között. Mivel elkezd folyni az áram a feszültség megjelenik a FET drain lábán. Ez rá van kötve a második komparátor invertáló bemenetére, a nem invertáló bemeneten pedig egy referencia-feszültség van, ami közel 1 V. Mivel a drain-en megjelenik az 5 V, a második komparátor kimenetén alacsony logikai szint fog megjelenni.

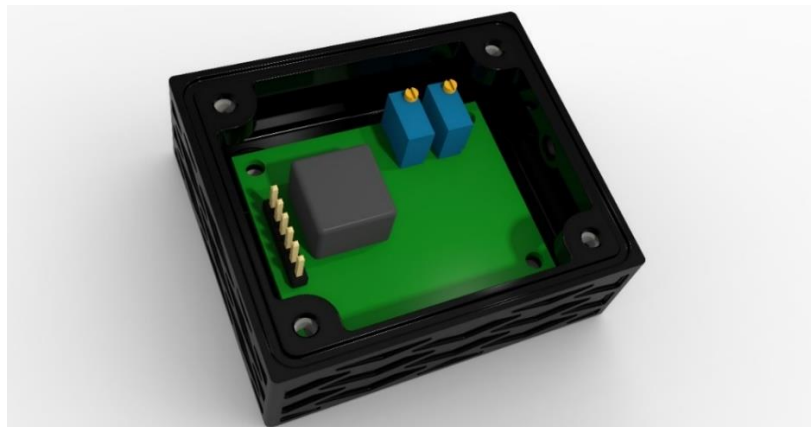


9. ábra: 500ms Időzítés után II.

A második komparátor kimenetéről vezérlünk egy P-csatornás MOSFET-et. Ha a Gate 0 V feszültséget kap, akkor képes a FET a legtöbb áramot átvinni drain és source között. Azonban ahogy a feszültség egyre alacsonyabb lesz, egyre kevesebb áram fog keresztül folyni egészen addig, amíg a feszültség elég alacsony lesz ahhoz, hogy ne folyjon több áram a két láb között. Ezen a FET-en keresztül egy relét vezérek, ami megszakítja a vészleállító áramkört. Fontos, hogy a lehető legnagyobb áramot tudjam átvezetni a FET-en és ezért vezérelem alacsony logikai szintről. Abban a pillanatban, hogy az első komparátor kimenete magas logikai szintbe kerül, mert megszűnik a hibajel, a P-MOSFET nem fogja vezetni az áramot. Az a feszültség, ami eddig ezen az invertáló ágon jelen volt, azt felveszi a kondenzátor 10s alatt. Ahogy a kondenzátor töltődik az invertáló ágon, egyre csökkenni fog a feszültség, míg végül kisebb lesz, mint a nem invertáló ágon lévő referencia feszültség. Így a második komparátor kimenete magas logikai szintbe kerül, aminek következtében az N-MOSFET (mivel pozitív feszültséget kap), nem fog áramot vezetni, ezért a relé elenged és az autót ismét használható lesz.

2.3.1. A BSPD elhelyezése

A verseny fontos a része a technikai átvizsgálás. A szabályzatban külön kitérnek arra, hogy a BSPD könnyen elérhető helyen legyen, illetve lehetőség legyen különválasztani az áramkört az autó kötegetől. Ezért az autó orrában, a pedálok mögött helyezkedik el. Az áramkörnek már meg voltak határozva a befoglaló méretei az előző évről, ezeket egyeztettem gépészmérnök kollégákkal, akik megtervezték BSPD dobozát, amit 3D nyomtatással gyártottunk le.



10. ábra: A BSPD doboza

Az áramkört pontos mérete, 36x44 mm. Erre a BSPD verzióra, plusz alkatrészek kerültek, emiatt a rendelkezésre álló terület az egyik oldalon kevésnek bizonyult. Azonban a dobozon belül, a négy rögzítő csavarnál találhatóak platformok. Ezek biztosítják az áramkör rögzítését és megemelik az áramkört. Mivel meg van emelkedve, a tervezés során lehetőségem volt az alsó „bottom” oldalt is igénybe venni. Így azok a plusz alkatrészek oda kerültek fel.

Az előbbi ábrákon jól látható, hogy van egy kör alakú nyílás a doboz oldalán. Ezen az úton keresztül jutnak be a belsejébe a vezetékek, ahol csatlakoznak az áramkörön található tűkesorra. A vezetékek zsugorcsőben futnak és át vannak vezetve a BSPD belsejébe. A belső oldalon jumper-ek csatlakoznak a tűkesorra, a külső oldalon pedig egy 6 pines DTM csatlakozó található, amely teljesen vízálló. Annak érdekében, hogy elkerüljük a beázást, a nyílást epoxy ragasztóval töltöttük ki. Ez biztosítja a megfelelő szigetelést és rögzíti a vezetékeket.



11. ábra: DTM csatlakozó (anya, apa)

3. ÖSSZEZGÉS

Az általam módosított BSPD áramkör több biztonsági körülménynek felel meg, mint az előző verzió. A komporátor bemeneteire kötött feszültségosztó, mely egy potenciométer és egy ellenállás, fontos szerepet töltenek be annak helyes működésében. Ennek a potenciométernek a helyes kalibrálása biztosítja a pontos küszöbfeszültséget, ami aktiválja a BSPD-t, így elengedhetetlen a szenzorhoz igazítani ezeket az értékeket, valamint a biztonság kedvéért ezeket a küszöbértékeket időnként ellenőrizni. A kombinációs hálózat áttervezése jelentette a megoldást a biztonságosabb működéshez. Fontos volt meghatározni, melyik kapu-szinten, melyik logikai állapot a hibajel és ennek függvényében alakítottam a működést. Az időzítés pontossága egy fontos tényező az áramkör aktiválása és deaktiválása közben. A szimulációs eredményekből is látszik, hogy a kondenzátor feltöltési ideje egy exponenciális alakot ír le, mely az idő függvényében változik. Az egyenletből kiszámítható az az időállandó, ami meghatározza az alkatrészek értékeit, elérve ezzel a kívánt késleltetési időt.

4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS



A cikkben ismertetett kutató munka az NTP-SZKOLL-22-0023 azonosítószámú „Tehetséggondozás és szakmai közösségépítés a Terplán Zénó Szakkollégiumban” elnevezésű projekt keretében valósult meg az Emberi Erőforrások Minisztériuma és az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő támogatásával.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] S. G. Formula, „*Formula Student Rules*”, 2020.
- [2] Texas Instruments, „*LM393*”, 2019.
- [3] SCHARNITZKY V.: *Differenciálegyenletek*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1983.
- [4] DEMETER K., DÉN G.: *Villamosságtan*, Budapest, 2006.
- [5] TÓTH E.: *Elektrotechnika*, Budapest: Solt Sándor, 1964.
- [6] JANOVICS S., DR. TÓTH M.: *A logikai tervezés módszerei*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1973.
- [7] SIMONYI K.: *Elméleti Villamosságtan*, Budapest: Tankönyvkiadó, 1958.

HÁROMFÁZISÚ ASZINKRONMOTOR LÁGYINDÍTÓ TERVEZÉSE

THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR SOFT STARTER DESIGN

SIPOS Szilárd Zsolt¹

¹hallgató, sipos.szilard.zsolt@gmail.com
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46/565-111/12-20 mellék

Kivonat: *A tanulmány egy háromfázisú aszinkronmotor lágyindító tervezést mutat be. A lágyindító egy olyan típusú motorindító, amely feszültségcsökkentési technikát alkalmaz a feszültség csökkentésére a motor indításakor. A lágyindító fokozatos feszültségnövekedést tesz lehetővé a motor indításakor, ezáltal a motor lassan és egyenletesen gyorsul fel. Megakadályozza a mechanikus szakadást és rángatózást a hirtelen teljes feszültségellátás miatt. A háromfázisú aszinkronmotor lágyindítóm lelke egy Arduino NANO, amely képes három triakot úgy vezérelni egy időben, hogy azok egy háromfázisú aszinkronmotor lágyindítására képesek legyenek. A cikk célja, hogy rávilágítson arra, hogy manapság a motorindítók házilag, fenntarthatóan, rendkívül alacsony áron elkészíthetők magán célokra.*

Kulcsszavak: *lágyindító, Arduino NANO, triak, aszinkronmotor, háromfázis*

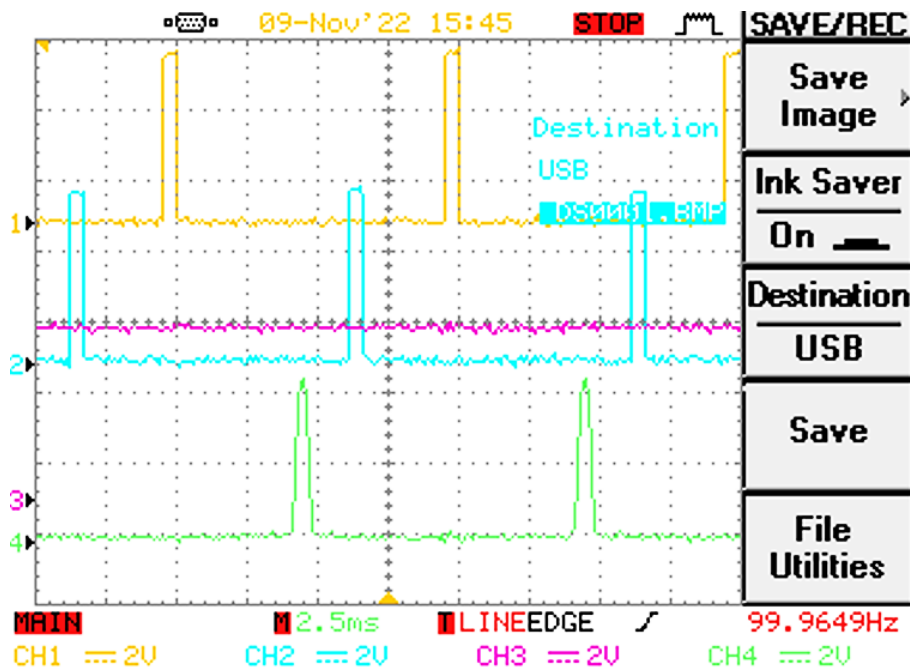
Abstract: *The study presents the design of a three-phase induction motor soft starter. The soft starter is a type of motor starter that uses a voltage reduction technique to reduce the voltage when starting the motor. The soft starter allows a gradual increase in voltage when starting the motor, thus the motor accelerates slowly and evenly. Prevents mechanical tearing and jerking due to sudden full voltage supply. The heart of my three-phase asynchronous motor soft starter is an Arduino NANO, which can control three triacs at the same time so that they are able to soft-start a three-phase asynchronous motor. The purpose of this article is to highlight that nowadays motor starters can be made at home sustainably, at extremely low prices for private purposes.*

Keywords: *soft starter, Arduino NANO, triacs, induction motor, three phase*

1. BEVEZETÉS

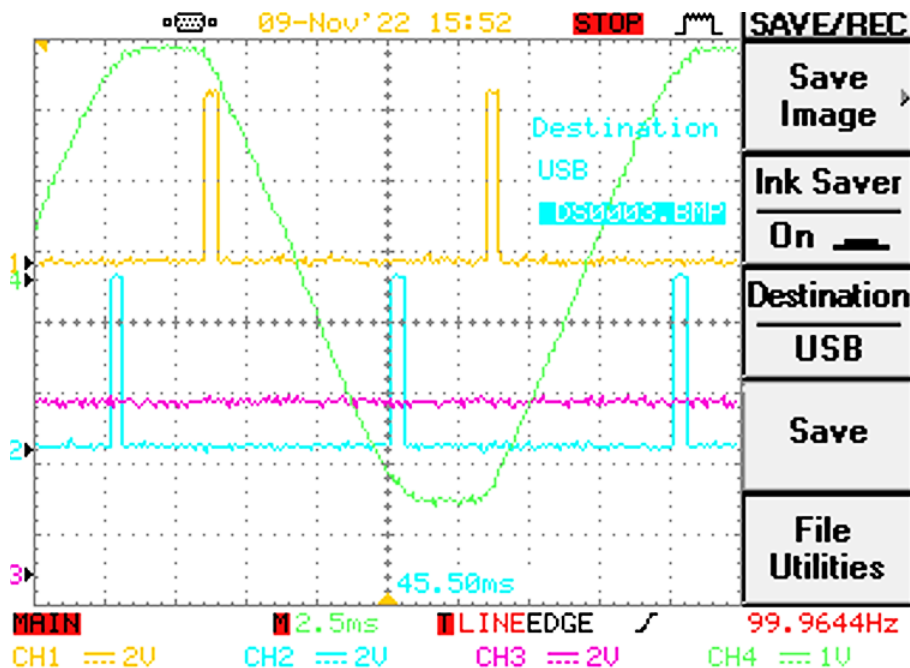
A lágyindító egy olyan típusú motorindító, amely feszültségcsökkentési technikát alkalmaz a feszültség csökkentésére a motor indításakor [1]. A lágyindító fokozatos feszültségnövekedést tesz lehetővé a motor indításakor. Ez lehetővé teszi, hogy a motor lassan és egyenletesen felgyorsuljon. Megakadályozza a mechanikus szakadást és rángatózást a hirtelen teljes feszültségellátás miatt. Az aszinkronmotor nyomatéka egyenesen arányos az áram négyzetével és az áramerősség a tápfeszültségtől függ. Tehát a tápfeszültség segítségével szabályozható az indítónyomaték. Egy normál motorindítóban a teljes feszültség alkalmazása a motorra maximális indítónyomatékot generál, ami mechanikai veszélyt jelent a motorra nézve. Tehát a lágyindító egy olyan eszköz, amely csökkenti az indítónyomatékot és biztonságosan/fokozatosan növeli azt, amíg el nem éri a névleges fordulatszámot. Amint a motor eléri névleges fordulatszámát, a lágyindító folytatja a teljes feszültségellátást.

3. OSZCILLOSKÓPOS MÉRÉSEK

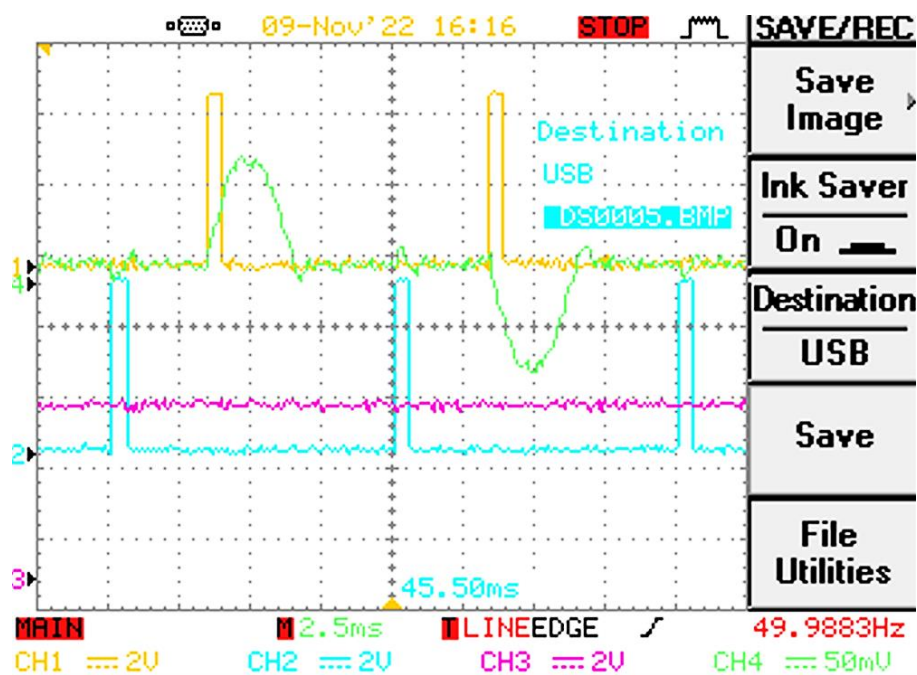


2. ábra: L1, L2 fázis triakjainak gyújtó impulzusai a lágyindítás kezdetén

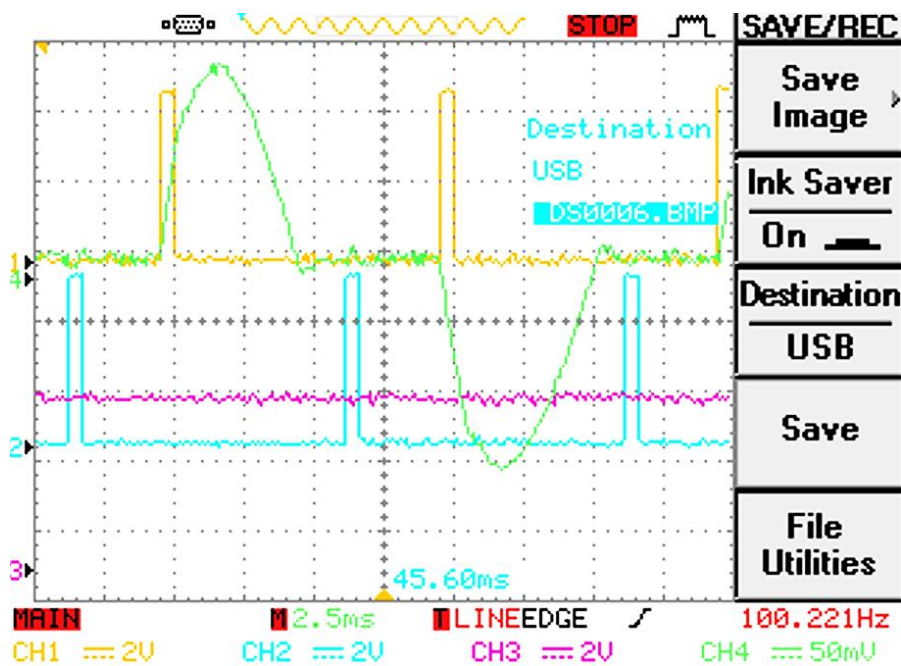
CH1 csatornán az L1 fázis, a CH2 csatornán az L2 fázis triakjainak gyújtó impulzusai láthatók a lágyindítás kezdetén. A CH3 csatornán az L3 fázis triakja folyamatosan HIGH értéken bekapcsolt állapotban van, míg a CH4 csatornán az optocsatolóval érzékelt nullátmenetek impulzusai láthatóak.



3. ábra: Feszültségmérés az N és L1 fázis load kapcsai között a lágyindítás kezdetén a CH4 csatornán zöld színnel látható



414. ábra: L1 fázis árama a motor U1 kivezetésén annak elinduláskor



5. ábra: Folyamatosan növekvő áram az aszinkronmotor U1 kapcsán

5. KÖVEZTKEZTETÉSEK

A megépített háromfázisú aszinkronmotor lágyindítómnak sajnos vannak fizikai korlátai és bizonytalanságai. Éppen ezért iparban nem állná meg a helyét, azonban saját célokra egy költséghatékony, és frappáns megoldás, mellyel iparban használt társai sem tudják felvenni a versenyt. Úgy gondolom a továbbiakban szoftver és hardver tekintetében egyaránt ez projekt tovább fejleszhető, tervben van a fázisok sorrendjének pontos detektálásának megoldása a lágyindítás megkezdése előtt, egy erősebb mikrovezérlő beszerzése, valamint a program további finomítása.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] „Electrical Technology,” [Online]. Available: <https://www.electricaltechnology.org/2020/08/soft-starter.html>. [Hozzáférés dátuma: 24 03 2022].
- [2] V. Károly: *Váltakozóáramú villamos hajtások hálózatcsatlakozási tulajdonságainak optimalizálása*, Budapest: MTA Doktori Értekezés, 2009.
- [3] P. Teodosescus, S. István, K. Gábor, C. D. Bence és J. Z. János: *Korszerű Teljesítményelektronika*, [Online]. Available: <https://docplayer.hu/20089827-Korszeru-teljesitmenyelektronika-tananyag.html>. [Hozzáférés dátuma: 26 03 2022].
- [4] D. N. István: *Elektromechanika Előadási jegyzet 4. fejezet*; in Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék, 2014. május.
- [5] „D. I. C. Erzsébet: *Teljesítményelektronika*, Budapest: Budapesti Műszaki Főiskola Kandó Kálmán Villamosmérnöki Főiskolai Kar Automatika Intézet, 2002., pp. 6-45.
- [6] B. Lutkevich: *TechTarget* [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/microcontroller>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2022].
- [7] *A mikrovezérlők típusai és alkalmazásai* [Online]. Available: <https://hu.jf-parede.pt/microcontrollers-types-their-applications>. [Hozzáférés dátuma: 03 04 2022].
- [8] Learnchannel-TV.com - Starting Method – Softstarter; [Online]. Available: <https://learnchannel-tv.com/drives/3-phase-inductance-motor/starting-methods/softstarter/>. [Hozzáférés dátuma: 04 11 2022].
- [9] D. K. Ernő: *Teljesítményelektronika és szervohajtások*, 2020, p. 8.
- [10] d. H. László: *Elektrotechnika jegyzet*, SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM AUTOMATIZÁLÁSI TANSZÉK, pp. 60-72.

NAPELEMES RENDSZEREK MEGTÉRÜLÉSI IDEJÉNEK VIZSGÁLATA

A STUDY OF THE PAYBACK PERIOD OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

SOMOGYINÉ MOLNÁR Judit¹, SZALÁNCZI Dávid²

¹PhD, egyetemi docens, judit.somogyine@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

²egyetemi hallgató, szdszd007@gmail.com
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék;
H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros, Tel/Fax: +36 46 565-142

Kivonat: A cikkben egy 250 kWh havi energiafogyasztással rendelkező család 3,125 kW beépített teljesítményű napelemes rendszerének megtérülési idejét vizsgáljuk különböző esetekre, 80%-os hatásfokot feltételezve. Figyelembe vesszük a finanszírozást és a változó inflációs környezetet, valamint a 413/2022. (X. 26.) kormányrendelet hatását is. Az elemzést lebontjuk olyan esetekre, amikor a felhasználó a napelemes rendszert teljes mértékben önerőből vagy 100%-ban állami támogatásból finanszírozza. Az infláció tekintetében két értékkel számolunk 10% és 3%. A vizsgálatokat elvégezzük 30 vagy 10 éves élettartamot feltételezve szigetüzemű, valamint közüzemi hálózatra visszatápláló (de nagyobb teljesítményű) napelemes rendszerre is, amely szemlélteti a felfüggesztett betáplálási lehetőség hatását a megtérülési időre.

Kulcsszavak: napelemes rendszer, megtérülési idő, finanszírozás, infláció, állami támogatás

Abstract: In this study, the payback period of a 3.125 kWp photovoltaic system for a family with a monthly energy consumption of 250 kWh is examined for different cases, assuming an efficiency of 80%. Financing and the changing inflationary environment, as well as the effect of the government decree 413/2022. (X. 26.) are also considered. The analysis is divided into the following cases, the consumer finances the photovoltaic system entirely on its own or with 100% state support. The inflation is calculated with two values: 10% and 3%. The analyses are also carried out assuming a lifetime of 30 or 10 years for off-grid and grid-connected (but with a higher power) photovoltaic systems as well, which illustrates the effect of the suspended feed-in option on the payback period.

Keywords: photovoltaic system, payback period, financing, inflation, state support

1. BEVEZETÉS

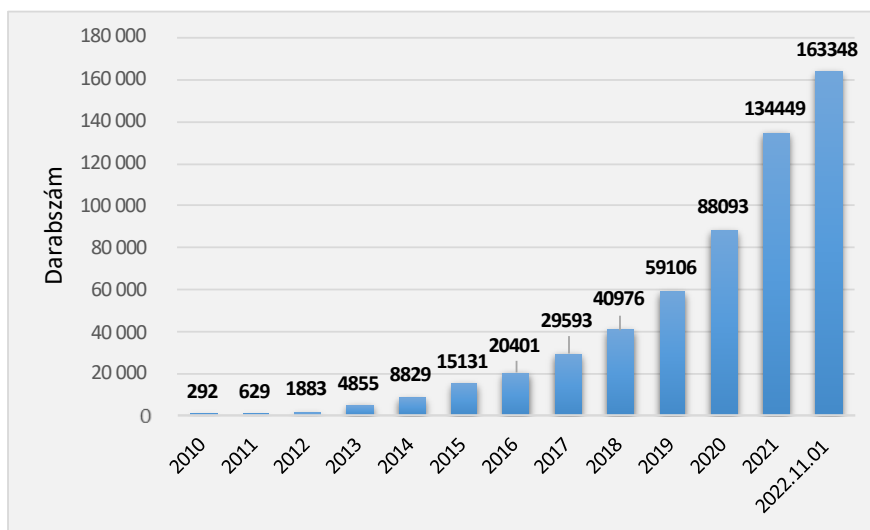
A 413/2022. (X. 26.) rendelet értelmében csak a 2022. október 31. napját megelőzően tett igénybejelentések alapján megvalósított háztartási méretű kiserőművek (HMKE) táplálhatnak be a közcélú hálózatra. A korlátozás oka, hogy az elavult magyar villamoshálózat a jelenleginél több, a napelemek által megtermelt energiát már nem tud befogadni, ezért a kormány a betáplálást felfüggesztette. Ez mindaddig érvényben marad, amíg egy nagy volumenű és nagyon költséges hálózatfelújításra nem kerül sor. A visszatáplálás ideiglenes megtiltásának egyik hátránya, hogy ezzel még inkább kiszolgáltatjuk a hazai villamosenergia-felhasználást az importnak. Ukrajna hazánk egyik fő villamosenergia importőre, de a háború miatt bizonytalanná vált a szállítás. A másik nagy szállító pedig Szlovákia, ahol jelenleg az energia-veszélyhelyzet miatt bármelyik pillanatban leállíthatják az exportot.

Az eddigi gyakorlat úgy működött, hogy a közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszerből származó energia betáplálásra került a hálózatba és a tulajdonosok onnan vételezték vissza az áramot. Aki ezután napelemet telepít, az csak a saját háztartásában tudja felhasználni a megtermelt energiát, így két lehetősége maradt. Vagy az energiafelhasználás időpontját az energia megtermeléséhez időzíti, vagy a megtermelt villamos energiát letárolja

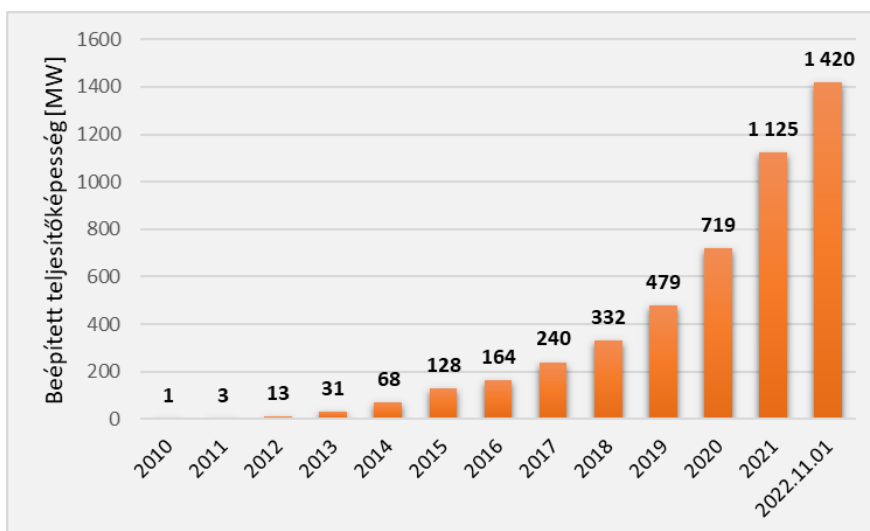
akkumulátorokban, ami nyilván drágább beruházást jelent majd. A módosításnak előnye is van, a telepítéshez nem szükséges a szolgáltató engedélye, ami kevesebb bürokráciát és gyorsabb telepítést eredményez. A hálózatfejlesztést követően a kormány újra lehetővé teszi a betáplálást, azonban határidő nincs kijelölve. Az új szabályok vonatkoznak a háztartásokra és azokra a vállalkozásokra is, amelyek saját célra állítanak elő villamosenergiát. Mindezek sajnos a napelemes rendszerek megtérülési idejét lassítják, ez a másik nagy hátránya az új szabályozásnak.

2. NAPELEMES RENDSZEREK

Magyarországon a MAVIR [1] adatai alapján 2010 óta az 50 kW, valamint az alatti háztartási méretű naperőművek száma és így a beépített teljesítőképességük is dinamikusan növekedett, melyet a 1. és 2. ábrákon láthatunk. Megfigyelhető, hogy a 2022. július 13-án bejelentett rezsicsökkentés módosítása nagy mértékben fokozta idén a telepített erőművek számát és ezzel együtt nagyot nöött a beépített teljesítőképességük is.



1. ábra: 50 kW és az alatti háztartási méretű háztartási méretű naperőművek száma.

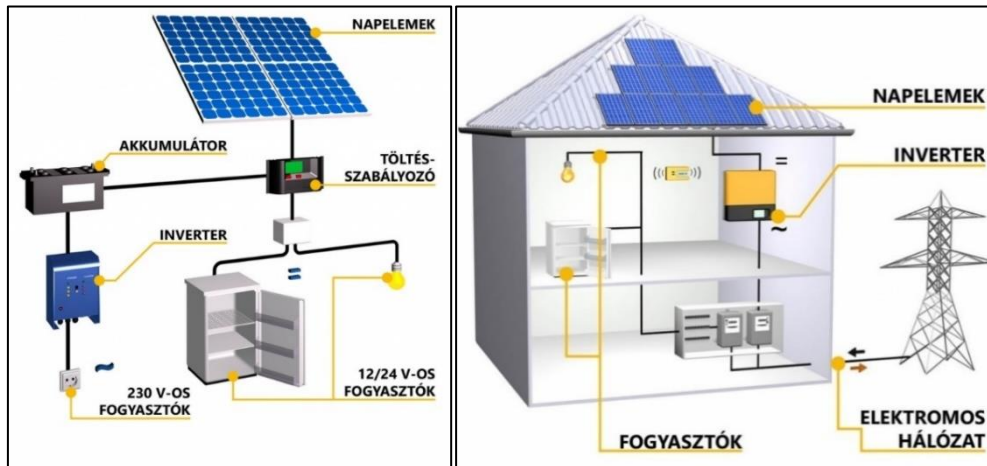


2. ábra: Háztartási méretű naperőművek beépített teljesítőképessége.

A hálózat folyamatos fejlesztése, a több évtized alatt kiépült jelenlegi hálózat átalakítása és

kapacitásának bővítése elengedhetetlen ahhoz, hogy ezt a nagyszámú erőművet rendszerszinten kezelni lehessen, hiszen a hálózatnak visszafelé is képesnek kell lennie a megtermelt energia szállítására azokhoz az ügyfelekhez, akik a termelés pillanatában szeretnék villamos energiát használni.

Közismert, hogy a napelemes rendszereket méret, elhelyezés és működés szerint lehet csoportosítani. Utóbbi alapján három típust különböztethetünk meg: szigetüzemű, közüzemi hálózatra visszatápláló és hibrid üzemű rendszer.



3. ábra: Szigetüzemű és közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszerek [2].

A legegyszerűbb, legolcsóbb és emiatt a lakossági körben a legelterjedtebb megoldás a 3. ábrán látható közüzemi hálózatra visszatápláló rendszer (volt). A fogyasztók számára azért előnyös ez a rendszer, mert jellemzően nem akkor használták fel a megtermelt villamos energiát, amikor az éppen termelődött, hanem a nap más időszakában. Amennyiben az energiaigény magasabb a saját termelésnél, a rendszer egy „advesz” mérőórán keresztül a hálózatról vételez többletenergiát. Ha pedig nincs szükségünk a megtermelt energiára, a többletet ugyancsak a hálózatra táplálja vissza. A napelemes háztartások így tulajdonképpen ingyenes energiátárolóként használják a villamos hálózatot, ami alaposan igénybe veszi a hálózati infrastruktúrát. A napelemes kiserőmű-tulajdonosok évente számolnak el a szolgáltatóval, ún. szaldó elszámolás alapján. A szolgáltató mérleget von az egy év alatt visszatáplált és a hálózatról vételezett energia mennyisége alapján. Az éves elszámolás azért is fontos, mert a napelemes rendszer az év során nem egyenletesen termel, hiszen télen kevesebb a napsütés óráinak száma, de a nyári, el nem fogyasztott, betermelt energiamennyiség kompenzálta a téli kiesést. Érdekesség, hogy az új szabályozástól függetlenül 2024. január 1-től ez a fajta elszámolás meg fog szűnni és az új napelemes rendszerek esetén bruttó elszámolás várható (ha addig feloldják a korlátozást). A bevezetendő, új bruttó elszámolás részletei még nem ismertek. Nagy hátránya az ilyen rendszereknek, hogy az áramszolgáltatónál engedélyeztetni kellett.

A szigetüzemű napelemes rendszereket (3. ábra) eddig főleg olyan helyeken alkalmazták, ahol nincs kiépített villamosenergia hálózat és drága lenne a csatlakozás kiépítése, pl. tanyáknál, nyaralóknál, vagy hajók, lakóautók esetén háztartási gépek, szerszámgépek, szórakoztató elektronika energiaellátására. Napsütés hiányában viszont előfordulhat, hogy kiegészítő áramforrás szükséges a fogyasztók ellátásához. Tehát ha a napelemes rendszer kevesebb áramot termel, mint a pillanatnyi fogyasztás, akkor a hálózatról kell vételeznünk, de ha többet termel, mint amennyit felhasznál az adott háztartás, akkor vagy akkumulátortelepbe eltároljuk a többletenergiát, vagy a panelek leszállítása miatt ez az energia elvész. Másik nagy hátránya, hogy nemcsak az invertert kell kb. 10 év után cserélni, hanem az akkumulátortelepet is, így a rendszer fenntartási költsége is sokkal magasabb lesz. A

hálózatfüggetlen napelemes rendszerek telepítésének költsége a hálózatra visszatápláló rendszerekhez képest 50-75%-kal magasabb, melynek oka szintén az akkumulátorok szükségessége, illetve a napelemek mennyiségének eltérő méretezése. Mivel a rendszer nem csatlakozik a hálózatra, nem szükséges engedélyeztetni sem.

A hibrid üzemű rendszer tulajdonképpen a hálózatra tápláló és a szigetüzemű napelemes rendszerek ötvözte, így mindkét üzemmód ellátására alkalmas, azaz képes az áramot visszatáplálni- és akkumulátortelepben is tárolni. Ez a megoldás olcsóbb, mint külön üzemeltetni egy hagyományos és egy szigetüzemű rendszert. Természetesen a hálózat használata miatt áramszolgáltatói engedélyre itt is szükség van. A hibrid üzemű rendszer fő előnye, hogy segít maximalizálni az önfogyasztást. Amikor a napelemes rendszer nem termel, a felhasználó eldöntheti, hogy az akkumulátorokban tárolt energiát veszi igénybe, vagy a hálózatról vételez. Az akkumulátorok töltése egyaránt megoldható a villamos hálózatról vagy az éppen üzemelő napelemes rendszerről [3, 4, 5, 6].

3. A NAPELEMES RENDSZER MEGTÉRÜLÉSÉNEK SZÁMÍTÁSI MÓDJAI

Egy napelemes rendszer megtérülése sok tényezőtől függ, többek között:

- a napelemes rendszer telepítési költségétől (az anyagárat, a kivitelést és a munkadíjat figyelembe véve 1 kW beépített teljesítmény, azaz 1 kWp esetében kb. bruttó 450.000-750.000 Ft közötti összeg),
- a rendszer méretétől és a vele megtermelhető villamos energia mennyiségétől,
- a villamos energián megtakarított összegtől,
- közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszer esetén a visszatáplált villamos energiából származó bevételtől (fontos megjegyezni, hogy szaldó elszámoláskor a szolgáltató csak a villamos energia nettó árát fizeti, a rendszerhasználati díjat nem, így a tulajdonosok 2022. augusztustól 5,11 Ft/kWh bevétellel számolhatnak).

A napelemes rendszerek megtérülési idejének meghatározására megkülönböztetünk egyszerű és összetett számítási módszereket [7]. Az egyszerűsített megtérülési idő (Payback Period, PBP) elsősorban a rendszer kiépítésnek költségét, illetve a várható energiamegtakarítást veszi figyelembe. Nevéből adódóan azt mutatja meg, hogy az adott beruházásba befektetett összeg mikor térül meg a jövőben. Tehát az egyszerűsített megtérülési időt úgy tudjuk kiszámolni, ha az egységnyi teljesítményű napelemes rendszerre vonatkoztatott beruházási költséget (K_b^e) elosztjuk a rendszer által egy év alatt megtermelt villamos energia árával (amely az E_m megtakarított éves villamos energiamennyiség és az \dot{A}_{VE} vételezett villamos energia egységárának szorzata). Vagyis:

$$PBP [\text{év}] = \frac{K_b^e [Ft/kWp]}{E_m [kWh/\text{év}] \times \dot{A}_{VE} [Ft/kWh]} \quad (1.)$$

Egy ideális déli tájolású és 35°-os dőlésszöggel rendelkező 1 kW-os beépített teljesítményű napelemes rendszer átlagosan évente 1.200 kWh villamos energiát termel (magas napsütéses óraszámú kalkulálva). Így E_m értékét 1.200-nak vesszük [8]. A 259/2022. (VII. 21.) Kormányrendelet értelmében 2022. augusztus 1-jétől a lakossági fogyasztó az egyetemes szolgáltatótól 2.523 kWh/év/mérési pont (felhasználási hely) fogyasztásig a villamos energia egyetemes szolgáltatás árképzéséről szóló miniszteri rendeletben meghatározott áron jogosult villamos energiát vételezni. Így a kedvezményes villamos energia díja a MVM ELMŰ Hálózati Kft. területén hatályos egységáraknak megfelelően A1 árszabás esetén bruttó 36,208 Ft/kWh [9]. A lakossági piaci ár a 7/2022. (VII. 21.) MEKH rendelet értelmében A1 árszabás esetén 70,104 Ft/kWh. Tehát az egyszerűsített megtérülési idő számításánál ezzel a két egységárral, vagy súlyozott átlagukkal kalkulálhatunk.

Az (1). képlet nem veszi figyelembe sok, a megtérülési időt módosító tényezőt, például [3, 4, 5, 10]:

- a rendszerelemek minősége, napelem-rendszer technológia,
- a napelemes rendszer hatásfoka (a napelemek szennyeződése, árnyékolása),
- éves teljesítményromlás, mivel idővel a napelemek bizonyos fokú teljesítménycsökkenése következik be,
- az épület fekvése,
- a tető mérete, dőlésszöge,
- az adott földrajzi lokációban a napsütéses órák száma,
- a fenntartási és biztosítási költségek,
- az inverter/akkumulátortelep kb. 10 évenkénti cseréje,
- az infláció mértéke,
- a villamos energia árának növekedése,
- finanszírozási kérdések (igénybe vehető állami támogatások, vagy hitelfelvétel).

A fenti paraméterek nagy részét beépítve a vizsgálatba, az összetett megtérülési időt kapjuk. Nyilván az összes paramétert nem lehet számításba venni, a későbbiekben néhányat elhanyagolunk belőlük. Az összetett megtérülési idő számítása, ahogy a neve is mutatja egy komplexebb, pontosabb számítást tesz lehetővé, mint az egyszerűsített kalkuláció. A számítás évekre lebontva több lépcsőben történik. Először az adott évben, a napelemes rendszer teljesítményromlásával korrigált megtermelt villamos energiamennyiség számítását végezzük el:

$$E_t^n = E_t^{n-1} \cdot \left(1 - \frac{P_r}{100}\right), \quad (2.)$$

ahol

- E_t^n az n-edik évben megtermelt villamos energiamennyiség [kWh],
- P_r a napelemes rendszer éves teljesítményromlása [%],
- n az évek száma (mivel az első évben megtermelt villamos energiánál nem kell figyelembe venni a teljesítményromlást, ezért $n = 2, 3 \dots N$).

Az első évben termelt villamosenergia-mennyiség (E_t^1) a napelemes rendszer E_t^{max} maximális évenkénti termelt energiamennyiségének és a hatásfokának (η) a szorzata:

$$E_t^1 = \eta \cdot E_t^{max}. \quad (3.)$$

A fenti mennyiség közüzemi hálózatra visszatápláló rendszer esetében két részre osztható: felhasznált (E_f^1) és a hálózatba betáplált villamosenergia-mennyiségre (E_{bt}^1). Tehát az első évben teljesítményromlás nélkül termelt villamos energia: $E_t^1 = E_f^1 + E_{bt}^1$.

Második lépésben az n-edik évben a villamos energián megtakarított összeg számítása következik:

$$C_m^n = E_f \cdot \dot{A}_{VE} \cdot \left(1 + \frac{t_v}{100}\right)^{n-1}, \quad (4.)$$

ahol

- C_m^n az n-edik évben a villamos energián megtakarított összeg [Ft],
- E_f a felhasznált villamos energia mennyisége [kWh],
- t_v a villamos energia árának évenként változása [%]
- n az évek száma ($n = 1, 2 \dots N$).

Így az E_v^n n-edik évben visszatáplált villamos energiamennyiség:

$$E_v^n = E_t^n - E_f^n, \quad (5.)$$

ahol

- E_f^n az n-edik évben felhasznált villamos energiamennyiség [kWh].

Ezután számítható az n-edik évben a szolgáltatónak értékesített villamosenergiamennyiségből származó bevétel:

$$C_e^n = E_v^n \cdot \dot{A}_{\text{ÉE}} \cdot \left(1 + \frac{t_v}{100}\right)^{n-1}, \quad (6.)$$

ahol

- C_e^n az n-edik évben értékesített villamos energiából származó bevétel [Ft] (szigetüzemű napelemes rendszer esetében ez természetesen nulla forint lesz),
- $\dot{A}_{\text{ÉE}}$ az értékesített villamos energiamennyiség egységára [Ft/kWh]
- n az évek száma ($n = 1, 2 \dots N$).

Nyilvánvaló, hogy a napelemes rendszernek lesz éves fenntartási költsége is, hiszen a paneleket évente tisztítani szükséges, illetve lakásbiztosítás kötésekor a biztosító külön tételként veszi figyelembe a rendszert, amely megnöveli a biztosítási díjat. A fenntartási és biztosítási költségek az inflációval évenként változni fognak, tehát:

$$K_{f+bi}^n = (K_f + K_{bi}) \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{n-1}, \quad (7.)$$

ahol

- K_{f+bi}^n fenntartási és biztosítási költségek az n-edik évben [Ft],
- K_f fenntartási költség az első évben [Ft],
- K_{bi} biztosítási költség az első évben [Ft],
- i az infláció [%]
- n az évek száma ($n = 1, 2 \dots N$).

Az n-edik évben tehát általánosan az alábbi formula adja a napelemes rendszer üzemeltetéséből származó nyereséget:

$$C_0^n = C_m^n + C_e^n - K_{f+bi}^n - T_h^n - C_{VE}^n, \quad (8.)$$

ahol

- C_0^n az n-edik évi nyereség [Ft],
- C_{VE}^n a szigetüzemű napelemes rendszer esetében az n-edik évben vételezett villamos energia költsége, ha a termelt mennyiség nem fedezi a fogyasztást [Ft] (közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszerrel ezzel a tétellel szerencsés esetben nem kell számolnunk, mert több energiát termel a rendszer, mint amennyit a felhasználó fogyaszt),
- T_h^n az esetlegesen felvett hitel n-edik évi törlesztőrészelete [Ft].

Mivel az infláció miatt a fenti nyereség reálértéke évről-évre csökken, a $C_{\bar{o}+i}^n$ nyereség inflációval csökkentett értékét a következőképpen kapjuk meg:

$$C_{\bar{o}+i}^n = \frac{C_{\bar{o}}^n}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^n}. \quad (9.)$$

A fenti számítás eredményét évenként összeadva, azaz kumulálva, megkapjuk, hogy hányadik évtől nyereséges (ekkor a kumulált érték pozitív), vagy veszteséges (ekkor az összesített érték negatív) a napelemes rendszerünk. A későbbiekben azt is érdemes lesz megvizsgálni, hogy a napelemes rendszer jövedelmezőbb-e, mintha a beruházás költségét bankbetétben helyeznénk el. Erre szolgál a jövőérték (Future Value, FV) számítása, mellyel megtudhatjuk, hogy egy ma befektetett összeg, mekkora lesz egy adott időpont végére, egy bizonyos kamatláb mellett. A jövőérték számításnak két fajtája van [11, 12, 13]:

- Egyszerű kamatozás: a teljes kamatozási időtartam alatt csak a kezdő tőke után számítják a kamatot. Az egyes kamatperiódusok végén a kamatot kifizetik, tehát a kamatok nem kerülnek tőkésítésre. Ez a jelen problémánál nem megfelelő számítási módszer.
- Kamatos kamatozás: a periódusonként kapott kamatot újra tőkésítik, tehát újra befektetésre kerül. A tőke így exponenciálisan nő. Értelemszerűen egy napelemes beruházásnál ez az eset állt fent, így ezzel fogunk számolni. Egy mai pénzösszeg értéke az n -edik év végén:

$$FV = C_0(1 + r)^n, \quad (10.)$$

ahol

- C_0 a mai pénzösszeg, amit befektetünk a napelemes rendszerbe [Ft],
- r a kamatláb [-].

A nettó jelenérték (NPV) számítás lehetőséget ad arra, hogy összehasonlíthassuk az egyes napelemes rendszerekre vonatkozó beruházási lehetőségeket is. Tehát megmutatja, hogy az adott beruházás mekkora pénzáramot termel, mindezt diszkontáljuk (jelenértékre hozzuk) a beruházás napjára. Számítása:

$$NPV = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (11.)$$

ahol

- C_t a jövőbeli, t -edik évi pénzösszeg [Ft],
- r a kamatláb [-],
- t az évek száma.

Ha NPV értéke nagyobb, mint nulla, akkor a beruházás nyereséges lesz és ebben az esetben el lehet fogadni a beruházási javaslatot. Azonban, ha kisebb, mint nulla, akkor a beruházás csak veszteséget termelne, nem szabad megvalósítani. Ha pontosan nulla, akkor a beruházási javaslat elfogadása, vagy elvetése közömbös. Az NPV-vel tehát könnyen el tudjuk majd dönteni, hogy érdemes-e megvenni azt az adott összegű (C_0) napelemes rendszert, amelyik n éven keresztül (C_t) tiszta hasznot hoz. A számításnál korrekcióba lehet azt is venni, hogy az n -edik év végén maradványértéken el lehet adni a napelemes rendszert. Későbbiekben ezt is érdemes lesz vizsgálni, azonban jelen tanulmányban ezt nem fogjuk elemezni [11].

4. MEGTÉRÜLÉSI IDŐ SZIGETÜZEMŰ NAPELEMES RENDSZER ESETÉN

Ahhoz, hogy megtérülési időket tudjunk számolni, először meg határozni, hogy milyen teljesítményű napelemes rendszert vizsgálunk. Vegyünk egy 4 fős mintacsaládot és egy 3,125 kWp teljesítményű rendszert, amely 3.750 kWh villamos energiát (E_t^{max}) tud nekik évente maximálisan megtermelni. Hatásfoknak 80%-ot feltételezünk (megjegyzendő, hogy ha nem tisztítatjuk évente legalább egyszer a paneleket, akkor csupán 65-70%-os hatásfokkal számolhatnánk), így a (3). képlet alapján az első évben termelt villamos energiamennyiség (E_t^1) 3.000 kWh, azaz 250 kWh havi fogyasztást fedez, ami a családnak havonta 10.562 Ft-os villanyszámlát vált ki.

Mivel a család fogyasztása túllépi a 259/2022. (VII. 21.) Kormányrendeletben foglalt „rezsicsökkentett” mennyiséget (átlagosan havi 210 kWh-t), ezért súlyozott átlagot képeztünk a vételezett villamos energia egységárára vonatkozólag (a korábban ismertetett árszabást figyelembe véve) az alábbiak szerint, egyúttal beépítve a bruttó 154 Ft elosztói alapdíjat is:

$$\hat{A}_{VE} = \frac{36,208 \cdot 210 + 70,104 \cdot 40 + 154}{250} = 42,25 \text{ Ft/kWh.} \quad (12.)$$

Ha csak egyszerűsített megtérülési időt számolnánk (függetlenül a korábban említett paraméterektől, a finanszírozástól és az inflációs környezettől), (1). képlet alapján (beruházási költség: 720.000 Ft/kWp)

$$PBP = \frac{720.000}{1.200 \cdot 42,25} = 14,2 \text{ év} \quad (13.)$$

adódik, amely nem is tűnik rossz értéknek, azonban elég félrevezető lehet. Az összetett megtérülési idő számításához többek között a finanszírozás és az infláció kérdését is figyelembe kell venni, valamint az éves fenntartási és biztosítási költségeket, az éves teljesítményromlást, a villamos energia árának évenként változását, illetve az inverter és akkumulátortelep 10 évenkénti cseréjét is be kell kalkulálni. A napelemes rendszert élettartama végén, maradványértéken el lehet adni, így a beruházási költség kb. 10%-a végül a családnál mindenképpen megtérül. Az összetett megtérülési idő számításához szükséges adatokat részletesen az 1. táblázat tartalmazza.

Finanszírozás és infláció tekintetében az összetett megtérülési idő számítását a jelen gazdasági helyzetet és támogatási rendszert figyelembe véve az alábbi alapesetekre célszerű lebontani:

- a beruházáshoz igénybe vett állami támogatás mértéke: 0 vagy 100%,
- a beruházáshoz igénybe vett hitel mértéke: 0 vagy 100% (ekkor a futamidő: 20 év, THM: 14%, így az éves törlesztőrészletre (T_h): 339.719 Ft adódik),
- infláció: 10 vagy 3%.

Jelenleg ugyan 20% körüli az infláció, de jövőre már csak egyszámjegyre, 10% körüliire becsülik, ezért választottuk az egyik értéknek a 10%-ot. Emellett az eddigi sokéves átlagnak megfelelően 3%-kal is megvizsgáljuk az egyes eseteket, mert hosszabb távon az infláció valószínűleg ehhez az értékhez fog közelíteni.

Könnyen belátható, hogy 14%-os THM mellett 20 év alatt közel 6.800.000 Ft-ot fogunk visszafizetni a banknak a felvett 2.250.000 Ft-os hitelösszeg után, amely több, mint a háromszorosa a 30 éves élettartamú napelemes rendszer beruházási költségének. Tehát az összetett megtérülési idő számítását nem érdemes elvégezni abban az esetben, ha a megvalósítást 100%-ban hitelből fedeznénk. Kizárt, hogy ilyen magas fenntartási költség mellett megtérülő lenne a beruházás, így ezt az opciót nem fogjuk vizsgálni.

1. táblázat: a napelemes rendszer paramétereit.

Paraméter megnevezése	Paraméter értéke
Maximális évenkénti villamosenergia-termelés.	$E_t^{max} = 1200 \cdot 3,125 = 3.750 \text{ kWh}$
Hatásfok.	$\eta = 80\%$
Az 1. évben termelt villamos energia mennyisége.	$E_t^1 = 0,8 \cdot 3.750 = 3.000 \text{ kWh}$
Beruházási költség ($K_b^e = 720.000 \text{ Ft/kWp}$).	$K_b = 3,125 \cdot 720.000 = 2.250.000 \text{ Ft}$
Éves teljesítményromlás.	$P_r = 0,5\%$
Vételezett villamos energia súlyozott egységára.	$\hat{A}_{VE} = 42,25 \text{ Ft/kWh}$
Értékesített villamos energiamennyiség egységára.	$\hat{A}_{EE} = 5,11 \text{ Ft/kWh}$
A villamos energia árának évenként változása.	$t_v = 3\%$
Maradványérték, a beruházási költség 10%-a.	$C_{mar} = 0,1 \cdot K_b = 0,1 \cdot 2.250.000 = 225.000 \text{ Ft}$
A maradványérték jövőértéke a rendszer élettartamának (n. évnek) a végén.	$C_{mar}^n = C_{mar} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^n$
Kamatláb (FV számításához).	$r = 11,8\%$
Éves becsült takarítási (K_t) és biztosítási költség (K_{bi}).	$K_{t+bi} = 2 \cdot 25.000 = 50.000 \text{ Ft}$
Inverter 10 évenkénti cseréjének összege (a beruházási költség 25%-a).	$C_{inv}^{10 \text{ év}} = 0,25 \cdot 2.250.000 = 562.500 \text{ Ft}$
Inverter 10 évenkénti cseréjének összege évenként.	$C_{inv}^{1 \text{ év}} = \frac{562.500}{10} = 56.250 \text{ Ft}$
Akkumulátortelep 10 évenkénti cseréjének összege.	$C_{akk}^{10 \text{ év}} = 650.000 \text{ Ft}$
Akkumulátortelep 10 évenkénti cseréjének összege évenként.	$C_{akk}^{1 \text{ év}} = \frac{675.000}{10} = 67.500 \text{ Ft}$
Összesített éves fenntartási és biztosítási költség.	$K_{f+bi} = K_{t+bi} + C_{inv}^{1 \text{ év}} + C_{akk}^{1 \text{ év}}$ $= 50.000 + 56.250 + 67.500$ $= 173.750 \text{ Ft}$

Az RRF-6.2.1-2021 pályázattal elnyerhető, vissza nem térítendő támogatás egy napelemes rendszer beruházási költségének a 100%-a. Ebben az esetben viszont a napelemes rendszer összesített névleges beépített teljesítménye nem haladhatja meg az 5 kWp-et (továbbá az inverter kapacitása főszabály szerint nem haladhatja meg az 5 kW-ot, melytől 20%-os mértékben el lehet térni, ha igazolható, hogy a nagyobb kapacitású inverter bekerülési költsége alacsonyabb). A pályázat b.) opciója akkumulátortelep vásárlást is magába foglal a következők szerint: a napelemes rendszerhez kapcsolódó akkumulátoros tárolóegység felszerelése és üzembe helyezése azzal, hogy az akkumulátor tárolókapacitása nem haladhatja meg a 14 kWh-át. Az akkumulátorral szemben támasztott követelmények:

- rendelkeznie kell saját akkumulátor menedzsment rendszerrel (BMS),
- minimum 10 év vagy 6000 töltési-merítési ciklus élettartam,

- moduláris felépítés,
- az inverterrel közösen alkotott rendszer legyen alkalmas külső (az ingatlan tulajdonosától független) szabályozó jel fogadására és végrehajtására.

Az akkumulátoros tárolóra elszámolható összeg 5-9,9 kWh között 1.916.956 Ft, míg 0-13,99 kWh között 2.949.061 Ft. A pályázati kiírásnak megfelel pl. egy Ardax LiFePO₄ Li-Ion akkumulátor, melynek jelenlegi piaci ára kb. 675.000 Ft. Azt feltételezzük, hogy ezt 10 évente kell majd csak cserélnünk, ahogyan az invertert is. A korábbiak szerint az akkumulátor és az inverter jelenlegi áraknak a 10 múlva érvényes jövőértékét kellene számításba vegyük. Azonban 10 év múlva a jelenlegi technikai paraméterekkel rendelkező eszközök elavultnak fognak számítani, így áruk várhatóan jelentősen (az infláció értékével megegyező mértékben) le fog csökkenni és csak az új fejlesztésű eszközök kerülnek majd a mai árnál jóval többre. Számításaink során a piacon jelenleg elérhető eszközök 10 évenkénti újra vásárlását feltételezzük, azaz a két költség jövőértéke helyett a jelenértékükkel kalkulálunk. Ha a napelemes rendszerre 30 éves élettartamot feltételezünk, csak az első 20 évben kell évenként beépítenünk a kétszer megvásárolandó eszközök árát. Tehát az 1-20. év között vesszük csak figyelembe az éves költségüket, hiszen először a 11., majd a 21. évben fogjuk újra megvásárolni őket és a 30. év végén maradványértéken el fogjuk adni a napelemes rendszert (tehát 21-30. év között már nem kell beépíteni az eszközök árát). Meg kell jegyezni, hogy egy másik állami program, az otthonfelújítási támogatás keretében egy napelemes rendszer beruházási költségének a fele igényelhető vissza, de fontos, hogy a számlán 50-50%-os arányban kell szerepelnie az anyagköltségnek és a munkadíjnak. A támogatást jelenleg 2022.12.31-ig lehet igénybe venni, de várhatóan meg fogják hosszabbítani.

A fentieket mind figyelembe véve végül az alábbi esetekben végeztük el az összetett megtérülési idő vizsgálatát egy szigetüzemű napelemes rendszerre:

- megvalósítás 100%-ban önerőből:
 - infláció: 10%,
 - infláció: 3%,
- megvalósítás 100%-ban állami támogatással:
 - infláció: 10%,
 - infláció: 3%.

A nemrég megjelent 13/2022. (XI. 18.) MEKH rendelet értelmében minden, már korábban a hálózatra kötött (vagy 2024-ig még ráköthető) napelemes rendszer az üzembe helyezését követően csupán tíz évig élhet a szaldós elszámolás előnyeivel. Akik 2014 előtt telepítettek napelemes rendszert, és azóta nem bővítették, azok már a 2024-es éves elszámolást követően az új, bruttó elszámolásba kerülnek át, így ők veszítik el a szaldóra való jogosultságot legkorábban. A rendelet alapján tehát 2033. december 31-ig azok élhetnek szaldós elszámolással, akik a jövő évben helyezik üzembe vagy bővítik a napelemes rendszerüket (a bővítés dátumától számítják a 10 évet), és a következő 10 évben nem végeznek újabb bővítést.

Alapesetben számításaink során egy napelemes rendszerre 30 éves várható élettartamot feltételeznénk, de a rendelet miatt érdemes megvizsgálni azt is, hogy ha 10. év végén (eddig élhetünk szaldós elszámolással) eladjuk a közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszert (feltételezve, hogy 2022. október 31. napját megelőzően már megtettük az igénybejelentést), akkor hogyan alakulnak a megtérülési idők. Ezt a 10 éves élettartammal feltételezett vizsgálatot szigetüzemű napelemes rendszer esetében is megteszük, hogy össze lehessen hasonlítani az eredményeket. 10 éves élettartam esetén is megvizsgáltuk, hogy érdemes-e a beruházást teljes mértékben hitelből megvalósítani. A 10 éves élettartammal feltételezett rendszernél a futamidő nyilván csak 10 év lesz, a THM ugyanúgy 14%, így az éves törlesztőrészletre 431.355 Ft adódik. Ekkor a napelemes rendszer beruházási költségének csaknem kétszeresét fizetjük vissza a banknak, így ebben az esetben sem lesz érdemes hitelben gondolkodni, ezért ezt szintén nem vizsgáljuk a későbbiekben.

Mielőtt ismertetnék az eredményeket, érdemes észben tartani, hogy ha a 2.250.000 Ft-os beruházási költséget befektetnék, akkor a (10). képlet alapján, 30, vagy 10 év múlva (a napelemes rendszerre 30, vagy 10 éves várható élettartamot feltételezve) a jelenleg elérhető 11,8%-os piaci kamatláb mellett az alábbi összegekkel rendelkezünk

$$FV^{30 \text{ év}} = 2.250.000 \cdot (1 + 0,118)^{30} = 63.890.550 \text{ Ft}, \quad (14.)$$

$$FV^{10 \text{ év}} = 2.250.000 \cdot (1 + 0,118)^{10} = 6.864.368 \text{ Ft}. \quad (15.)$$

Tehát, hogy ha telepítés helyett inkább befektetnék az összeget, várhatóan jobban járnánk, hiszen valószínűsíthető, hogy a 30. vagy a 10. év végére ekkora összeget nem fogunk tudni megtakarítani a napelemes rendszerünkkel.

A korábban részletezett esetekre a (2).-(9). képletek és az 1. táblázat felhasználásával számított értékek alapján az eredményeket 30 és 10 éves élettartamot feltételezve a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: Összetett megtérülési idők alakulása szigetüzemű napelemes rendszer esetén, 30 és 10 éves élettartammal.

Finanszírozás	30 éves élettartam		10 éves élettartam	
	Infláció		Infláció	
	10%	3%	10%	3%
	maradványérték a 30. év végén: 3.926.116 Ft	maradványérték a 30. év végén: 546.134 Ft	maradványérték a 10. év végén: 583.592 Ft	maradványérték a 10. év végén: 302.381 Ft
megvalósítás 100%-ban önerőből	élettartamon belül nem térül meg a beruházás	élettartamon belül nem térül meg a beruházás	élettartamon belül nem térül meg a beruházás	élettartamon belül nem térül meg a beruházás
	minden évben veszteséges az üzemeltetés	csak a 21. évtől nyereséges az üzemeltetés	minden évben nyereséges az üzemeltetés	minden évben nyereséges az üzemeltetés
	30. év végén a veszteség: 3.182.422 Ft	30. év végén a veszteség: 2.111.223 Ft	10. év végén a veszteség: 1.849.099 Ft	10. év végén a veszteség: 1.532.177 Ft
megvalósítás 100%-ban állami támogatással	1. évben megtérül a beruházás	1. évben megtérül a beruházás	1. évben megtérül a beruházás	1. évben megtérül a beruházás
	minden évben veszteséges az üzemeltetés	csak a 21. évtől nyereséges az üzemeltetés	minden évben nyereséges az üzemeltetés	minden évben nyereséges az üzemeltetés
	30. év végén a veszteség: 932.422 Ft	30. év végén a nyereség: 138.777 Ft	10. év végén a nyereség: 400.901 Ft	10. év végén a nyereség: 717.823 Ft

Láthatjuk, hogy hiába vettünk igénybe 100%-ban állami támogatást a 30 éves élettartamra tervezett napelemes rendszerre, 10 %-os infláció mellett a dinamikus növekvő fenntartási költségek, valamint a 10 évente esedékes új inverter és akkumulátortelep vásárlás miatt minden évben veszteséget termel a rendszer (ez nyilvánvalóan a 100%-ban önerőből történő megvalósításnál még inkább igaz). Önerőből történő finanszírozás esetében, 10%-os infláció mellett a 30. végére 3.182.422 Ft lesz a veszteség, melyhez hozzá kell adnunk a rendszer maradványértékét, amely 3.926.116 Ft, így összességében mégis profitot realizálhatunk (743.694 Ft). Azt azonban elég nehéz biztosan állítani, hogy ilyen maradványértéken biztosan el lehet majd adni a rendszert a 30. év végén. 3%-os infláció mellett 2.111.223 Ft veszteségünk lesz, melyet hiába korrigálunk a maradványértékkel 1.565.089 Ft lesz a végső veszteségünk.

Az állami támogatott rendszerrel a beruházás nyilvánvalóan az első perctől kezdve megtérül, hiszen nem mi fizettünk érte. Láthatjuk, hogy 10%-os inflációval a 30. év végére 932.422 Ft lesz az összesített veszteség, de ehhez hozzá kell adnunk a rendszer maradványértékét, amely 3.926.116 Ft, így összességében mégis profitot realizáltunk (közel 3.000.000 Ft lesz a tiszta haszon, feltéve, ha a 30. év végén ekkora maradványértéken tényleg tudjuk értékesíteni a rendszert). Ugyanezt vizsgálva 3%-os infláció mellett, elmondható, hogy a 30. év végén a nyereség 138.777 Ft, melyhez még hozzáadódik a rendszer maradványértéke 546.134 Ft, így 684.911 Ft lesz a profit. A két eset között jól látszik, hogy az infláció mennyire befolyásolja a nyereség és a maradványérték összegét is. Ráadásul utóbbi 10 és 3%-os infláció mellett a markánsan eltér egymástól.

Látható az is, hogy a 30 éves élettartamra tervezett napelemes rendszer esetében (finanszírozástól függetlenül) 3%-os infláció mellett is csak a 21. évtől nyereséges az üzemeltetés, mert ekkortól már nem kell évente beleszámolnunk az inverter és akkumulátortelep cseréjének összegét a fenntartási költségekbe, így a villamos energián megtakarított összeg (3%-os évenkénti villamos energiaár növekedést feltételezve) nagyobb lesz, mint a rendszer fenntartási költségének és az éves teljesítményromlás miatt a vételezett villamos energia költségének összege.

A 2. táblázatból az is kiderül, hogy inflációs környezettől függetlenül jó döntésnek tűnik, ha a 10. évben eladjuk az állami támogatásból megvalósított szigetüzemű napelemes rendszerünket, ami addig minden évben nyereséget termelt. Ennek oka, hogy a fenntartási költségeket csak a takarítási és biztosítási díjak fogják alkotni, hiszen az első inverter és akkumulátortelep 10 éves élettartama elegendő lesz, nem kell új eszközök árát évenként beépíteni. Tehát teljes mértékben állami támogatásból telepített rendszerrel, inflációtól függetlenül csak nyereségünk lesz a 10. év végére, melyhez még a maradványérték is hozzáadódik, így 10%-os infláció esetén 984.493 Ft, míg 3% esetén ettől kicsivel több, 1.020.204 Ft lesz a profitunk. Sajnos a beruházásunk önerőből történő finanszírozás esetén 10 és 3%-os infláció mellett sem térül meg, még akkor sem, ha a veszteségeket korrigáljuk a napelemes rendszer maradványértékével.

Összességében elmondható, hogy vagy akkor járunk a legjobban, ha igénybe vesszük az állami támogatást és 30 évig üzemeltetjük a rendszert, így 10%-os infláció mellett kb. 3.000.000 Ft profitra számíthatunk, vagy ha inflációtól függetlenül közel 1.000.000 Ft haszonra szert téve a 10. évben eladjuk a szigetüzemű napelemes rendszert. Ha nem vagyunk jogosultak az állami támogatásra, akkor tartósan magas infláció esetén célszerű 30 évig üzemeltetni a napelemes rendszert vállalva a 10 évenkénti eszközcsere, de ez elég bizonytalan, hiszen 30 évre vonatkozó inflációs előrejelzést nehéz adni. Párhuzamba állítva ezeket a profitokat azzal az esettel, ha a 2.250.000 Ft-os beruházási költséget befektetjük (30 év után: 63.890.550 Ft-tal, míg 10 év után: 6.864.368 Ft-tal fogunk rendelkezni), egyértelműen kijelenthető, hogy jelenleg érdemesebb inkább bankbetétbe helyezni a pénzt. Ez a jövőben a villamos energia árának növekedésével és/vagy a kamatláb csökkenésével természetesen könnyen megváltozhat.

5. MEGTÉRÜLÉSI IDŐ KÖZÜZEMI HÁLÓZATRA VISSZATÁPLÁLÓ NAPELEMES RENDSZER ESETÉN

Érdemes megvizsgálni, hogy ha mégis visszaállítják a betáplálás lehetőségét, akkor a szigetüzemű napelemes rendszerre számolt adatok hogyan változnának. A közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszerrel ugyanúgy 250 kWh havi fogyasztással számolunk (éves 3.000 kWh). A korábbi fejezetben láthattuk, hogy csak szinte akkor érdemes jelenleg belefogni a telepítésbe, ha 100%-ban állami támogatást veszünk igénybe. Mivel az RRF-6.2.1-2021 pályázati támogatás legfeljebb 5 kWp-es napelemes rendszerre igényelhető, ezért egy ilyenrel fogunk számolni. Ekkor számíthatunk ugyanis az eladott villamos energiából származó legtöbb bevételre. A rendszer beruházási költsége $K_b = 5 \cdot 720.000 = 3.600.000 \text{ Ft}$ lesz. A maximális évenkénti villamosenergia-termelésre és az 1. évben termelt villamos energia mennyiségére (szintén 80%-os hatásfokot feltételezve) az alábbiakat kapjuk:

$$E_t^{max} = 1200 \cdot 5 = 6.000 \text{ kWh}, \quad (16.)$$

$$E_t^1 = 0,8 \cdot 6.000 = 4.800 \text{ kWh}. \quad (17.)$$

A közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszer esetén a 4.800 kWh termelt villamos energia mennyiségét két részre bontjuk:

- fogyasztott villamos energia mennyisége: évi 3.000 kWh (a korábbi példát követve átlagosan havi 250 kWh),
- betáplált villamos energia mennyisége: évi 1.800 kWh (átlagosan havi 150 kWh).

Az invertert 30 éves élettartamot feltételezve ebben az esetben is szükséges 10 évenként cserélni, így az 1-20. év között (hasonlóan a szigetüzemű rendszerhez), a fenntartási költségbe évente jelenértéken 56.250 Ft-ot építettünk be. Ahogy korábban is említettük, a 13/2022. (XI. 18.) MEKH rendelet miatt fontossá vált egy 10 éves élettartamú rendszer vizsgálata is. Ekkor viszont nem szükséges új invertert vásárolni, hiszen a 10. év után értékesítjük a közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszert, így a fenntartási költségeket csak a takarítási és biztosítási díjak fogják adni.

Finanszírozás és infláció tekintetében a korábbi alapeseteket vettük: a beruházáshoz igénybe vett állami támogatás mértéke 0 vagy 100%, illetve az infláció 10 vagy 3%. Egy 20 vagy 10 éves futamidejű hitel 14%-os THM mellett számításaink szerint évente 543.550 Ft vagy 690.169 Ft törlesztőrészletet jelent, azaz most is majdnem a három, vagy kétszeresét kellene visszafizetnünk a felvett kölcsönnek. Valószínűsíthető, hogy nem lesz rentábilis a beruházás, ezért ezt a finanszírozási opciót most sem vizsgáljuk.

A fentieket mind figyelembe véve közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszer esetén az alábbi bontásban végeztük el az összetett megtérülési idők vizsgálatát:

- megvalósítás 100%-ban önerőből:
 - infláció: 10%,
 - infláció: 3%,
- megvalósítás 100%-ban állami támogatással:
 - infláció: 10%,
 - infláció: 3%.

Itt is érdemes megnézni, hogy ha a 3.600.000 Ft-os beruházási költséget befektetnék, akkor a (10). képlet alapján, 30 vagy 10 év múlva a jelenleg elérhető 11,8%-os piaci kamatláb mellett mekkora összegekkel rendelkeznenek. A jövőértékekre az alábbiakat kapjuk:

$$FV^{30 \text{ év}} = 3.600.000 \cdot (1 + 0,118)^{30} = 102.224.880 \text{ Ft}, \quad (18.)$$

$$FV^{10 \text{ év}} = 3.600.000 \cdot (1 + 0,118)^{10} = 10.982.989 \text{ Ft}. \quad (19.)$$

Tehát a korábbiakhoz hasonlóan valószínűleg befektetési céllal nem lesz érdemes most sem napelemes rendszert vásárolni.

A (2).-(9). képleteket és az új közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszer adatait felhasználva, az eredményeket a fenti esetekre 30, illetve 10 éves élettartamot feltételezve a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat: Összetett megtérülési idők alakulása közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszer esetén, 30 és 10 éves élettartammal.

Finanszírozás	30 éves élettartam		10 éves élettartam	
	Infláció		Infláció	
	10%	3%	10%	3%
	maradványérték a 30. év végén: 6.281.785 Ft	maradványérték a 30. év végén: 873.814 Ft	maradványérték a 10. év végén: 933.747 Ft	maradványérték a 10. év végén: 483.810 Ft
megvalósítás 100%-ban önerőből	élettartamon belül nem megtérül meg a beruházás	élettartamon belül nem megtérül meg a beruházás	élettartamon belül nem megtérül meg a beruházás	élettartamon belül nem megtérül meg a beruházás
	11. évtől már veszteséges az üzemeltetés	minden évben nyereséges az üzemeltetés	minden évben nyereséges az üzemeltetés	minden évben nyereséges az üzemeltetés
	30. év végén a veszteség: 3.784.898 Ft	30. év végén a veszteség: 1.982.975 Ft	10. év végén a veszteség: 3.122.017 Ft	10. év végén a veszteség: 2.770.841 Ft
megvalósítás 100%-ban állami támogatással	1. évben megtérül a beruházás	1. évben megtérül a beruházás	1. évben megtérül a beruházás	1. évben megtérül a beruházás
	11. évtől már veszteséges az üzemeltetés	minden évben nyereséges az üzemeltetés	minden évben nyereséges az üzemeltetés	minden évben nyereséges az üzemeltetés
	30. év végén a veszteség: 184.898 Ft	30. év végén a nyereség: 1.617.025 Ft	10. év végén a nyereség: 477.983 Ft	10. év végén a nyereség: 829.159 Ft

Látható, hogy a maradványértéket figyelmen kívül hagyva, élettartamtól függetlenül ilyen rendszer esetén is csak akkor térül meg a beruházásunk, ha 100%-ban állami támogatásból valósítjuk meg. Viszont, ha a 30 éves élettartam végén önerőből történt finanszírozás esetén megvizsgáljuk a veszteségeket és korrigáljuk őket a maradványértékekkel, akkor 10%-os infláció esetén végül megtérülne a beruházás (közel 2.500.000 Ft-os profit), feltéve, ha tényleg

tudjuk értékesíteni ezen az áron a rendszert. 3%-os infláció esetén viszont még így sem térül meg. Nyilvánvaló, hogy mivel az infláció alacsonyabb, így a rendszer maradványértéke is kisebb lesz a 30. év végére. Ha összevetjük a két különböző infláció esetében a maradványértékeket, a 3%-os inflációnál számolt kb. 1/7-e a 10%-os kalkulációhoz képest. Alacsony infláció mellett a fenntartási költség ugyan szintén alacsonyabb, míg a nyereség évenkénti reálértéke magasabb lesz, de nem kompenzálja a rendszer beruházási költségének 10%-át kitevő maradványérték 30 év múlva érvényes alacsonyabb összegét.

Megfigyelhetjük, hogy 30 éves élettartamnál, önerőből történő megvalósítás és 3%-os infláció esetén minden évben nyereséges az üzemeltetés, de a befektetett tőke mégsem térül meg 30 év alatt. 10 éves élettartamnál pedig inflációtól függetlenül ugyanezt kapjuk. Látható az is, hogy a 30 éves élettartamra tervezett napelemes rendszer esetében (finanszírozástól függetlenül) 10%-os infláció mellett a 11. évtől már veszteséges az üzemeltetés. Ennek oka, hogy a napelemes rendszer teljesítményromlása miatt évről évre kevesebb villamos energiát értékesítünk (tehát kevesebb a bevételünk), de a szükséges inverter csere és a magas infláció miatt évről-évre növekednek a fenntartási költségek, melyet a villamos energián évente megtakarított növekvő összeg sem képes kompenzálni (nyilván, ha nem 3%-ot feltételezünk a villamos energia árának évenkénti változására ez könnyen megfordulhat).

A 100%-ban állami támogatással megvalósított rendszer 10 %-os infláció mellett a 30. év végére kis veszteséget termel, de mivel nem a tulajdonos fizette a beruházási költséget, mégis megéri belevágni, hiszen maradványértékkel együtt több, mint 6.000.000 Ft lenne a profit. Nyilvánvaló, hogy ha 10 helyett 3%-os csupán az infláció a 30. év végére már profitot is termel nekünk a rendszer, nem is keveset, maradványérték nélkül kb. 1.600.000 Ft-ot, hozzáadva azt pedig 2.500.000 Ft-ot. 10 éves élettartam esetén 10 és 3%-os inflációval a maradványértékekkel közel 1.400.000, illetve 1.300.000 Ft haszonra tehetünk szert (hiszen 10 év alatt a fenntartási költségeket csak a takarítási és biztosítási díjak fogják alkotni, az első inverter élettartama elegendő lesz, nem kell egy új árát évenként beépíteni). Így nem érdemes 30 évig üzemeltetni a rendszert, mert a 10. évhez képest csak 1.100.000-1.200.000 Ft többletprofitot termelne a fennmaradó 20 év alatt.

Összességében elmondható, hogy inflációs környezettől függetlenül jó döntésnek tűnik, ha a 10. évben eladjuk az állami támogatásból megvalósított közcélú hálózatra tápláló napelemes rendszerünket, hiszen 10 évig nyereséges és a 10. év végére 1.400.000, illetve 1.300.000 Ft profitot realizálunk. Vagy akkor járunk még jól, ha igénybe vesszük az állami támogatást és 30 évig üzemeltetjük a rendszert, így 10%-os infláció mellett kb. 6.000.000 Ft profitra számíthatunk. Amennyiben nem vagyunk jogosultak az állami támogatásra, akkor tartósan magas infláció mellett megérheti önerőből is megvalósítani a rendszert, vállalva az inverter 10 évenkénti cseréjét is, de ez nagyban függ az inflációtól és így a maradványérték összegétől.

Korábban láttuk, hogy ha a 3.600.000 Ft-os beruházási költséget inkább befektetnénk, 30 év után 102.224.880 Ft, míg 10 év után 10.982.989 Ft lenne a befektetett összegünkből. Ezeket összevetve a korábban ismertetett profitokkal, egyértelműen kijelenthető, hogy ebben az esetben is érdemes inkább befektetni a pénzünket. Meg kell jegyezni, hogy egy-egy ilyen beruházási döntést nem feltétlenül csak gazdasági alapon hozunk meg, a környezettudatosság is szerepet játszhat, valamint várhatóan a jövőben a villamos energia ára növekedni fog a lakosság esetében is, így a számok kedvező irányba fognak változni.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

Ahogy láthattuk, önerőből történő finanszírozás esetében ebben az új szabályozási környezetben mind a szigetüzemű, mind a közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszer a várható élettartama alatt meg nem térülő beruházássá válik, amennyiben a maradványértéküket nem vesszük figyelembe. Ha a 30. vagy a 10. év végén nem tudjuk, vagy

nem akarjuk értékesíteni a napelemes rendszerünket, illetve nem az előírányzott összeget kapjuk értük, akkor minden esetben veszteséges lesz a beruházásunk. Állami támogatás és szaldó elszámolás nélkül a napelemes rendszer megtérülési ideje kívül esik annak élettartamán. Mindkét vizsgált típusú napelemes rendszer esetén csak az állami támogatásból finanszírozott beruházás lesz nyereséges a 30. és 10. évben is, amely előbbinél csak 3%-os infláció, utóbbinál pedig 3 és 10%-os infláció mellett is igaz.

Ahogy az várható volt, a közüzemi hálózatra visszatápláló napelemes rendszernél a visszatáplálás miatt kedvezőbb az üzemeltetés, mint egy szigetüzemű rendszernél. Azonban még ez sem elegendő ahhoz, hogy állami támogatás és maradványérték nélkül élettartamon belül megtérüljön a rendszer, hiszen a szolgáltató 2022. augusztustól csupán 5,11 Ft-ot fizet kWh-ként. Amennyiben a bruttó elszámolás bevezetésével emelik ezt az összeget, akkor a visszatáplált villamos energiából származó bevétel növekedése miatt a megtérülés pozitív irányba változhat.

Természetesen a bemutatott eredményeket más tényezők is befolyásolhatják. Amennyiben a paneleket nem tisztítatjuk évente legalább egyszer, akkor csökken a hatásfokuk, ezáltal a megtérülés is kedvezőtlenebbül alakul. Ugyanez a helyzet akkor, ha az éves teljesítményromlásuk nagyobb, mint a feltételezett 0,5%, illetve, ha az inverter és/vagy az akkumulátortelep élettartama kevesebb, mint 10 év. Viszont, ha a szolgáltató emeli a villamos energia árát, az a megtérülésre pozitív hatással lesz. Nagyon fontos hangsúlyozni, hogy a jelenlegi lakossági villamos energiaárak továbbra sem tükrözik a világpiaci árakat. Amennyiben 2023. január 1-től a mostani lakossági kedvezményes és piaci árakat, a sok európai országban érvényes 100-160 Ft/kWh közötti árra emelik, akkor a szigetüzemű napelemes rendszerek megtérülési ideje kedvezőbben fog alakulni. Ha az infláció 30 éven keresztül tartósan magas, kétszámjegyű marad, akkor a maradványérték nagy összeget fog képviselni, így jobban megéri napelemes rendszert telepíteni. Jelen helyzetben azonban összességében jobban járunk, ha a pénzünket inkább bankbetétben helyezzük el.

Mindezek mellett azt is érdemes átgondolni, hogy a napelemes rendszer növelni fogja az ingatlanunk értékét, nem beszélve arról, hogy a mindennapokban egy ilyen rendszer biztonságot is tud nyújtani a tulajdonosnak a folyamatosan emelkedő energiaárak miatt. A legújabb fejlesztésű szolár akkumulátorok megfelelő körülmények között, akár 15-18 évig is üzemeltethetők, ami szintén kedvező irányba befolyásolhatja a megtérülési időket.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] https://mavir.hu/documents/10258/245268747/PV+STATISZTIKA_HU_20221101_ig_v1.pdf/8b5fe44e-2914-4051-2f94-5cf50bb6bae0?t=1668441993135 (letöltés dátuma: 2022. november 18.)
- [2] <https://wagnersolar.hu/napelemes-rendszer-tipusok-mukodes-szerint/> (megtekintés dátuma: 2022. november 18.)
- [3] BODNÁR, I.: *Napelem működésének alapjai, a napelemes villamosenergiatermelés elmélete és gyakorlati megvalósítása*, Micropress Kft., 2019.
- [4] VÉGHÉLY, T.: *Napelemes rendszerek villamos berendezései*, CSER Kiadó, Budapest, 2014.
- [5] MÉSZÁROS, L., SCHOTTNER, K.: *Megújuló energiatermelő rendszerek, Napelemes erőművek*. Magyar Mérnöki Kamara Elektrotechnikai Tagozat, 2015.
- [6] <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20221027/megjelent-a-kormany-rendkivuli-dontese-a-napelemekrol-575247> (megtekintés dátuma: 2022. november 18.)
- [7] <https://www.naplopo.hu/miert-napenergia/gazdasagossag-megteruelesi-ido/napelemek-megterulese> (megtekintés dátuma: 2022. november 21.)

- [8] VÉGHÉLY, T.: *Napelemek és napelemrendszerek szerelése*, CSER Kiadó, Budapest, 2013.
- [9] <https://www.mvmnext.hu/ee/elmu/file/downloadfile?id=daf8fc17-f774-420d-92cc-c3a82863d3b7> (letöltés dátuma: 2022. november 18.)
- [10] <https://www.eu-solar.hu/blog/mennyi-ido-alatt-terul-meg-a-napelem/> (megtekintés dátuma: 2022. november 21.)
- [11] ZSÓTÉR, B.: *Vállalati gazdaságtan és pénzügyi ismeretek mérnököknek*. Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Szeged, 2019.
- [12] BREALEY, R.A., MYERS, S.C.: *Modern vállalati pénzügyek*. PANEM, Budapest, 2005.
- [13] PAPP, P., SZÜCS, E.: *Beruházási alapismeretek*. TERC Kft., Budapest, 2013.