

Háztartási méretű energiatárolás fejlesztési lehetőségei Magyarországon



Háztartási méretű energiatárolás fejlesztési lehetőségei Magyarországon

Budapest, 2022. október

A sorozat szerkesztője:
WAGNER ERNŐ
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Elektrotechnikai Tagozatának gondozásában.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:
Dr. Tokody Dániel
Schottner Károly
Ady László
Haddad Richárd
Ágoston Gergő
Csordás Antal
Martin József
Szabó Róbert

Lektorálta:
Molnár Ferenc

A kézirat lezárásának időpontja: 2022.10.09.

Kiadó:

Magyar Mérnöki Kamara
1117 Budapest, Szerémi út 4.
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

Vezetői összefoglaló	6
1. Bevezető - Dr. Tokody Dániel	8
1.1 Energiatárolás szükségessége – Ágoston Gergő.....	15
2. Háztartási méretű energiatárolás eszközei (felépítésük, elvi működésük) - Schottner Károly, Szabó Róbert.....	16
2.1 Bevezetés a háztartási méretű energiatárolás lehetőségeibe.....	16
2.2 Háztartási méretű energiatárolók létesítési szempontjai.....	20
2.3 Háztartási méretű energiatárolással kombinált napelemes rendszerek energiagazdálkodási kérdései	26
2.4 Szigetüzemű napelemes rendszerek	28
2.5 Meglévő fogyasztói rendszerek átalakítási aspektusai	29
3. Energiatárolókra vonatkozó jelenlegi (műszaki) jogszabályi környezet - Ágoston Gergő	30
3.1 A tervezési és méretezés általános elvei/szempontjai - Ágoston Gergő	32
4. Energiatárolók megtérülését segítő (meghatározó) körülmények - Haddad Richard, Martin József, Ágoston Gergő	35
4.1 Rentabilitást befolyásoló tényezők (gazdasági kérdések) - Ágoston Gergő, Haddad Richárd	37
4.1.1 Elosztói hálózat üzemeltetői szemszögből.....	39
5. Kitekintés a SMART GRID koncepcióra, ezen belül az energiatárolók szerepére – Haddad Richárd, Martin József.....	42
5.1 SMART GRID bevezető gondolat	42
5.2 Smart Grid, a vízió születése	42
5.3 Okoshálózatok alapelemei.....	43
5.4 A jövő villamosenergia termelése.....	44
5.5 Energiatárolás	46
5.6 Energiaközösségek	46
5.7 Demand Side Management.....	47
6. A háztartási léptékű hidrogén energiatárolás - Csordás Antal	50

6.1 Bevezetés a hidrogén technológiába	50
6.2 A hidrogén előállítása	50
6.3 A hidrogén tárolása	53
6.4 Energiatermelés hidrogén felhasználásával.....	54
7. Energia elosztó és tároló rendszerek irányító szoftverei	
Ady László, Dr. Tokody Dániel.....	58
7.1 Számítógépes feladat feldolgozás mérnöki megközelítése.....	58
7.2 Energetikai rendszerek modellezése	59
7.3 Energetikai rendszerek leírása	59
7.4 Elosztott rendszerek.....	60
8. Irodalomjegyzék.....	61
9. Mellékletek – Esettanulmányok, jó gyakorlatok bemutatása	65
9.1 Esettanulmány: a Kontakt-Elektro Kft. Hidrogénes energiakonténere - Csordás Antal.....	65
9.2 Esettanulmány: az E.ON Energia Konténere - Csordás Antal.....	66
9.3 Esettanulmány: szigetüzemben működő napelemes rendszer Cseszneken - Szabó Róbert.....	67
9.4 Közeljövőben várható fejlesztési irányok, energiatermelő és tároló eszközök Európában - Solár hidrogén panel - Dr. Tokody Dániel	69
9.5 Esettanulmány: Háztartási méretű villamosenergia-tárolókkal kapcsolatos tapasztalatok az MVM DÉMÁSZ ellátási területen - Molnár Ferenc	70
10. Szerzők.....	74
11. Lektor.....	77
12. Rövidítések jegyzéke.....	78
13. Ábrák jegyzéke.....	79
A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.

A villamosenergia tárolásával kapcsolatban az utóbbi években Magyarországon nem született átfogó köztudomású műszaki szakmai anyag. Magával az energiatárolás kérdésével is meglehetősen kevesen foglalkoznak hazai viszonylatban. Ezen anyagok inkább mélyebb szakmai és tudományos tartalommal készültek és kevésbé a közérthetőség nyelvén íródtak. Az energiatárolás, mint szakmai terület kutatása és a vonatkozó szakmai tudás rendszerezése a technológiák folyamatos fejlődése okán is egy változó és fejlődés alatt álló terület. A tanulmány megírásának egyik fő eredményének tekinthetjük, hogy hazai viszonylatban elindult egy szakmai és tudományos párbeszéd, az energiatárolás témája kapcsán. A szerzői testület tagjai elhivatott módon foglalkoznak a magyar villamos szakma most kidolgozott részével is. Minden fellengzősség nélkül munkájukkal céljuk volt megvalósítani azt, hogy a hazai energiatárolás induljon el egy olyan remélhetőleg töretlen fejlődési úton, ami a magyar társadalom javát fogja szolgálni a következő évtizedekben.

Az energiatárolás terjedését a villamosenergia rendszer átalakulásának jeleként is értelmezzük, amennyiben persze a tároló össze van kötve a villamosenergia hálózattal. Ugyanakkor, ha csak a jövőbeli háztartási méretű megvalósításra gondolunk - ahogyan ez a tanulmányunk elsődleges célja - a háztartási méretű energiahálózat tervezése és létrehozása, üzemeltetése meglehetősen eltérő képet mutat a ma még itthon bizonyosan általánosan megszokottól. A tárolókapacitások beépülése nem újkeletű dolog, hiszen például hőenergiát régóta tárolunk ilyen méretben, még a villamos energia szempontjából is van ilyen megoldás a szünetmentes tápegységek esetében. A későbbiekben tárgyalt energiatárolás számos ponton eltér a mai hazai viszonyoktól. Mivel ebben az esetben válnak érdekessé a háztartási méretű energiagazdálkodási kérdések, az energiaellátás biztonságának hatékony kezelése egy egy otthon szintjén is.

Összességében a mai háztartási méretű energiatárolás legelérhetőbb, legelterjedtebb módja közé az akkumulátoros tárolás tartozik. Érdekes és kecsegtető fejlődési pályán mozog az energia hidrogénben történő tárolásának kérdése. Ezért tanulmányunkban ennek a két területnek a bemutatására koncentrálnak.

Tanulmányunk első fejezete foglalkozik azon kérdésekkel, amelyek az energiatárolás témájában a leghétköznapi módon felmerülhetnek. A második fejezetben ismertetjük a háztartási méretű energiatárolás eszközeit, lehetséges rendszer struktúráját. A harmadik fejezetben vizsgáljuk a műszaki és jogi feltételeket és a tervezés általános szempontjait. A negyedik fejezetben végigvesszük a megtérülést segítő körülményeket. Az ötödik fejezetben az energiatárolás helyét mutatjuk be, egy komplex okos villamoshálózatban. A hatodik fejezetben a hidrogén előállításával, tárolásával és háztartási méretű esetleges felhasználásával foglalkozunk. A hetedik fejezetben rövid kitekintést nyújtunk az energia

elosztó és tároló rendszerek kezdeti szoftveres tervezési, modellezési kérdéseire. A tanulmány mellékletében pedig öt esettanulmányt mutatunk be. Végül mind a szerzők mind pedig a lektor személyét is bemutatjuk az olvasók számára.

Bízunk abban, hogy létrejöhetett egy, a közérdeklődésre számot tartó, hasznos szakmai anyag, melyhez erőnkhez és időnkhez mértén legjobb tudásunkat használtuk fel. Olvasóink szempontjából bármilyen hiányérzet is keletkezne tanulmányunk áttekintése során, kérjük legyenek arra figyelemmel, hogy megítélésünk szerint folyamatosan fejlődő tématerületről van szó. Mind a hazai mind, a nemzetközi gyakorlat még csak moderált módon, sikerekkel és kudarcokkal is tűzdelt történetét mutatja az energiatárolásnak. Hiszen azt hihetnénk, hogy kiforrott dologról van szó.

Megjegyezzük, hogy munkánk ideje alatt és a kézirat lezárása után további rendeleatszintű változások következtek be a magyar villamosenergia rendszerrel, a megújuló energiatermeléssel és az energiatárolással kapcsolatosan. Ennek a változásnak a részletei szerzőink számára ezidáig még nem ismertek. Így tehát a következő oldalakon olvasható tanulmány megírása során semmilyen módon nem vettük figyelembe a jövőbeli változás szempontjait.

A szerzői testület nevében: Dr. Tokody Dániel

1. Bevezető - Dr. Tokody Dániel

Tanulmányunk megírásakor számos kérdés fogalmazódott meg, amely akár az energiatárolás témáját vizsgáló érdeklődőkben is felmerülhetnek.

Mi sem lehet tehát egyszerűbb, mint ezeket a kérdéseket még a tanulmány elején végiggondolva, rendszerezzük az összegyűjtött tudást.

A következő kérdésekre kerestük és kaptuk meg a választ.

Mi is az az energiatárolás?

„Az energiatárolás fogalma: a villamosenergia-rendszerben a megtermelt villamos energia bizonyos mennyiségének átalakítása tárolható formájú energiává, majd az energia tárolása és az energia ezt követő közvetlen felhasználása, villamos energiává vagy más energiahordozóvá történő visszaalakítása és az így visszaalakított energiának a termeléséhez képest későbbi időpontban való felhasználása.” [1]

Ezt a meghatározást a villamosenergia-rendszerből eltárolt energia tárolására vonatkozóan fogalmazták meg. Az energiatárolás egy jóval általánosabb megfogalmazása szerint olyan eljárás, amelynek során az energiahordozót felhalmozzák annak érdekében, hogy egy későbbi időpontban hasznos munkavégzésre lehessen fordítani. [2]

Mit tekintünk energiatároló rendszernek a tanulmány szempontjából?

Energiatároló rendszer értelemezéseként olyan villamos szerkezetet vagy villamos szerkezetek összességét tekinthetjük, melyek a kisfeszültségű hálózathoz való csatlakoztatásra szánt helyhez kötött energiatárolókból állnak és a létesítmény meghatározott fogyasztói csoportjainak energiaellátásához kiegészítő energiaforrást valósítanak meg. [2. fejezet alapján]

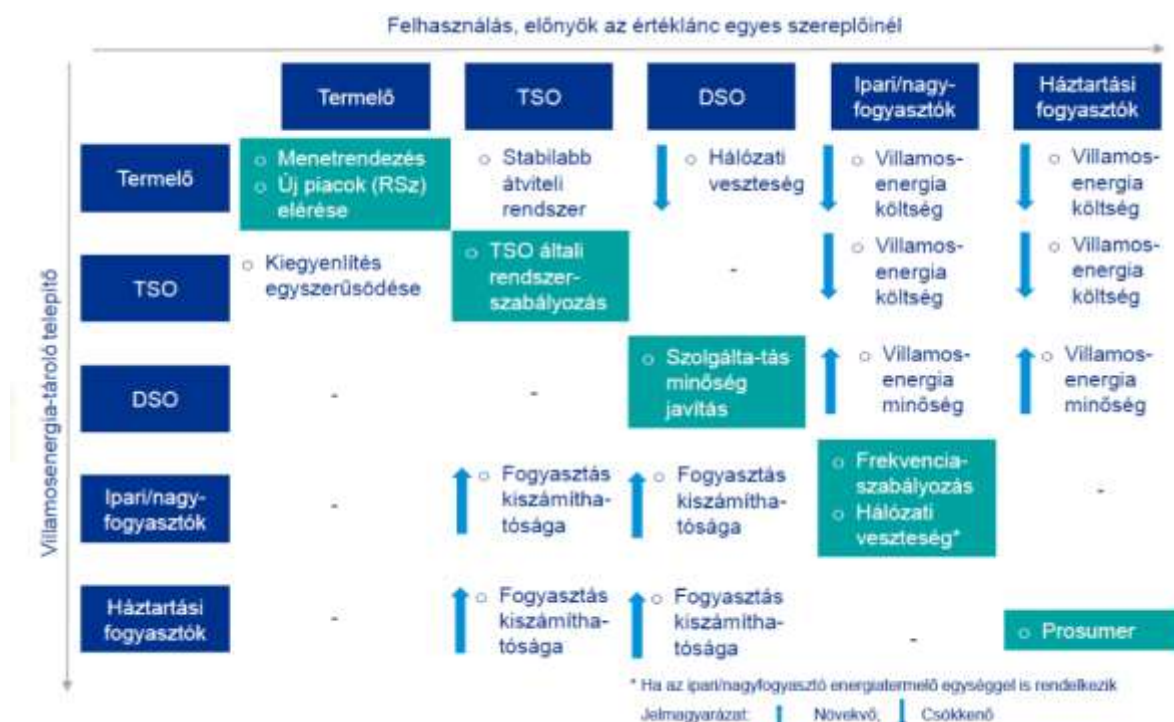
A tárolt energiaforma alapján milyen energiatárolókat különböztetünk meg?

Villamos energiatárolók, elektrokémiai energiatárolók, kémiai energiatárolók, mechanikai energiatárolók és hőenergia-tárolók.

Hol, azaz a villamosenergia-rendszer mely szintjén tárolhatunk energiát?

Az energiarendszerben az energiatárolás helye szerint lehetnek: erőművi vagy erőmű közeli energiatárolók, az elosztó és az átviteli hálózathoz kapcsolódó energiatárolók, közösségi és háztartási energiatárolók.

A következő ábrán azt láthatjuk, hogy az energiatárolás telepítés helye szerint milyen feltételezett előnyökkel járhat az energiatárolás megvalósítása az értéklánc egyes szereplőit tekintve.



1. ábra. Az energiatárolás telepítési helye szerinti előnyök az értéklánc egyes szereplőit tekintve [3]

Miképpen tárolhatjuk az energiát?

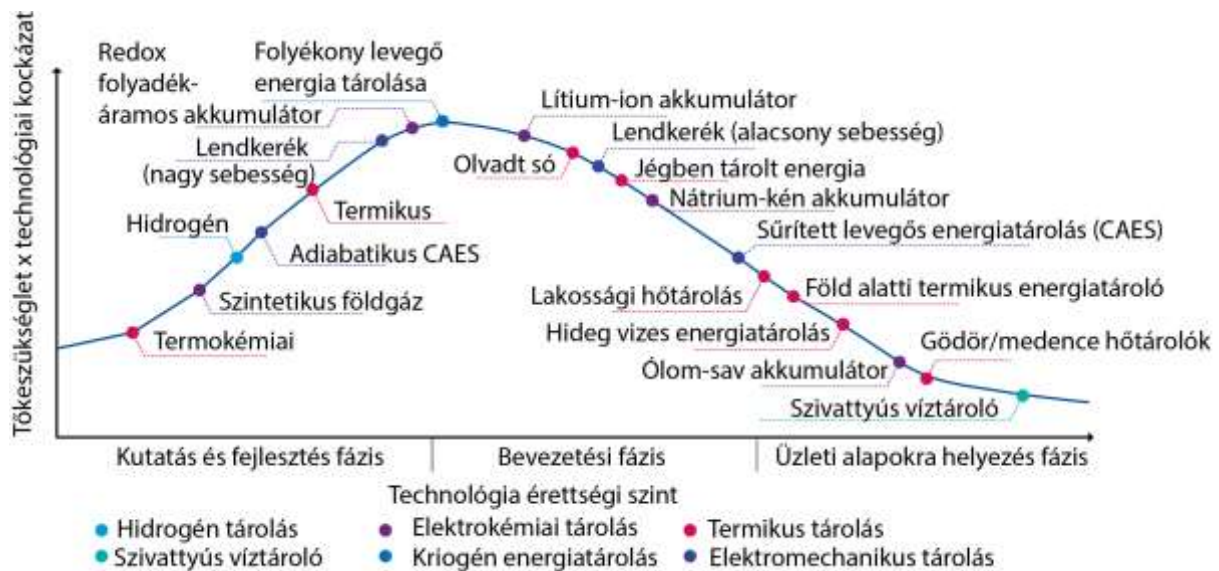
A szakirodalom szerint a villamosenergiát szuperkondenzátorokban vagy szupravezető mágneses energiatárolókban tárolhatjuk. Elektrokémiai módon a minden nemű akkumulátorokban tárolhatunk energiát. Pl.: savas ólomakkumulátor, NiCD, NiMH, NaS, NaNiCl₂ és Li-ion akkumulátor, redox folyadék áramú akkumulátor stb. Mechanikai energia tárolására - helyzeti energia esetében - szivattyús tározós, sűrített levegő-tárolós, súlytárolók, rúgók az alkalmasak. Míg kinetikus energia tárolására a lendkerekek. Hőenergia-tárolók esetén három fajtát különböztetünk meg fázisváltással, fázisváltás nélkül és termokémiai eljárással történő tárolást. [4]

A következő ábrán láthatunk egy összefoglaló táblázatot arról, hogy milyen főbb energiatárolási technológiák a legelterjedtebbek és azokat leginkább hol alkalmazzák.

Szükséges tárolási technológia...	Akkumulátorok									
... a hálózatban...	Vízszivattyú	Lítiumion-akkumulátorokomakkumulátor	Savas	Redox folyadékkáros	Nátrium-kén	Superkondenzátor	Hidrogén üzemanyagcella	Lendkerék	Sűrített vagy folyékony levegő	Hőtárolás
Szezonális tárolás Igény: Nagy tárolókapacitás, lassú letöltés	✓						✓			
Napi tárolás (a napi csúcsterhelés elhalasztása) Igény: Néhány órás ellátás	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓
Hálózattámogató szolgáltatások (pl. frekvenciaszabályozás) Igény: Gyors reakció, néhány másodperces-néhány órás ellátás	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Háztartások Igény: Kis méret, hosszú élettartam		✓	✓	✓			✓			
... a közlekedés területén...										
Közút Igény: Nagy teljesítmény, kis tömeg, kis méret		✓				✓	✓			
Légi/vízi közlekedés Igény: Nagy teljesítmény, térfogategységenként nagy energia						✓	✓			

2. ábra. A fő energiatárolási technológiák és azok alkalmazása [5] [6]

Az alábbi ábrán a különféle tárolási technológiák technológiai érettségét láthatjuk.



3. ábra. Az energiatárolási technológiák érettsége [7]

Melyek a legfontosabb alapfogalmak az energiatárolókkal kapcsolatban?

- „Tárolási kapacitás: a tárolóból kinyerhető maximális energiamennyiség, számértéke azonos a kezdő energia mennyiséggel. E [kWh]” [4]
- „Tárolás hatásfoka: a tárolóból elvezethető és bevezetett energia mennyiség hányadosa egy adott időtartamú tárolási ciklusra.” η_t [4]
- „Fajlagos energiasűrűség: a tároló M tömegére vonatkoztatott betárolható energiamennyiség. e_m [kWh/kg]” [4]
- „Ciklusszám: adott időszakra (nap stb.) vagy a teljes élettartamra vonatkoztatott töltési-kisütési ciklusok száma. Gyakran a 100% DOD nagyságú ciklusok számát adják meg. A kisebb DOD nagyságú ciklusokat egyenértékű ciklus számokkal veszik figyelembe. [db/nap], [db/év]” [4]
- „Hozzáfértési idő: időtartam, amelynek eltelte után egy töltés alatt vagy stand by álló energiatároló kisütése megindulhat. t_h [s]” [4]
- „Tárolási idő: a betárolt energia tárolási veszteségek következtében bekövetkező elfogyásának időtartama. t_t [s]” [4]

Miért érdemes az energiatárolás kérdésével foglalkoznunk?

Berta szerint: „Az energiatárolás legnagyobb előnye, hogy lehetővé teszi az energiatermelés és az energiafogyasztás szétcsatolását. Az energiarendszer irányítása megköveteli a teljesítmény egyensúlyt. Így az energiatárolás nagyléptékű alkalmazása jelentős támogatást és lökést adhat a megújuló energiafajták alkalmazásának.” [8]

Az energiatárolás kulcsfontosságú eleme az energiarendszer rugalmasság biztosításának. Segíti a megújuló energia bázisú energiatermelés integrálását az energiarendszerbe. Kiegyensúlyozhatja a központosított és az elosztott villamosenergia-termelést, miközben az energiabiztonsághoz is hozzájárul. [9]

Gál szerint: „Az elosztott energia tárolás lehetőségei igen sokoldalúak, így a hálózaton szétszórta tárolási alkalmazások a helyi szabályozási feladatok mellett még az átviteli hálózat fölérendelt feladataira is bevetethetők (pl. 'virtuális nagytárolók' révén, ahol is a sok kisebb tárolót klaszterba fognak össze), s így a rendszerszolgáltatások kínálatából is kivethetik részüket. Az alkalmazási lehetőségek palettáját a következő ábra szemlélteti.” [10]



4. ábra. Elosztott energia tárolási alkalmazások lehetőségei [10]

Érdemes-e foglalkozni a háztartási méretű energiatárolás kérdésével?

Véleményünk szerint érdemes és kell is az energiatárolással foglalkozni. A kérdés ez idő szerinti különös aktualitását adja az európai szintű energiakrízis. [11] [12] A népesség jelentős részét foglalkoztatja a saját háztartásának, vállalkozásának energiaellátás biztonsága. Ez legalább két okból fakad. Az egyik, hogy a villamosenergia ára [13] az utóbbi időben jelentősen megnőtt. További probléma lehet, hogy egyes esetekben a megnövekedett áron elérhető energia mennyisége sem éri el a kívánatos értéket, azaz az energiához való hozzáférés korlátozott. Egyre nagyobb mértékben tapasztalható az energiaszegénység jelensége. [14]

Mikor tároljuk le az adott energiahordozót?

Az energiahordozó(k) tárolásnak logikus esete, ha az adott energiahordozó ára olyan mértékű, hogy letárolása és későbbi időpontban való felhasználása gazdasági szempontból célszerű. A letárolás akkor is időszerű lehet, ha az energiatermelésünk többletet mutat az éppen aktuális fogyasztásunkhoz képest.

Mennyi időt vesz igénybe a letárolás/töltés és a kitárolás/ kisütés? Mennyi ideig tudjuk tárolni az adott energiahordozót?

Ez függ az energiatárolási módszertől. Például, ha szuperkapacitásban szeretnénk energiát tárolni, akkor a töltési idő lehet pár ezredmásodperc, de pár óra is. A kisütési idő pár ezredmásodperctől, akár egy óráig is terjedhet. Az energiához való hozzáférési idő ezredmásodperc mértékű. Várható élettartalma több mint 20 év. Ezt a technológiát fejlődőnek kategorizálják, elméleti hatékonysága 90-95%. Li-ion akkumulátor technológia piac érett. Nagy elméleti hatékonyság 85-95%, 5-15 év élettartam és alacsony veszteség jellemzi. Töltési ideje pár perctől, akár pár napig is terjedhet. Az energiához való hozzáférési idő ezredmásodperc vagy másodperc, a kapcsolódó kisütési idő pár perctől, pár óráig is tarthat. Önkisülése tárolás során kb. 1 % / hónap. [8] [15]

Fentiek alapján látható, hogy az energia tárolási technológia kapcsán érdemes lehet ezeket a paramétereket is vizsgálni egy tervezett beruházás kapcsán.

Mekkora kapacitás kellene, hogy beépítésre kerüljön, hogy kiszolgáljon engem?

A tanulmány rendszertervezéssel kapcsolatos fejezetében bővebben foglalkozunk ennek a kérdésnek a megválaszolásával. Ugyanakkor itt jegyezzük meg, hogy jelentős fontossággal bír a felhasználói szándék, azaz milyen céllal és mértékben szeretnénk az energiatároló berendezést telepíteni. Van-e esetleg energiatermelés vagy csak tárolást kívánnak létrehozni?

Mikor érdemes energiatárolásban gondolkodni?

Az energiatárolással kapcsolatos beruházás megvalósításának mérlegelésével a gyakorlat szerint épületfelújítás, új építésű épületek, új építésű vagy megújuló lakónegyedek, városrészek tervezése esetén már érdemes foglalkozni.

Milyen elvárásokat támaszthatunk az energiatárolással szemben?

Relatív alacsony beruházási, működési, karbantartási költség. Hatékonyság és megfelelő hatásfok. Nagy üzembiztonság és rendelkezésre-állás. Karbantartás szegény felépítés. Automatizált üzemeltetés, emberi beavatkozás nélküli üzem. Alacsony környezeti hatás. Illeszkedjen a villamosenergia változás spektrumához. Hosszú rendszer élettartam. [3]

A különféle energiatároló rendszereket, milyen szempontok alapján hasonlíthatjuk össze?

Fajlagos költségek alapján. Rendszerszintű hatásfok szerint. Töltési, tárolási, kisütési időtartam, az alkalmazhatósági teljesítménytartomány, a rendszer méretéből adódó energiasűrűség és a rendszer élettartam hossza alapján. [8]

Van-e olyan technológiai trend, ami az energiatárolás esetében további motivációt jelenthet?

Jellemzően a villamosenergia-rendszerben rendelkezésre álló többlet elektromos energiát használnak fel arra, hogy a „power-to-X” (P2X) konverziós technológiák útján más-más ágazatokban pl.: lakossági, közlekedési, ipari vagy éppen a mezőgazdasági területeken felhasználható energiaforrást állítsanak elő. [16] A konverzió fontos lényege a tárolási idő növelése. Ilyen energiatárolási módok a power-to-ammonia, power-to-chemicals, power-to-fuel, power-to-gas, power-to-hydrogen, power-to-liquid, power-to-methane, power to food, power-to-power, power-to-syngas, power-to-mobility and power-to-heat. [17]

Csizmadia et al. szerint egy további fejlődési irány lehet: „Az autonóm járművek megjelenése és elterjedése hatással lesz az energiahálózatokra, részben azzal, hogy nem igényelnek hálózatbővítést, részben pedig az energiatárolásban szerepet vállalhatnak. A rendszer a „járműből a hálózatba” (Vehicle2Grid, V2G) elv alapján működik, aminek következtében az autók elektromos áramot vesznek fel és tartalékolnak, így képesek lehetnek a szél- és a naperőművekben megtermelt energia ingadozását együttesen kompenzálni. Az elemzések azt mutatják, hogy az akkumulátor kapacitásnak 82%-ára nincs szükség napközben, annak 11%-át használják fel csupán, ami lehetővé teszi a visszatáplálást az energiahálózatba. Ennek a visszatáplálásnak árképző hatása jelentkezik, amit a töltőpontokon kialakítandó informatikai rendszerekkel lehet mérni, illetve elszámoltatni. Számítások szerint 2020-ra az elektromos járművek 25%-a használhatja a V2G rendszert, ezen járművek 80%-a csatlakozik folyamatosan a hálózathoz. Ha 7% saját felhasználást veszünk figyelembe, akkor számottevő energiatárolás valósul meg a járművekben, ami ugyancsak érzékelhető költségmegtakarítást eredményez. Látva, hogy a járműállomány a jövőben a városokban koncentrálódik, elemzett rendszerünkkel hozzá lehet járulni a városokban termelt alternatív energiák további hasznosításához, így a városi terekben az emisszió csökkenéséhez (PWC, 2013).” [18]

Balaton ennél tovább megy és konkrét projektet mutat be munkájában: „A Tesla Motors azt követően, hogy egyértelmű vezető szerepre tett szert az elektromos meghajtású személyautók piacán, 2015 májusában egy gigantikus akkumulátorgyár építésének megkezdését jelentette be Nevadában, 5 milliárd dolláros költségvetéssel. A cég célja, hogy akkumulátorai egyrészt erőforrásokként szolgáljanak saját gépjárműveiben, másrészt, hogy segítségükkel új dimenziók nyíljanak meg az otthoni villamosenergia-tárolás területén. Az elektromos autóknál a technológia egyik legfőbb problémája jelenleg a relatív hosszú feltöltési idő és az alacsony hatótávolság. A háztartási méretű – elsődlegesen napelemes – áramtermelésnél a fő gondot a termelés és a fogyasztás napon

belüli eltérő szerkezete jelenti. Azzal, hogy a Tesla a Powerwall lakossági energiatároló rendszerével megjelenik a háztartási energiatárolás piacán is, megoldást kínálva a főleg nappal termelt áram időleges tárolására, egyszerre két piaci szegmensre támaszkodva erősítheti kompetenciáit a számára kulcsfontosságú akkumulátor-technológiai kutatás és fejlesztés területén.” [19]

1.1 Energiatárolás szükségessége – Ágoston Gergő

A jelenlegi tarifarendszer alapján a háztartási méretű energiatárolásnak csak megújuló villamosenergia termelőberendezéssel [20] együttesen van létjogosultsága Magyarországon.

A hazai villamosenergia ellátás üzembiztonsága nem indokolja a háztartási fogyasztók üzemszünet miatti villamosenergia tárolását.

Elosztói hálózatok szempontjából lényeges, hogy az energiatároló berendezés a rendszerengedélyes napelemes inverterek működési módjával megegyezően ne tudjanak visszatáplálni a hálózatba a villamos energia kimaradása esetén.

Különböző gyártmányok a visszatáplálás megakadályozására kialakított leválasztó eszközeinek működési módja, beépítése szinte fogyasztónként különböző lehet. Az elosztói engedélyesek számára megoldás lehet, egy általuk rendszerengedélyezett leválasztó berendezés, melynek beüzemelési feltételeit szabályzatban tudja rögzíteni.

A rohamosan növekvő HMKE-k száma a magyar villamosenergia rendszer egyensúlyának biztosíthatóságára negatív hatást gyakorolnak. A háztartási méretű energiatároló berendezések csökkentik ezt a negatív hatást azáltal, hogy mind a kikapcsolási csúcsokat, mind a fogyasztásokat kiegyenlítik.

2. Háztartási méretű energiatárolás eszközei (felépítésük, elvi működésük) - Schottner Károly, Szabó Róbert

2.1 Bevezetés a háztartási méretű energiatárolás lehetőségeibe

A háztartási méretű energiatárolásnak különböző céljai lehetnek, melyek egyénektől és felhasználási igényektől függően eltérő prioritással rendelkeznek. Célok között számos szempont felsorakoztatható, melyek lehetnek:

- A fogyasztói villamosigény üzembiztos, lehetőleg számottevő üzemszünet nélküli, folyamatos kiszolgálása.
- Az eltárolt energia előállítási, beszerzési költségének tervezhető és a felhasználó által kézben tartható gazdálkodása.
- Az újrafelhasználás vagy kitárolás határfokából adódó energiaveszteségek minimalizálása.
- A tárolórendszer helyszükséglete.
- A tárolórendszer létesítéséhez és üzemeltetéséhez kapcsolódó jogszabályi és szabványi megfeleléshez kapcsolódó előírások betartásával járó egyszeri és időszaki költségek optimális mértékének fenntartása.
- Az alkalmazott energiatároló élettartama, a létesítmény fogyasztóinak jövőbeli tervezett igényeihez igazodó biztosításával.
- A rendszer képessége a jövőbeli igények megváltozását kiszolgáló léptékezésre, bővítésre, modularitással biztosított cserélhetőségre.
- Az energiatároló élettartama alatt a tárolóképesség, illetve ehhez kapcsolódó fizikai és műszaki jellemzők változásának, a változások következményeként felmerülő költségek mértékének és időbeli eloszlásának optimális fenntartása.
- Karbantartási költségek optimalizálása, a rendszer üzemvitelének fenntartásához szükséges főelemek cseréjével járó ráfordítások és a szolgáltatás kieséséből adódó negatív hatások mértékének minimális mértéken tartása.
- A beruházói és felhasználói személyes igények.

A fenti, a teljesség igénye nélkül összeállított listából is látható, hogy számos aspektust lehet, adott körülmények és felhasználási igények esetén pedig szükséges megvizsgálni. Annak eldöntése, hogy a felállított célokból kinek, milyen prioritásokkal, melyek a relevánsak egyénfüggő, így felhasználónként értékelendők. Bár háztartási méretű energiatárolásról beszélünk, de ha a hangsúlyt a méretre helyezzük, úgy a célok fókuszába egészen más szempontok kerülhetnek egy magánháztartás 15 .. 30 kWh kapacitású rendszerénél, mint egy kisvállalat akár telephelyenként kialakítandó, kisméretű tárolóinál.

A hazánkat is érintő, az energia – legyen szó gáz-, vagy villamosenergia - már tapasztalhatóan megnövekedett ára, az energiaellátást geopolitikai erők által mozgatott,

bár egyelőre csak lebegtetett veszélyeztetése, természetesen indikálja az alternatív energiaforrások alkalmazásának megnövekedését. [21] Számos technológia már létezik és elérhető, ám még több keresi az útját. A Magyarországon jelenleg legnépszerűbb és számos háztartási méretben létesített alternatív energiahasznosító rendszertípus a napelemes háztartási méretű kiserőmű (HMKE). A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) negyedéves adatai szerint 2022 márciusának végén összesen 141.135 napelemes háztartási méretű kiserőmű üzemelt, melyekből 120.313 rendszer lakossági felhasználást szolgál 1.195 MW beépített kapacitással. Emellett más energiahordozók tekintetében további 142 db HMKE került üzembe, melynek a beépített kapacitása mindösszesen 2.175 MW. [22]



5. ábra. Napenergia alapú háztartási méretű kiserőművek darabszáma és beépített teljesítménye Magyarországon 2022. március [23]

A telepítés, energetikai beruházások tekintetében rendkívül rövid időszükséglete (hiszen egy családi ház napelemes rendszerének helyszíni kiépítése 1-2 napot vesz igénybe), a beruházási költségek számos háztartás által megfizethető mértéke, a kormányzati lakossági támogatások és pályázatok elérhetősége már rövidtávon megoldást jelent az energiához köthető költségek közben tartására, a kiszolgáltatottság mértékének csökkentésére. Azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy egy rendszert meg kell tervezni. A csatlakoztatási lehetőségét, műszaki megfelelőséget a közműszolgáltatók által engedélyezni kell, hiszen a közcélú villamosenergia-ellátó hálózat üzemvitelét fenn kell tartani valamennyi fogyasztó részére. A projekten belül ennek a folyamatrésznek az időszükséglete több hónapot is igénybe vehet. Valamint a 2022-ben ugrásszerűen megnövekedett létesítési igények (nem csak Magyarországon, hanem az EU-ban illetve

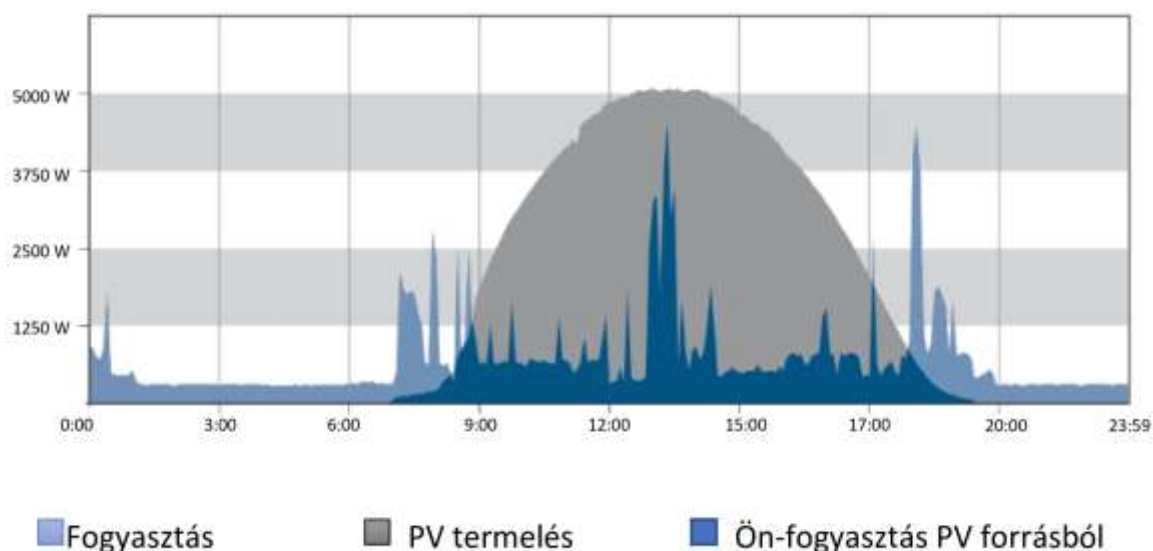
világszerte) kiszolgálására rendelkezésre álló gyártói és kivitelezői kapacitások a megvalósítások idősükségletét kitolták, valamint ezzel párhuzamosan, a keresleti piac által generált költségnövekedéssel is számolni kell.

A közcélú villamosenergia-ellátó hálózat kapacitása és az újabb és újabb csatlakozási igények kiszolgálhatóságának korlátjai megteremtik a szükségességét a lokális, a helyi közösségek szintjén üzemeltetett csoportosulások, vagy a rendszerszintű decentralizált energiatárolási megoldásoknak.

Egy háztartás esetében általánosan elterjedt megoldásnál, kizárólag hálózati csatolással rendelkező napelemes rendszerek az előállított áramot:

- helyben felhasználja, esetleg
- teljes mértékben betáplálja a hálózatba, vagy
- az előző kettő kombinációját valósítja meg.

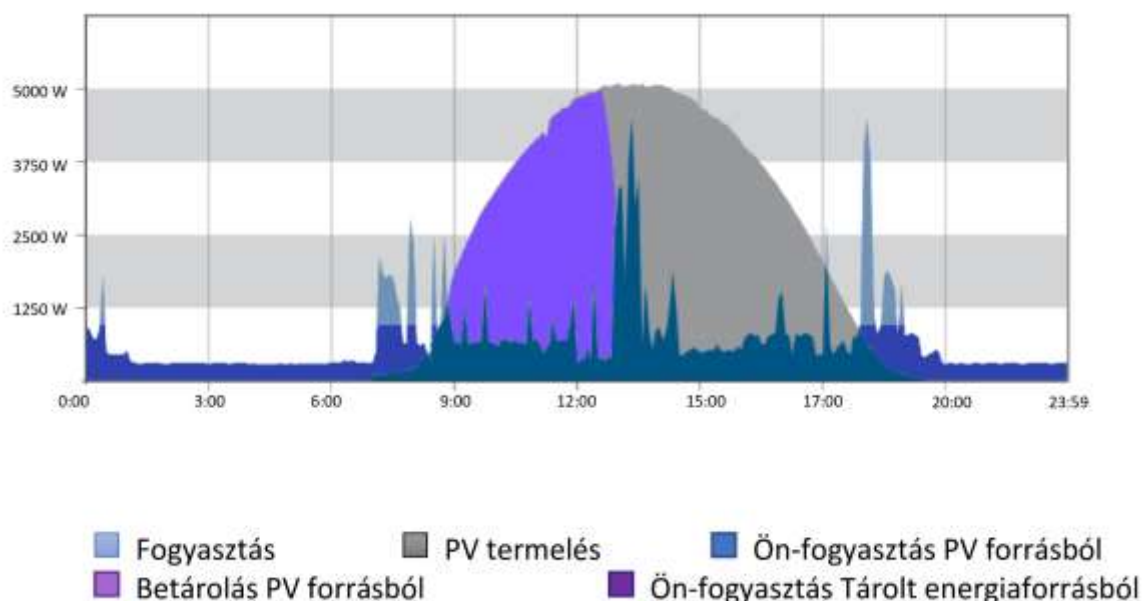
Abban az esetben, ha nem használnak fel minden megtermelt villamos energiát a belső fogyasztók, úgy a többletet a villamos hálózatba táplálja a rendszer. Amennyiben adott pillanatban a fogyasztók számára a napelemes rendszer nem termel elegendő áramot, a szükséges többletigényt a hálózathoz pótolja a rendszer.



6. ábra. Családi ház termelési és fogyasztási görbéi – hálózatcsatolt napelemes rendszer [saját szerkesztés]

A fenti grafikon egy minta családi ház napelemes termelésének napi lefolyását ábrázolja. Az el nem fogyasztott többletenergia hálózati irányba visszatáplálása és ennek a napszak, az évszak és az időjárásfüggő komplex változása az erőművi és a villamosenergia-elosztói rendszerek üzemeltetési nehézségeit generálják.

Vegyes üzemű rendszerek a hálózat csatolt rendszerek és a lokális energiatárolás kombinációját valósítják meg. Ezeknek a tárolóknak a feltöltése a nappali időszakban történik a napelemes rendszer által megtermelt energiával. Az eltárolt energiával úgy gazdálkodik a rendszer, mint mögöttes háttértároló kapacitás. Olyan üzemállapotokban amikor a napelemes rendszerből nem áll rendelkezésre részben vagy egészben az éppen szükséges villamosenergia, akkor a rendszer elsődlegesen ebből a háttérkapacitásból fogja kiszolgálni a fogyasztókat és abban az esetben vételez a villamos hálózatról, ha az igényt még ekkor sem tudja kielégíteni. A felesleges többletenergiát pedig a normál hálózatcsatolt rendszereknél ismertetett módon a villamoshálózat felé táplálja a rendszer.



7. ábra. Családi ház termelési és fogyasztási görbéi – vegyes üzemű napelemes rendszer lokális energia tárolással [saját szerkesztés]

A tárolási alrendszer magas beruházási, üzemeltetési és karbantartási igénye, valamint a napelemes rendszerhez képest rövidebb élettartama miatt körültekintő módon kell a kiépítendő kapacitás technológiáját és méretét megválasztani.

További megfontolás tárgyát képezheti az elektromos autók elterjedésével a háztartási rendszerekben jellemzően éjszakai töltési igény kiszolgálása is. Ezeknél az alkalmazásoknál az éjszakai alapfogyasztás számottevően magasabb lesz az elektromos autó-töltők által felvett energiával. Ilyen összetett rendszerben a hatékony és a beruházás optimális megtérülésének meghatározásakor szükséges a rendszerhez igazított, komplex, automatikus termelés- és töltésmenedzsment kiépítésével számolni.

Egy energiatárolóval kombinált napelemes rendszer több alrendszerből és részegységből áll. Napelemek, inverter, tartószerkezet, alépítmény, az energia továbbításért és

biztonságos kezelésért felelős elosztó- és kapcsolóberendezések, villamos védelmek, kábelek és kábelnyomvonalak és nem utolsó sorban az energiatárolók. Egy méretezés nem csak a napelem táblák számában jelentkezik, hanem megfelelő inverter kiválasztásában, statikailag megfelelő épület, tetőszerkezet vagy földénnél az alépítmény méretezésében, az áthidalási időigényeket is kiszolgáló tárolókapacitás meghatározásában. Nagyobb villamos teljesítményhez nagyobb terhelhetőségű berendezések, tűzvédelmi lekapcsolási rendszerek lehetnek szükségesek. Ezek létesítése, finanszírozása, üzemeltetése mind kihatással van a beruházás megtérülésére.

Fontos kiemelni, hogy a fenti értékelés olyan napelemes rendszerekre vonatkozatható, melyek létesítésének célja a saját villamosenergia fogyasztás alternatív energiából történő kiváltását szolgálja. Azon Kiserőműi vagy Erőműi beruházásokra, melyek célja a megtermelt energia értékesítése, merőben más szabályozás vonatkozik, így más természetű megfontolások és számítások elvégzése szükséges, melyek jelen tanulmány keretein túlmutatnak.

2.2 Háztartási méretű energiatárolók létesítési szempontjai

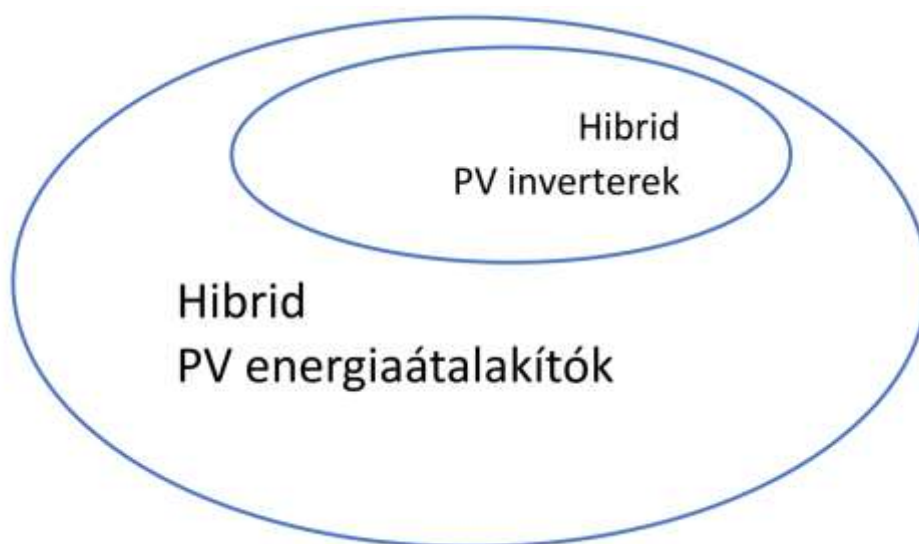
Energiatároló rendszer értelemezéseként olyan villamos szerkezetet vagy villamos szerkezetek összességét tekinthetjük, melyek a kisfeszültségű hálózathoz való csatlakoztatásra szánt helyhez kötött energiatárolókból állnak és a létesítmény meghatározott fogyasztói csoportjainak energiaellátásához kiegészítő energiaforrást valósítanak meg.

A bevezetőben fellevezetett napelemes energiatárolóval kombinált megoldásokon keresztül érdemes áttekinteni a létesítés szempontjait az energiatovábbítás és a védelmi (túláram, tűzvédelem) követelményeit.

A napelemes energiatárolóval kombinált rendszereket hibrid PV energiaátalakítóknak tekinthetjük. Az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) villamos berendezésekkel foglalkozó Tűzvédelmi Műszaki Irányelveinek 7. kötete (TvMI) úgy definiálja ezeket az átalakítókat, hogy olyan villamos szerkezetek egymással összekötött és közös célból összehangolt együttese, amely képes a napelem modulok által előállított egyenfeszültségű energiát és/vagy egy hozzá közvetlen villamos kapcsolattal csatlakoztatott energiatároló rendszer által tárolt energiát oly módon átalakítani, továbbadni, hogy az alkalmassá válik a közcélú villamosenergia-ellátó rendszerbe történő visszatáplálásra és/vagy a létesítmény fogyasztóinak – szükség szerinti - ellátására, továbbá képes a tároló rendszert vezérelni, lekapcsolni.

A definíció összefoglalja a rendszer a célját, de kiemeli, hogy összehangolt működéssel valósul meg a tárolás és az energiaellátás komplex üzemeltetése. Egy energiatárolással

rendelkező rendszer nem egy egységből épül fel, az több eszköz, berendezés, gyártmány és alkalmazás, valamint a meglévő fogyasztói rendszereinek fizikai és logikai összekapcsolásával valósul meg. Természetesen vannak olyan berendezések, melyek egy egységben több funkciót képesek lekezelní és szolgáltatni, ilyenek például a hibrid napelemes inverterek is. Ezek a villamos szerkezetek a hibrid energiaátalakítók részhalmozát képezik. A könnyebb értelmezhetőség érdekében a továbbiakban ezeken az eszközökön keresztül mutatjuk be a létesítési szempontokat.



8. ábra. Hibrid PV energiaátalakítók és Hibrid PV inverterek kapcsolata [saját szerkesztés]

A hibrid napelemes rendszereknél több üzemvitelt értelmezhetünk.

Önfogyasztás optimalizált hibrid üzemvitelnél a hibrid napelemes rendszer olyan rendszerszintű kialakítását és működését értjük, melynél a közcélú, tápoldali AC villamos hálózat kikapcsolásakor vagy kiesésekor a rendszer önmagát automatikusan leválasztja az AC-hálózatról, a hálózatcsatolt inverterekkel azonos módon a termelését leállítja.

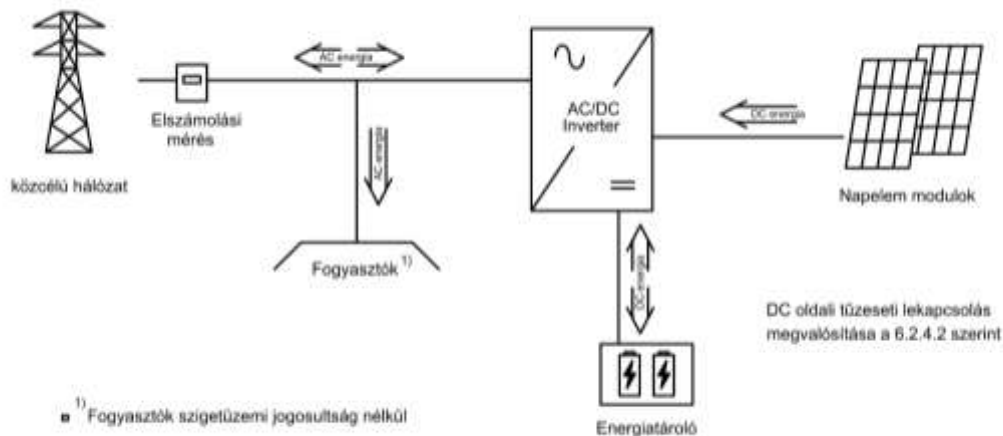
Az üzemvitel célja, hogy amíg a közcélú hálózattal a villamos kapcsolat fennáll, az önfogyasztást olyankor is kiszolgálja, amikor a napelem modulok irányából nem áll rendelkezésre elegendő energia és az energiátárolóból vételezve támogatja a fennmaradó villamosenergia-igény kiszolgálását.

Másik kialakítás a Hibrid szigetüzemi üzemvitelt teszi lehetővé. Ebben a kialakításban a rendszer két üzemállapotban képes működni.

A normál üzemállapotban a fogyasztók a közcélú hálózatról és az energiaátalakító forrásaiból is vételezhetnek energiát.

Szigetüzemi üzemállapotban a létesítmény meghatározott fogyasztói csoportjainak energiaellátása kizárólag az energiaátalakító által előállított villamos energiával valósul meg, a közcélú hálózati irányból, illetve annak irányába az energiaáramlás teljes kizárása mellett.

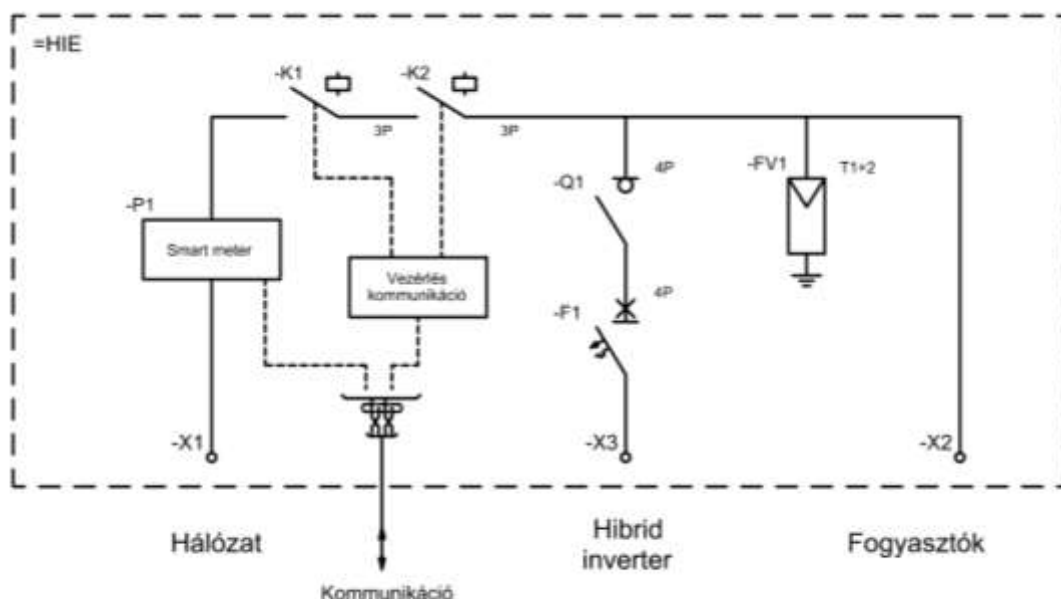
Ezeknek az üzemviteleknek biztosításához a közcélú hálózat biztonságos üzemeltetése és a tűzvédelmi előírások betarthatóságához rendszerszintű kialakítás szükséges.



9. ábra. Önfogyasztás optimalizált hibrid üzemviteli rendszer hibrid PV inverterrel [24]

Önfogyasztás optimalizált üzemvitelre kialakított rendszernek, az OTSZ értelmezése szerint akkor tekinthető egy létesítés, ha annak szigetüzemű üzemvitele semmilyen körülmény esetén sem állhat fenn. A jogszabály azonban megengedő abból a tekintetből, hogy az MSZ EN 62116 szabvány szerinti követelményeit teljesítő hibrid PV inverterek alkalmazása esetén külön AC oldali lekapcsolást nem ír elő, csak azokat a követelményeket kell kielégíteni, melyek a hálózatcsatolt inverteres megoldásokra vonatkozik. A hivatkozott szabványnak megfelelő inverterek olyan belső védelemmel rendelkeznek, amely a (közvetlen, tápoldali AC) villamos hálózat kikapcsolásakor, kiesésekor az invertert automatikusan leválasztja az AC-hálózatról. Azonban ha ezzel a védelemmel nem rendelkezik egy rendszer, akkor tűzvédelmi szempontból úgy kell tekinteni, mintha hibrid szigetüzemi megoldás lenne és annak megfelelő követelményeket kell kielégíteni a telepített rendszernek.

Hibrid szigetüzemi üzemvitelre is képes rendszereknél a fogyasztók egy adott körét a szigetüzemi állapot biztosításához egy vezérelt kapcsolóberendezésen keresztül le kell választani a közvetlen hálózatról. Ennek a kapcsolóberendezésnek a beépítési helye határozza meg, hogy mekkora villamosenergia igényű fogyasztói csoportot kell hálózati kimaradás esetén is ellátni.

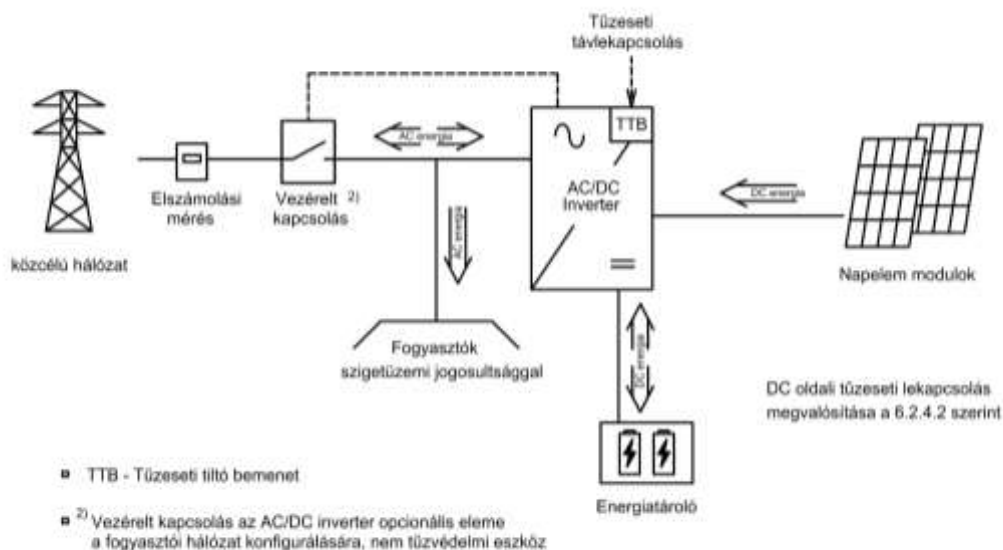


10. ábra. Példa séma Hibrid szigetüzemi kapcsolóberendezés kialakítási lehetőségére [saját szerkesztés]

Ennek a kapcsolóberendezésnek a méretezésénél a normál, közcélú hálózatirányú megáplálási üzemben a szigetüzem jogos fogyasztók terhelőáramát mindenképpen figyelembe kell venni. A szigetüzemi leválasztás vezérlését a rendszerek automatikusan elvégzik oly módon, hogy

1. a közcélú hálózat állapotát figyelve, hálózat kimaradás esetén
2. a szigetüzem jogos kiemelt fogyasztói kört leválasztja,
3. a leválasztást követően az energiatárolóból és/vagy a napelem modulok által megtermelt energiából a megáplálást elindítják.

Az áttérés idejére nem kapcsolódik össze a közcélú hálózat és a szigetüzemi alhálózat, azaz sötét áttérés valósul meg. A rendszer folyamatos monitorozás mellett üzemel. A közcélú hálózat stabil helyreállása esetén a rendszer ezt az új hálózati állapotot érzékelve, a visszatérést megkezd. A visszatérés szintén sötét áttéréssel következik be, annyi különbséggel, hogy az inverter a terhelést a hálózati szinkron felvételét követően veszi fel.

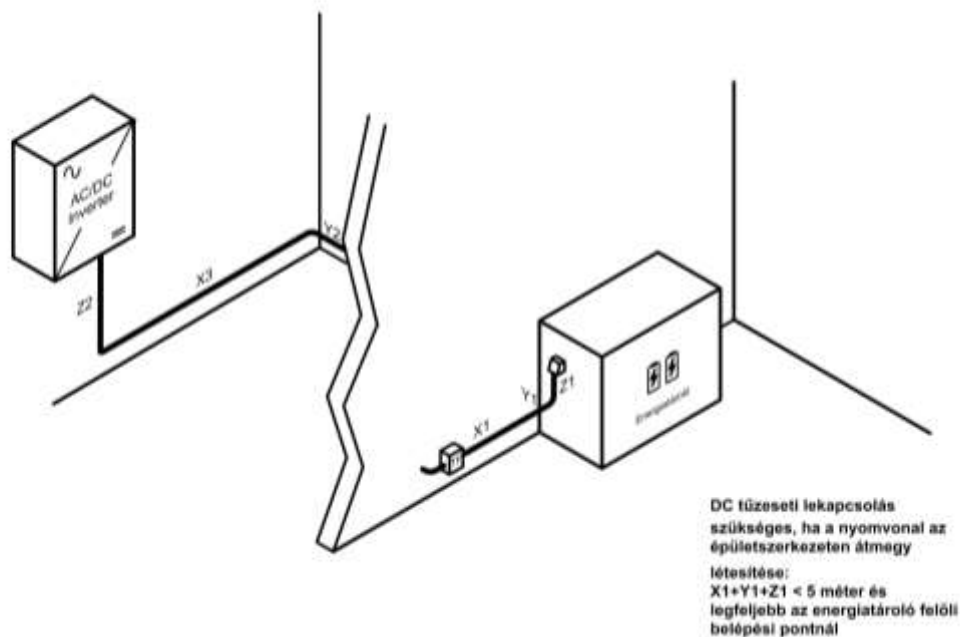


11. ábra. Hibrid szigetüzemi üzemvitelű PV inverteres rendszer tűzeseti tiltó bemenettel lehetőségére [24]

Tűzvédelmi szempontból a hibrid napelemes rendszerek három főbb alrendszerre oszthatók. AC (váltakozó áramú) fogyasztói oldal, DC (egyenáramú) napelem modulok felőli forrás oldal, valamint az energiatárolók felőli (jellemzően DC) oldal. Az alrendszerek feszültség jellegei és szintjei az alkalmazott technológiáktól függenek.

A rendszerek kialakításánál az OTSZ (a TvMI-n keresztül) rendelkezik a tűzeseti lekapcsolások létesítési szükségességéről, mind a három alrendszer vonatkozásában. A műszaki megoldások kitérnek a rendszerek topológiájának, a kábelezési nyomvonalak hosszának, az épületen belüli átlépési pontok viszonyára és távolságaira. Figyelembe veszik a hibrid inverterek és energiatárolók tűzvédelmi lekapcsolási képességeit, azok rendelkezésre állását, esetleges hiányuknál a beépítendő egyéb eszközök szükségességét.

Példa az energiatárolók – szükség esetén alkalmazandó - tűzvédelmi lekapcsolóinak beépítési előírására:



12. ábra. Hibrid PV inverteres rendszer energiatárolójának tüzeseti lekapcsolás kialakítása [24]

Az energiatárolókkal kombinált rendszerek bemutatásából látható, hogy a megoldások összetettek, számos technológiai, műszaki, szabványi és jogszabályi előírásnak kell megfelelni mind a tervezésük, a létesítésük és az üzemeltetésük során. A komplexitásukból adódóan - a bevezetőben már feszegetett célok közül - a beruházások megtérülési számításainál a főbb rendszerelemek beruházási, üzemeltetési és karbantartási költségét számításba kell venni. Azonban ezeken kívül figyelembe kell venni a rendszer egyéb, az általános figyelem fókuszában kevésbé megjelenő követelményeket is. Egy nem kellően körültekintően megtervezett rendszerrel, bár az előírásoknak megfelelő, de az esetleg alkalmazható könnyítések figyelmen kívül hagyása miatt feleslegesen beépítésre kerülő eszközök költségei a megtérülés idejét meghosszabbíthatják. A feleslegesen beépített eszközök, mint potenciális hibaforrások az üzemeltetésnél, mint lehetséges szolgáltatási kiesését is eredményezhetnek.

Másik irányból megközelítve viszont egy beruházási döntés előkészítése során a főbb rendszerelmeken felül, a költségek köréből kihagyva a szükséges egyéb eszközöket, munkanemeket, a projekt megvalósítását követő utólagos beruházás értékelésnél, lényeges eltérésekkel szembesülhet a finanszírozó.

2.3 Háztartási méretű energiatárolással kombinált napelemes rendszerek energiagazdálkodási kérdései

A napelemmel és akkumulátorral szerelt rendszer használatának elsődleges célja a háztartás energiagazdálkodásának javítása. Az energiagazdálkodás stratégiáját a helyi jogszabályi környezet határozza meg. A helyi jogszabályok az éppen aktuális nemzetgazdasági igények alapján kerülnek meghatározásra, emiatt indokolt bemutatni milyen jellemző alapelvek szerint működtethetők ezek a rendszerek.

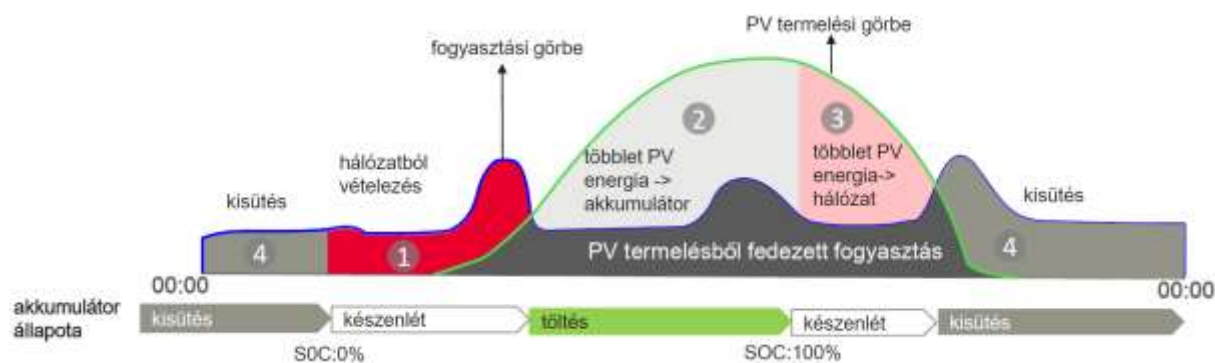
Az akkumulátoros rendszer különböző energiagazdálkodási módokat jellemzően a gyártó előzetesen definiálja az eszközben, amely üzembe helyezés során kiválasztásra kerül. A gyártó által rögzített módok különböző piacokra jellemző igények alapján kerülnek meghatározásra. Ezen módok között változtatásra üzem során van lehetőség.

1. eset: önfogyasztás maximalizálása

Olyan szabályozási környezetben, ahol a közcélú hálózatba táplált villamos energiáért alacsony díjat kap a termelő vagy az elosztói engedélyes nem tette lehetővé a hálózatba való betáplálást, akkor javasolt a napelemes rendszer által megtermelt energiát egyből felhasználni. Napon belüli tárolásra az akkumulátor ideális megoldás, amely segítségével a háztartás által fel nem használt energiát el tudja tárolni az akkumulátorban, majd később felhasználni ezt. Az akkumulátor töltése és kisütése automatikusan történik a felhasználó beavatkozása nélkül.



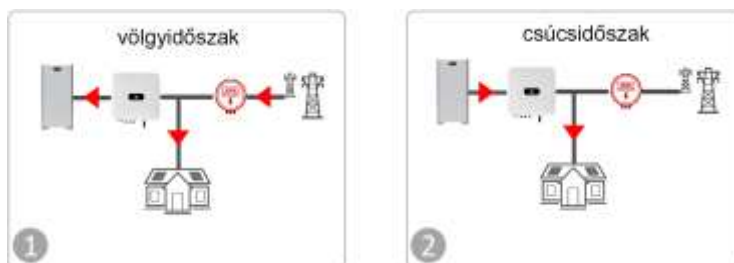
13. ábra. 1. esett napszakonkénti működés szemléltetése [saját szerkesztés]



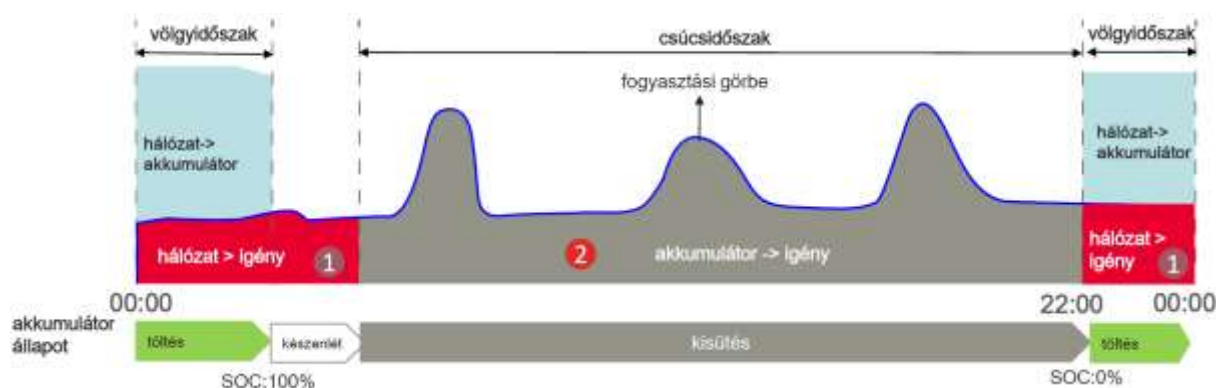
14. ábra. 1. eset energiatároló akkumulátor működése [saját szerkesztés]

2. eset: arbitrázs (napelemes rendszer nélkül)

Ha a fogyasztó számára biztosított energia ára a nap különböző időszakaiban eltérő, úgy völgyidőszakokban történő tárolás és csúcsidőszakban történő kisütés mentesítheti a fogyasztót a napon belüli árváltozástól.



15. ábra. 2. esett napszakonkénti működés szemléltetése [saját szerkesztés]



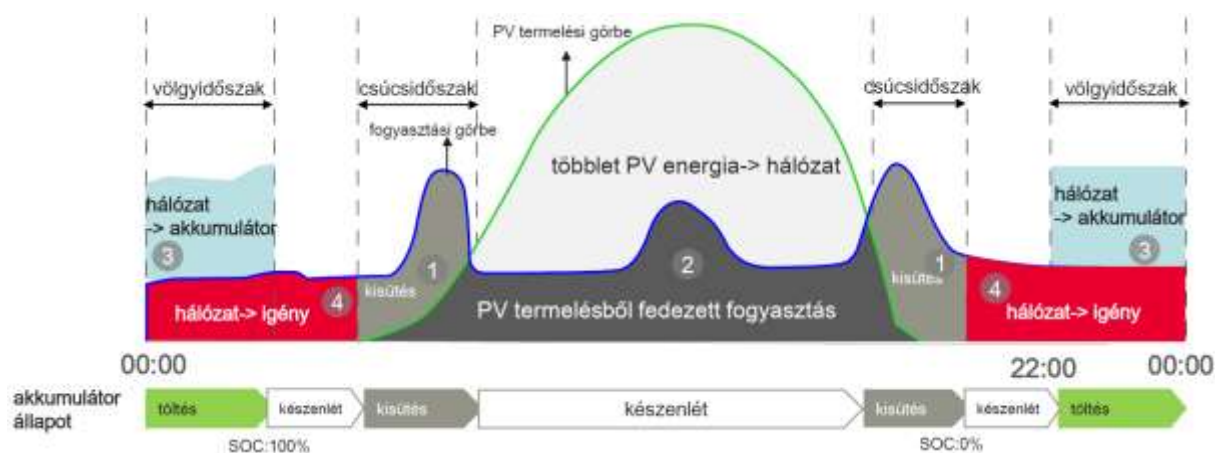
16. ábra. 2. eset energiatároló akkumulátor működése [saját szerkesztés]

3. eset: arbitrázs (napelemes rendszerrel)

Ha a fogyasztó számára biztosított energia ára a nap különböző időszakaiban eltérő, úgy völgyidőszakokban történő tárolás és csúcsidőszakban történő kisütés mentesítheti a fogyasztót a napon belüli árváltozástól. Illetve napelemes rendszer többlettermelése napközben közcélú hálózatra történő termelésre ösztönzött.



17. ábra. 3. esett napszakonkénti működés szemléltetése [saját szerkesztés]



18. ábra. 3. eset energiatároló akkumulátor működése [saját szerkesztés]

2.4 Szigetüzemű napelemes rendszerek

A ma Magyarországon üzemelő napelemes rendszerek (háztartási méretű kiserőművek) jelentős része hálózatvezérelt, azaz a hálózattal párhuzamosan tud üzemelni és termelni. Ezekkel szemben támasztott hálózati csatlakozás szerinti követelményeket az elosztói szabályzat tartalmazza. Az elosztói szabályzat szerint a párhuzamosan termelő berendezéseknek energiaszolgáltatás megszakadása esetén le kell kapcsolniuk. Megjegyzés: HMKE saját felhasználói berendezéssel az elosztói engedélyes által megszabott műszaki feltételek figyelembevételével és engedélyével szigetüzemben maradhat.

Fennállhat olyan műszaki vagy gazdasági feltétel, amikor nem biztosított közcélú hálózatra való csatlakozás. Amennyiben egy fogyasztó ilyen esetben mégis igényt tart villamos energiaellátásra, egy szigetüzemben is működni képes napelemes rendszer telepítése megoldást nyújthat. A termelés időjárásfüggő tulajdonsága miatt a rendszer nem képes állandóan megfelelő mennyiségű és minőségű energiát biztosítani, viszont energiatároló (pl. akkumulátorral) alkalmazása megoldást biztosíthat.

(1) Jellemző berendezések egy szigetüzemű rendszer esetén, amikor a napelemeket és az akkumulátort külön berendezés kezeli:

- töltésvezérlő invert, amelyre az akkumulátorok csatlakoznak
- akkumulátor
- napelemes inverter
- napelem

A hálózatot a töltésvezérlő inverter hozza létre és mint feszültség generátor üzemel, a napelemes inverter erre a hálózatra tud szinkronizálni. A töltésvezérlő szabályozza az akkumulátorok kisütését és töltését, illetve a termelés fogyasztás egyensúly megtartása miatt ezen eszköz folyamatosan szabályozza a napelemes inverter kimeneti teljesítményét is. Egy ilyen rendszer megfelelő működéséhez kötelező a különböző

alegységek közötti kommunikáció, így javasolt minden berendezés kommunikációs kompatibilitását ellenőrizni.

(2) Jellemző berendezések egy szigetüzemű rendszer esetén, amikor a napelemeket és az akkumulátort ugyanazon berendezés kezeli:

- töltésvezérlésre és feszültséggenerátoros módra képes napelemes inverter
- akkumulátor
- napelem

A hálózatot ebben az esetben is az inverter hozza létre, viszont a két energiaforrás kezeléséért egy eszköz felel. A megfelelő energiaforrás kiválasztása az inverter feladata. Ilyen rendszerek integrációja a kevesebb eszköz miatt egyszerűbb lehet.

2.5 Meglévő fogyasztói rendszerek átalakítási aspektusai

Törekvés az épületeink energiafüggőségének csökkentése, több forrás biztosítása és a forrásokból rendelkezésre álló energia tárolása. A cél megvalósításához azonban számos olyan műszaki átalakítás és módosítás elvégzése válhat szükségessé, melyek a tárolórendszer üzemeltethetősége mellett biztosítják a személyek, vagyontárgyak és az ingatlan értékeinek védelmét is.

Az energiatárolók - választva bármely technológiát - valamilyen fizikai vagy kémiai folyamat lejátszódása során tárolják el, illetve szolgáltatják az energiát. Ezeknek a folyamatoknak megfelelő kézben tartása alapvető feladata a rendszernek. A folyamatokban rejlő potenciális tűz, áramütés és személyi sérülés kockázatának csökkentése érdekében szabványok és jogszabályi előírások ismerete és betartása szükséges.

Az épületek döntő többsége rendelkezik közcélú villamos csatlakozással. Olyan esetben, ha ilyen épületben kívánunk létesíteni olyan energiatároláson alapuló megoldást mely alkalmasszerűen szigetüzemet létesítve látja el energiával a fogyasztóink csoportját, a leválásnak üzembiztosan kell megvalósulni. Ezekben az esetekben minden körülmény mellett biztosítani kell, hogy az üzemállapot fennállásáig a közcélú hálózat irányába visszatáplálás ne történhessen. Hiszen bármely, a külső hálózaton végzett munkálatokra, beavatkozásokra - a hálózat szempontjából - fogyasztói irányú visszatáplálás, balesetveszélyes lehet.

A dinamikus változó csatlakozási mód konfigurálása történhet személyi vagy automatizált beavatkozással, azonban minden körülmények között csak úgy, hogy a téves kapcsolás kizárt legyen.

Fontos nyomatékosan hangsúlyozni, hogy a rendszer létesítésében és üzemeltetésében jogi felelősséggel tartozik a tulajdonos, a tervező, a kivitelező.

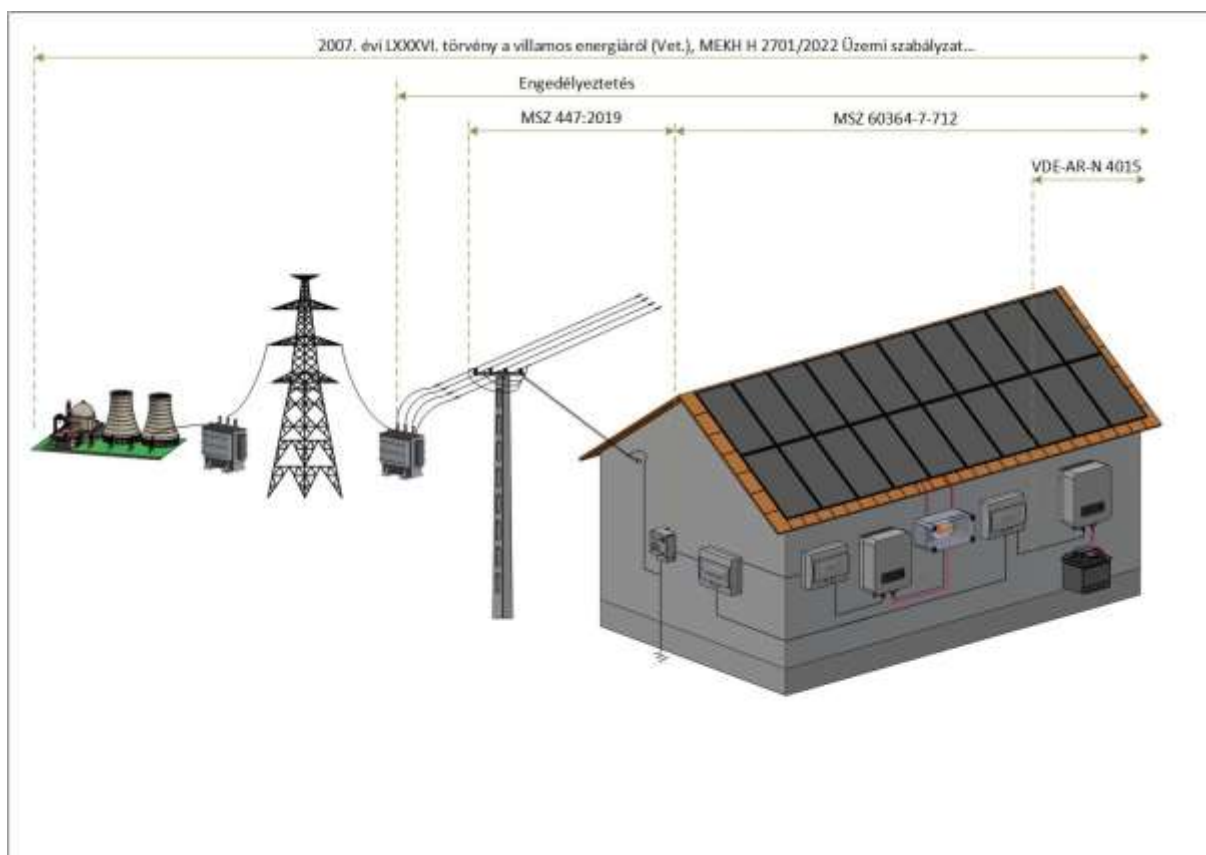
Az alapvető jogszabályi környezetet a 3. fejezet tárgyalja részletesen.

3. Energiatárolókra vonatkozó jelenlegi (műszaki) jogszabályi környezet - Ágoston Gergő

A hazai szabályozás és tarifarendszer miatt, a háztartási méretű energiátárolókat önmagukban nem értelmezzük. Tárolórendszert napelemes termeléssel együtt telepítik. Jelenlegi jogszabályi környezet:

2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról (Vet.)

273/2007. (X. 19.) Korm. rendelet a villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról (Vet. Vhr.)



19. ábra. Az egyes előírások és szabványok területi hatályának szemléltetése [saját szerkesztés]

273/2007. (X. 19.) Korm. rendelet 5. § (5) bek., továbbá 2021. július 1-jétől hatályos 5. § (5a) és a 2024. 1-jétől január hatályos 5. § (5b) bek.

(5b) A villamosenergia-kereskedő a 2024. január 1. napját követően létesített háztartási méretű kiserőmű és villamosenergia-tároló esetén kizárólag olyan elszámolást alkalmazhat, amelyben az alkalmazott elszámolási időszaktól függetlenül szaldó nem képezhető és a hálózatra betáplált és vételezett villamos energia mennyisége külön-külön kerül megállapításra.

A HMKE és a hozzá kapcsolódó háztartási méretű energiatároló berendezés is a kiserőmű hálózatra csatlakozik, ebből adódik, hogy a csatlakozási teljesítménye, illetve a felhasználási helyen rendelkezésre álló teljesítmény nem haladhatja meg az 50 kVA-t.

A HMKE telepítése terv- és engedélyköteles (de nem termelői engedélyhez kötött). Ha a kiserőmű a közcélú hálózathoz csatlakozik, akkor az elosztói engedélyes részére szükséges benyújtani az igénybejelentést és a csatlakozási dokumentációt. HMKE inverterei csak előzetesen bevizsgált és érvényes rendszerengedéllyel rendelkező készülékek lehetnek. Energiatároló berendezésekre jelenleg még nincs kiadott rendszerengedély. Azok a HMKE inverterek, amelyek műszakilag támogatják az energiatárolós üzemmódot, ugyan rendelkezhetnek rendszerengedéllyel, de azzal a kikötéssel telepíthető, hogy hibrid üzemmódban nem engedélyezett. Ennek a műszaki oka, hogy a közcélú hálózat leválasztás szabályozásának köre hiányos.

Hálózatra tápláló háztartási méretű termelő berendezés

A HMKE-nek a legelterjedtebb, legegyszerűbb, legtakarékosabb kialakításának módja, és egyben ez a jelenleg engedélyezett működési mód is. Ezt olyan inverterrel kell kialakítani, amely a szigetüzemre nem képes. Amennyiben a közcélú hálózaton megszakad az energiaszolgáltatás, az inverter leáll, még akkor is, ha energiatároló egység csatlakozik hozzá. (Battery ready solar inverter)

Szigetüzemre alkalmas háztartási méretű termelő berendezés

Szigetüzemre alkalmas rendszer jelenleg közcélú hálózatra csatlakoztatása tilos. A rendszer elvi működését tekintve közcélú hálózaton történő áramszünet esetén a hálózatról leválik, és az inverter, akkumulátor kapacitásának erejéig biztosítja a felhasználó villamos berendezéseinek egyidejű működéséhez szükséges energiáját. Az inverter a villamosenergia szolgáltatás helyreállása után visszakapcsolódik közcélú hálózatra. Az inverterek beállítási értékeinek egyenértékűeknek kell lennie a német VDE-AR-N 4015 szabvány szerinti beállításokkal.

Szigetüzemű háztartási méretű termelő berendezés

Alapvetően megújuló energiatermelésen alapuló rendszer, mely olyan méretű energiatároló berendezéssel van ellátva, hogy a megújuló termelőberendezések termelési szüneteiben autonóm módon biztosítsák a szükséges villamos energiaellátást. Ez a rendszer nem csatlakozik közüzemi hálózathoz.

Országos Tűzvédelmi Szabályzat

Az 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról és a hozzá tartozó Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek hatálya alá tartoznak a létesítmények, építmények, építményrészek. Az energiatárolással rendelkező rendszerek tűzvédelmi szempontból szükséges kialakításának követelményeit kielégítő megoldásokra a Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek 7. Villamos berendezések, villámvédelem és elektrosztatikus feltöltődés elleni védelem (azonosító 7.5:2022.06.13.) kiadásának 6.4 fejezete nyújt javaslatokat.

3.1 A tervezési és méretezés általános elvei/szempontjai - Ágoston Gergő

Háztartási méretű energiatároló egy olyan összehangolt jellemzőjű villamos szerkezetek összekötött együttese, amelyek villamos energia tárolására, visszatáplálására szolgálnak.

Ezért a tervezésnél a berendezést alkotó szerkezeteket külön-külön méretezni kell. Tervezésnél az adott létesítmény szerkezetét figyelembe kell venni.

A tervezés szerkezetre vonatkozó szempontjai:

- Villamosenergia tároló berendezés elhelyezéséhez rendelkezésre álló terület/területek kiválasztása.
- Energiatároló akkumulátorok elhelyezése lehet oldalfalra rögzítve, padlóra telepítve tartókonzolon, mindezek lehetnek kültéren vagy beltéren. [25]
- Energia átalakító berendezés (inverter) elhelyezése oldalfalra rögzítve, padlóra telepítve tartókonzolon, lehet kültéren vagy beltéren.
- Energiatároló berendezés, védelmi, leválasztó berendezéseinek elhelyezése.

Mivel az energiatároló berendezés a megújuló energia termelő berendezés időjárásfüggő termelés kiegyenlítésére szolgál, így a szükséges tárolókapacitás kiválasztásának főbb tulajdonságai a következők:

- Az energiatároló berendezés a nagyobb teljesítményigényű időszakos fogyasztók villamosenergia ellátását segítheti (pl. elektromos autótöltő berendezés).
- Az energiatároló berendezés elsődlegesen a biztonságos villamosenergia ellátásra szolgál.

A fenti tulajdonságok figyelembevételével meg kell határozni a szükséges villamos energia tárolókapacitást. Majd ennek a kapacitásnak a tárolására legalkalmasabb akkumulátort.

Egy háztartási méretű villamos energiatároló berendezés elvi villamos felépítése nagyban hasonlít a fotovoltaikus termelőberendezések felépítéséhez. (DC Napelemek helyett DC akkumulátorok vannak). Működésbeli különbségük azonban, hogy a napelemes rendszerek a megtermelt energiát a lehető legjobb munkaponton igyekeznek továbbítani, ami vagy helyben kerül felhasználásra vagy kitáplálásra kerül a hálózatba, illetve nem közölnek vissza energiát a napelemek irányába. A háztartási méretű energiatároló berendezéseknél fontos szempont, hogy az akkumulátorból kinyerhető energia csak lokálisan kerüljön felhasználásra és ne tápláljon ki a számára végtelen energiaszükségletű közüzemi hálózatba.

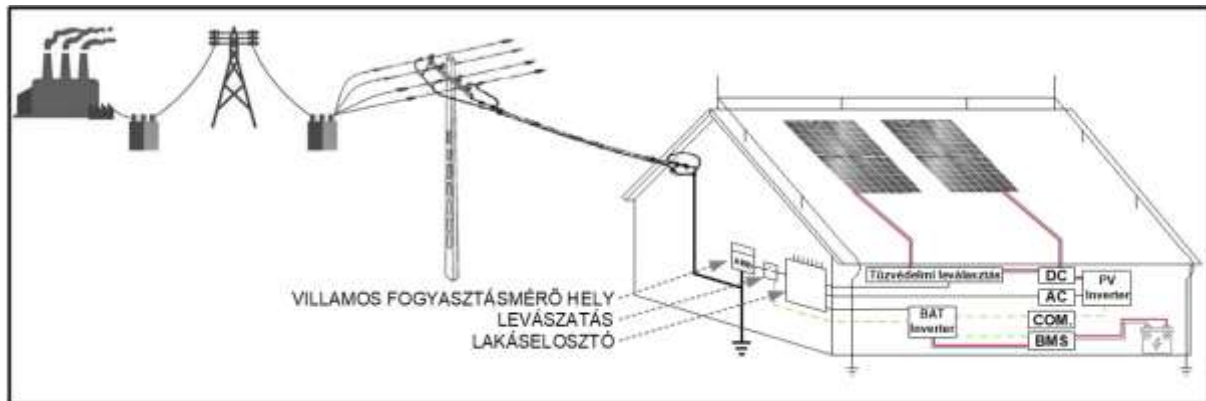
Háztartási méretű energiatároló berendezés esetében villamos szempontból az inverter villamos teljesítményének kiválasztásának a következő főbb feltételei vannak:

- Szigetüzemű rendszer esetében az inverternek a beépített fogyasztók egyidejű teljesítményét kell tudnia kiszolgálni.
- Közüzemi hálózatra csatlakoztatott rendszereknél jóval kisebb teljesítményű és kapacitású rendszer is elegendő. Ebben az esetben nem csupán villamos, hanem gazdasági számítások is bekerülnek a megfelelő méretű rendszer kiválasztásába. Ugyanakkor közüzemi hálózatra csatlakoztatott energiatároló rendszer teljesítménye nem haladhatja meg a felhasználási helyen rendelkezésre álló kapacitást. Ellenkező esetben teljesítménybővítés szükséges a nagyobb teljesítményű rendszer csatlakoztatásához.

Háztartási méretű energiatároló berendezés esetében villamos szempontból az akkumulátor villamos teljesítményének kiválasztási szempontjai:

- Szigetüzemű rendszer esetén a beépített megújuló villamosenergia termelő berendezés teljesítményétől és a várható fogyasztási igény együttes figyelembevételével kell meghatározni a tárolókapacitást úgy, hogy a kevésbé napos (téli) időszakban is elegendő kapacitás álljon rendelkezésre.
- Közüzemi hálózatra csatlakoztatott rendszereknél a napsütéses időszakok (tavasz, nyár, ősz) fotovoltaikus kiserőművek termelés nélküli óráinak számával kell számolni. Így a most mennyiségi szaldó elszámolásra méretezett háztartási méretű napelemes kiserőművek ezen tarifa megszűnése után is rentábilis módon tudnak tovább üzemelni. Azon elképzelések, hogy a nem napsütéses napokat át tudja hidalni annyiban téves, hogy a beruházás költsége többszöröse a szükséges rendszerének, illetve ha nincs vissza termelendő/tárolóba betáplálendő megújuló energia, akkor a jelenlegi tarifális környezetben gazdaságosan nem tölthető fel az akkumulátor.

Mindkét esetben az akkumulátorok kapacitásának nagysága függ a tárolási környezet hőmérsékletétől, elektrolit sűrűségétől, a kisütő áram nagyságától és annak szakaszosságától, illetve folyamatosságától.



*20. ábra. Napelemes és villamos energia tárolóval ellátott rendszer elvi felépítése
[saját szerkesztés]*

Új tarifák bevezetésével (pl.: lakossági zónaidős egységárak bevezetésével) az energiatárolók kapacitásának méretezése gazdasági, megtérülési számítások alapján újabb és nagyobb tárolókapacitást eredményezhetnek. Emellett a fogyasztók egyre energiatudatosabbá válnak, ami lehetővé teszi a további szolgáltatások bevezetését.

4. Energiatárolók megtérülését segítő (meghatározó) körülmények - Haddad Richard, Martin József, Ágoston Gergő

Egy háztartási méretű kiserőmű telepítése, üzembe helyezése jelentős beruházásnak számított. Gazdasági megtérülését állami támogatások kedvezőbbé tették. Ennek a lényege, hogy olyan elszámolási rendszerben üzemeltethető a HMKE, hogy éves szinten a megtermelés pillanatában fel nem használt, így a hálózatba táplált villamosenergia, és ugyanezen időszakra a fogyasztó által a hálózatból vételezett energia mennyiségére a szolgáltató egyenleget képez. Ezt nevezzük éves szaldó elszámolásnak. Ilyenkor a fogyasztó, csak az összes hálózatba betáplált és onnan vételezett energia költség különbségét és hozzákapcsolódó rendszerhasználati díjakat (P_{RHD}) kell, hogy megfizesse.

HMKE nélküli fogyasztók energia költségének számítási módja:

$$P_{\text{energia}} + P_{RHD} + P_{\text{csatlakozás}} = P_{\text{összes}} \quad (1)$$

$$(E_{\text{vásárolt}} \times C_{\text{energia}}) + (E_{\text{vásárolt}} \times C_{RHD}) + P_{\text{csatlakozás}} = P_{\text{összes}} \quad (2)$$

$$E_{\text{vásárolt}} \times (C_{\text{energia}} + C_{RHD}) + P_{\text{csatlakozás}} = P_{\text{összes}} \quad (3)$$

Szaldó elszámolás esetén

$$E_{\text{vásárolt}} - E_{\text{termelt}} = E'_{\text{vásárolt}} \quad (4)$$

$$(E'_{\text{vásárolt}} \times C_{\text{energia}}) + (E'_{\text{vásárolt}} \times C_{RHD}) + P_{\text{csatlakozás}} = P'_{\text{összes}} \quad (5)$$

$$((E_{\text{vásárolt}} - E_{\text{termelt}}) \times C_{\text{energia}}) + ((E_{\text{vásárolt}} - E_{\text{termelt}}) \times C_{RHD}) + P_{\text{csatlakozás}} = P'_{\text{összes}} \quad (6)$$

$$\Delta P_{\text{összes}} = P_{\text{összes}} - P'_{\text{összes}} \quad (7)$$

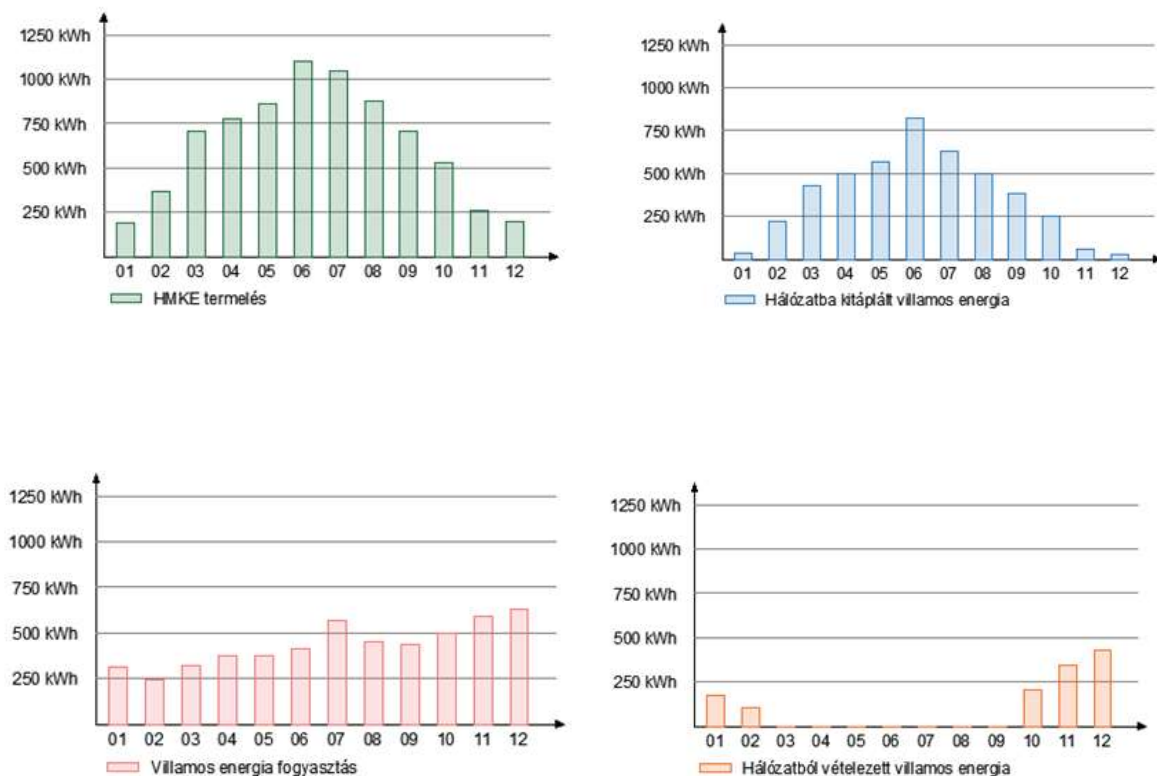
$$\Delta P_{\text{összes}} = E_{\text{termelt}} (C_{\text{energia}} + C_{RHD}) \quad (8)$$

ahol a P - az alsó indexben feltüntetett tényező költsége, E - energia mennyisége, C - az energia egységára.

Szaldó elszámolás a jelenlegi szabályozások szerint 2023.12.31-ig választható HMKE esetén. A 273/2007. (X. 19.) Korm. rendelet 2024. január 1-jétől hatályos 5. § (5b) bekezdése szerint:

A villamosenergia-kereskedő a 2024. január 1. napját követően létesített háztartási méretű kiserőmű és villamosenergia-tároló esetén kizárólag olyan elszámolást alkalmazhat, amelyben az alkalmazott elszámolási időszaktól függetlenül szaldó nem képezhető és a hálózatba betáplált és vételezett villamos energia mennyisége külön-külön kerül megállapításra. Ebben az esetben a háztartási méretű energiatároló gazdasági

megtérülése kedvezőbben alakul, illetve sokkal nagyobb szerepet kap. Ezt az elszámolási rendszert hívják bruttó elszámolási rendszernek, ahol már nem éves alapon és energiában, hanem negyedórás bontásban és költség alapon történik az elszámolás.



21. ábra. HMKE éves termelési diagramjai optimálisan méretezett energiatárolóval [saját adatokból szerkesztve]

Az 21. ábrán látszik, hogy sem a háztartások energia felhasználása, sem a HMKE termelése nem egyenletes. A téli időszak alacsony termelésének arányos része nem egyezik meg a fogyasztás csökkenésének mértékével. Ez adta a szaldó elszámolás előnyét, hiszen a nyári hónapokban megtermelt napenergia, a téli időszakban is felhasználható.

Egyértelműen azonosítható tehát, hogy a mennyiségi szaldó elszámolás megszűnése az egyik erős faktora a háztartási méretű energiatárolók terjedésének.

A másik talán jelenleg kevésbé érzékelhető irány a háztartások energia hálózatoktól függőségének csökkentése. Ezekről részletesen az 5. fejezetben lehet olvasni.

Harmadsorban az ellátásbiztonság, ezen belül a szolgáltatás kiesés miatti esetekre való felkészülés is motiválhatja a fogyasztókat, hogy energiatárolókat telepítsenek. A gázenergia robbanásszerű költség növekedése komoly terhet nyom a villamosenergia hálózatra. A fűtés és a használati melegvíz előállításának egy jelentős része várhatóan át fog terelődni a villamosenergia hálózatra.

4.1 Rentabilitást befolyásoló tényezők (gazdasági kérdések) - Ágoston Gergő, Haddad Richárd

A háztartási méretű energiatárolás gazdasági vizsgálatoknál először meg kell ismerni a makro, majd mikrokörnyezetet. [26] Mivel a jelen dokumentumnak nem célja a részletes közgazdasági okfejtés, így szigorúan véve a motivációs elemeket, illetve a megtérülés kiszámításához próbálunk segítséget nyújtani.

Makrokörnyezet elemzése esetén nehezen megkerülhető a politikai, ezen belül a geo- vagy energiapolitikai kérdések érintése. Tényként rögzíthetjük, hogy Magyarország energia importőr ország. Míg az EU átlag 2019-ben 57,9%, addig a hazai függőség 69,7% volt. [27] Ez az érték természetesen a primer energia hordozókra vonatkozik, ha tovább vizsgáljuk az adatokat a villamosenergiára (szekunder energia hordozó), akkor 2021-ben 22,73% volt az import részaránya.

Év	Termelés [GWh]	Behozatal [GWh]	Forrás összesen [GWh]	Erőművi önfogyasztás [GWh]	Hálózati veszteség [GWh]	Belföldi felhasználás [GWh]	Kivitel [GWh]	Felhasználás összesen [GWh]
2021	36 130	19 967	56 097	1 954	3 032	43 899	7 212	56 097

1. táblázat. Statisztikai adatok a 2021-es évből

A 3. fejezetben is látható volt, hogy a villamosenergia háztartásban történő felhasználása, és mondjuk a napelemes termelés nem mindig fedik egymást, így fontos cél minden saját energiaforrás felhasználása, lehetőleg a felhasználáshoz a legközelebb. Az egyik motiváció ebből adódóan az energiafüggőség csökkentése, amely makroökonómiai szinten értelmezhető, de a fogyasztó számára közvetlenül nem érzékelhető.

A jövőbeli tarifa rendszerek, ha változnak, és megjelennek kifejezetten energiatárolásra optimalizált ajánlatok, akkor ezt fel lehet használni a rentabilitás számításához.

Okostarifák kialakításának lehetősége kedvezően hatna a villamos energia rendszerek rugalmasságára, amelynek egyik eszköze az energiatárolás. Ez akár hazánkban is bevezetésre kerülhetne, mivel van már európai példa.

Time Of Use (TOU) árképzése. Lényege, hogy a villamos energia ára a nap folyamán nem állandó, hanem több különböző tarifával rendelkezik, például:

- Csúcsidőszak
- Csúcson kívüli időszak
- Mélyvölgy időszak

A villamos energia ára csúcsidőszakban a legdrágább, csúcsidőszakon kívül olcsóbb, mélyvölgy időszakban a legolcsóbb.

A mélyvölgy időszakban megvásárolt villamos energia nem lehet olcsóbb a megújuló termelőberendezés által a hálózatba visszatáplált villamosenergia vételi áránál. Ezáltal a fogyasztókat arra tudják ösztönözni, hogy az energiatárolókat a rendeltetészerű használat mellett üzemeltessék és az energia fogyasztását tudatosan alakítsák.

A TOU-n kívül vannak más lehetséges tarifák működési módok:

Flat Rate Tariff (FRT): a villamos energia ára állandó, de a rendszerszintű szabályozásban való részvételért cserébe alacsonyabb a normál áránál. Ha nem is táplálunk vissza a hálózatba, akkor is az energiatároló kapacitásával csökkenthető a villamos energia fogyasztási igényünk a hálózat felől.

Real Time Pricing (RTP): A fogyasztó által fizetendő energiaár óránként vagy gyakrabban változhat, a nagykereskedelmi árakhoz igazodva. Az aktuális árak egy napra vagy egy órára előre vannak jelezve a fogyasztó okos rendszerében.

Variable Peak Pricing (VPP): ez a tarifa az RTP és a TOU tarifa előnyeinek az együttese.

A másik motivációt befolyásoló makro jelenség a szaldó rendszerhez kapcsolódó elszámolási mód. A jelenlegi szaldó rendszer, egy olyan támogatási rendszer része, amely lehetővé teszi a villamosenergia hálózat energiatárolóként történő felhasználását díjmentesen, úgy hogy mindemellett elérhető a piaci áránál lényegesen kedvezőbb egyetemes lakossági szolgáltatói villamosenergia ár. Így a szaldó rendszer, rentabilitási oldalról, erősen fékezi a háztartási méretű energiatároló rendszerek terjedését.

Ezek alapján látható, hogy jelenleg a makrofolyamatok összességében nem segítik a háztartási méretű energiatárolók terjedését.

A mikrohatások rentabilitást befolyásoló tényezőit a következő részekre bonthatjuk:

- Fogyasztó egyedi villamosenergia felhasználási szokása
- Ellátási- és szolgáltatási szint igény
- Elérhető technológia megoldások, szállítók
- Elosztó hálózati üzemeltetők együttműködése
- Piaci villamosenergia árak

Rentabilitás számítás menete:

Fontos meghatároznunk, hogy a beruházáshoz milyen Állandó költség (K_A) és milyen Változó költség tartozik (K_V). Állandó költség jellemzője, hogy nem függ a mérettől,

döntéssel nem befolyásolható. Míg a változó költség a mérettől függő, és döntéssel változtathatjuk. Az összes költség (K_0) az állandó és a változó költség összege.

Fontos bevezetni az Optimális termelési méret fogalmát, amely szerint gazdaságilag az a méret optimális, amelynél a növeléshez tartozó többlet költség még nem haladja meg a többlet értéket.

A beruházáshoz szükséges egy pénzforgalmi típusú mutatót (cash flow) számítani, a nettó jelen érték számítás módszerével.

$$H = \sum_{t=0}^n (P_t - K_0) D^t \geq 0$$

ahol n év alatt jelentkező hozadék (**H**), a beruházást megelőző időpontra (**D**) diszkontáljuk a bevételek (**P**) és a kiadások (**K**) különbségét.

Itt lehet még éves beruházás megtérülési mutatót számolni (**ROI**)

$$ROI = \frac{\text{Éves nettó bevétel}}{\text{Beruházás költsége}} \times 100\%$$

Az energia tárolóhoz kapcsolódó nettó jelenérték (**NPV**) számítása:

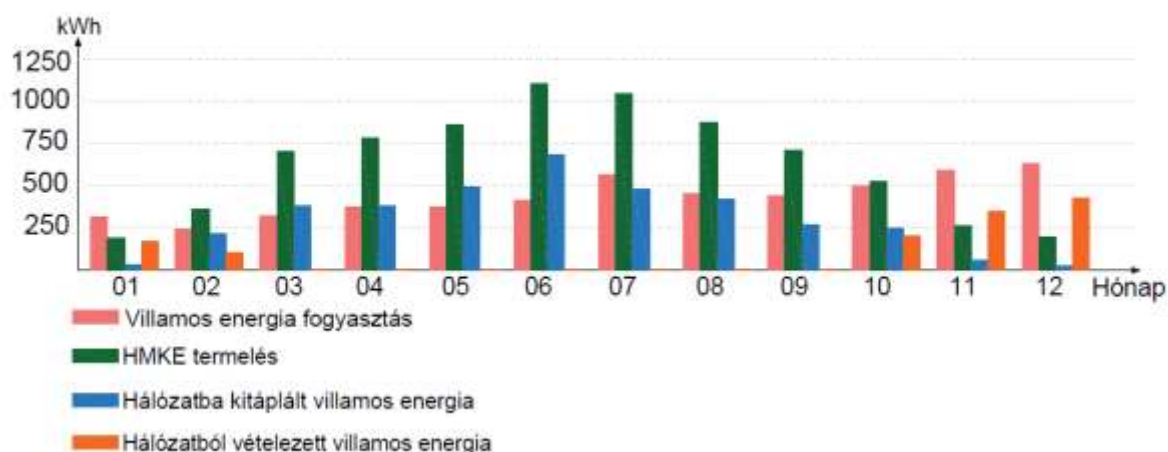
$$NPV = -B + \sum_{i=1}^n (b_i - k_i) \times \frac{1}{q^i}$$

ahol a **B** a beruházás értéke, a **b** a bevételek i -ik évben, a **k** a kiadások i -évben, a **q** a banki kamat i -edik évben, **n** pedig az évek száma. A pozitív **NPV** érték hoz gazdasági értelemben hasznot számunkra. Sajnos olyan tényezők, mint a folyamatos ellátás nehezen forintosítható.

4.1.1 Elosztói hálózat üzemeltetői szemszögből

Az energiaárak fokozatos növekedésével összefüggésben a felhasználók oldaláról elindult egy jelentős mértékű beruházás, többnyire villamos energia felhasználásán alapuló fűtési rendszerek kialakításában.

Háztartási méretű energiatárolókkal nem lehet kiegyenlíteni a téli hónapokban megnövekvő villamos energia fogyasztást és ugyanakkor lecsökkenő fotovoltaiikus villamosenergia termelést. Ez azt jelenti, hogy azon fogyasztók, akik a szaldó elszámolásban maradnak a fűtési időszakban továbbra is az elosztói hálózatot használják „energiatárolóként”.



22. ábra. Éves szaldó elszámolásban többletet termelő energiatárolós rendszer diagramjai [saját szerkesztés]

Téli hónapokban a villamos energia fogyasztás nagyobb, mint a fotovoltaiikus termelés. Tároló kapacitás növelése nem megoldás erre a problémára.

Komoly érdekellentét húzódik a Fogyasztó által telepített háztartási méretű energiatároló kapacitásának felhasználásában. A teljesítmény elektronikai alapú villamosenergia termelők (inverterek) áramgenerátorként “nyomják” be a hálózatra a megtermelt, de fel nem használt villamosenergiát. Ennek elektrotechnikai alapja, hogy a feszültséget megemelik. Az egyidőben termelő és egymáshoz közel telepített inverterek a szabványossági határig emelhetik csak a feszültséget. Ezután az inverterek lekapcsolnak, azaz nem termelnek. Ezt az energiát célszerű eltárolni a Fogyasztónak egy energiatároló rendszerbe. Az eltárolt energia felhasználása a fogyasztó számára az egyedi igényhez, míg az elosztó esetén a hálózati viszonyhoz igazodik. Könnyen belátható, hogy ez a két érdek időben eltérhet egymástól.

Mivel a beruházás tulajdonosa a Fogyasztó, így saját érvrendszere szerint a haszon is őt illeti meg, így a felhasználás időzítés joga is itt van. Ha viszont a háztartási méretű energiatárolás a HMKE telepítéséhez van kötve, azaz az Elosztó a hálózati feszültség viszonyok kiegyenlítésére kívánja használni, úgy az energiaáramlás irányításának joga átkerül a DSO-hoz. Konkrét pályázati példán mutatjuk be ezt a kialakult furcsa helyzetet:

Lakossági napelemes rendszerek támogatása és fűtési rendszerek elektrifikálása napelemes rendszerekkel kombinálva pályázatok esetén (RRF-6.2.1-2021) [28] kötelező tevékenység között megtalálható az akkumulátoros tároló felszerelése, amely nélkül a pályázat nem vehető igénybe. Az így támogatott napelemes rendszer akkumulátoros energiatárolóval az alábbi minimális műszaki specifikációnak kell megfelelnie:

- 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.
- A beépítésre kerülő villamosenergia tárolót az ingatlanban lakó háztartás általános (a fűtésen kívüli) villamosenergia fogyasztására szükséges optimalizálni.

A pont definiálja, hogy egy külső szereplő hozzáfér a betárolt kapacitásunkhoz, és azzal rendelkezik.

5. Kitekintés a SMART GRID koncepcióra, ezen belül az energiatárolók szerepére – Haddad Richárd, Martin József

5.1 SMART GRID bevezető gondolat

A világ energiafelhasználása folyamatosan növekszik. Számos ország felismerte már a klímaváltozás bolygónk jövőjét veszélyeztető drámai hatásait, és ezért egyre nagyobb szerepet kapnak a megújuló energiaforrások, amelyeknek ökológia lábnyoma a teljes életciklusra vetítve előnyösebb, mint a fosszilis energiahordozók hatása. Az energiahordozók versenyében a villamos energia került ki győztesen (tisztaság, egyszerű felhasználás, szállíthatóság), a villamos hálózatok szerepe megnőtt. Az **okos hálózatok (smart grids)** jelentik a jövő energia hálózatát, melyek különböző információs és telekommunikációs technológiák segítségével gyűjtött információkon keresztül (szolgáltatói és a fogyasztói szokásairól), automatikusan segítik a hálózat működésének hatékonyságát, megbízhatóságát, gazdaságosságát és fenntarthatóságát. [29] [30]

5.2 Smart Grid, a vízió születése

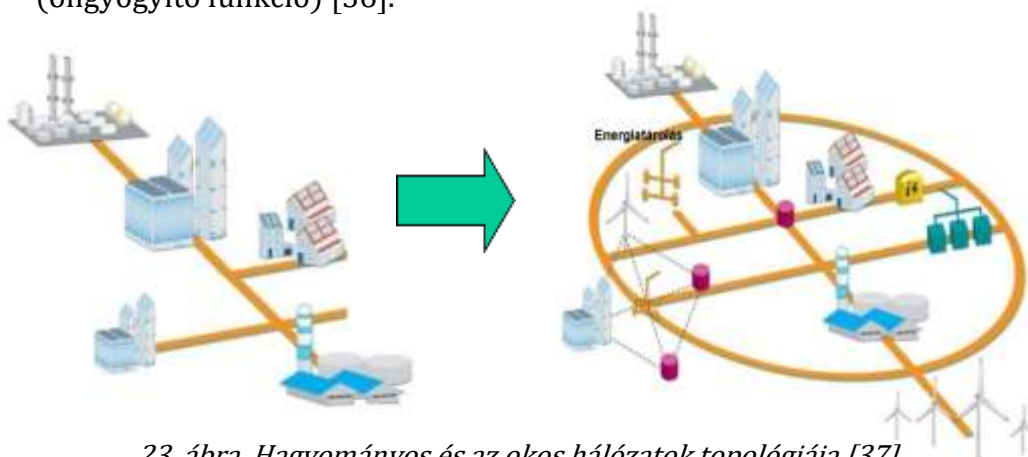
A megújuló energiaforrásokból nyert villamosenergia növekvő részaránya és a modern termelési rendszerek által támasztott feltételek nagy kihívás elé állították a villamosenergia-rendszerek üzemeltetőit, hiszen a közel 30-50 évvel ezelőtt megtervezett hálózatoknak még egészen más feltételeknek kellett megfelelniük. A hagyományos nagy energia termelő erőművektől a szállító, majd elosztó rendszereken keresztül a fogyasztói igények a rendszerirányítás szempontjai szerint átláthatóbbak, míg az elosztó rendszereken lévő feszültség viszonyok könnyebben számíthatóak voltak.

Az Európai Bizottság 2006-ban tette közzé a Stratégiai Energiatechnológiai Tervében (Strategic Energy Technology Plan – SET Plan), hogy mekkora potenciált lát, és természetesen vár el, a különböző megújuló energiahordozók és a kombinált hő- és villamosenergia (CHP) rendszerek elterjedésében. A tervszámokból már kitűnt, de 2020 évre beigazolódott, hogy a beépített hálózati kapacitások nem elegendőek ekkora teljesítmények továbbítására. Ebből adódóan szükségessé vált az európai áramhálózat korszerűsítése, megújítása, melynek érdekében létrehoztak egy szakértői csoportot, akik 2005 és 2008 között kidolgozták és munkájuk eredményeként közzétették a **jövő áramhálózatának vízióját, amit „Smart Grid”-nek neveztek el.**

A **Smart Grid** egy olyan energiahálózat, amely „okosan” integrálja a hozzá csatlakozó összes objektum – termelő, tároló fogyasztó és/vagy mindkét szerepet betöltő – tevékenységét, a fenntartható, gazdaságos, hatékony és megbízható energiaellátás biztosítása érdekében. [31] [32]

Az okos hálózatok olyan innovatív termékeket és szolgáltatásokat alkalmaznak az intelligens felügyeleti, vezérlési, kommunikációs és önszabályozási technológiák mellett, melyekkel megvalósítható [33], hogy

- lehetőség legyen új típusú fogyasztók kiszolgálására (pl. elektromos autó töltők),
- különböző nagyságrendben (kW-GW) és technológiával energiát termelő egységek csatlakozhassanak és üzemeljenek a hálózaton,
- az hálózat üzemeltetése hatékonyabbá váljon [34],
- a fogyasztóknak lehetőségük legyen részt venni az üzemvitel optimalizálásában [35] (pl. Demand Side Management¹),
- a fogyasztóknak több információjuk és nagyobb választási lehetőségük legyen a villamosenergia beszerzésénél,
- a teljes energiaellátási rendszer környezeti kihatása csökkenjen,
- az energiaszolgáltatás megbízhatósága, minősége és biztonsága növekedjen (öngyógyító funkció) [36].



23. ábra. Hagyományos és az okos hálózatok topológiája [37]

5.3 Okoshálózatok alapelemei

A jövő villamosenergia ellátása a **központi erőművek** és a **decentralizált energiaforrások** kombinációjaként fog megvalósulni. Ezt hívjuk energia mixnek. Természetesen mindkét esetben preferáltabb a megújuló energia felhasználása azzal a különbséggel, hogy pl. egy napelemparknak vagy szélparknak akár a MW tartományban van a kapacitása, míg egy háztartási méretű kiserőmű átlagosan 8,47 kW nagyságú. Az elosztott energiaforrások méretüket tekintve max. 10 MW-osak, és elhelyezésük szerint a fogyasztók közelében vannak, ezért az energiaszállítással járó veszteségeik is jóval kisebbek.

A központi termelés továbbra is fontos szerepet fog kapni, de a termelésben, átvitelében, elosztásában és a rendszer üzemeltetésében sokkal több szereplő vesz majd részt, és ami jelentős változás még, hogy ebben a rendszerben nagy szerep fog hárulni a

¹ fogyasztói befolyásolás

végfelhasználókra. Ennek tükrében az okoshálózatok definiálásaként a következő alapelemek megléte, megvalósítása a cél:

1. Műszaki megoldások olyan eszköztárát kell kialakítani, mely lehetővé teszi a decentralizált termelések gyors és költséghatékony bekapcsolását a meglévő villamosenergia hálózatba anélkül, hogy a kritikus üzemi értékeket (mint pl. a frekvencia, feszültség, átviteli teljesítmény) veszélyeztetné.
2. Megteremteni annak lehetőségét, hogy új eszközöket és modern automatizálási és védelmi eszközöket sikeresen lehessen kombinálni a már meglévő hagyományos üzemviteli berendezésekkel.
3. A szabályozási és kereskedelmi keretfeltételek harmonizációjának biztosításával lehetővé váljon Európában a villamosenergia és a kiegészítő szolgáltatások (Pl. energiatárolás) határokon túli kereskedelme.
4. Meg kell alkotni azokat a szabványokat és irányelveket, amelyek lehetővé teszik különböző gyártók termékeinek alkalmazását, elkerülve annak veszélyét, hogy a felhasználók egy-egy szabadalmaztatott, védett alkalmazás csapdájába esnek. Értendő ez a hálózati berendezésekre, mérő-, vezérlő- és védelmi eszközökre.
5. Olyan információs és telekommunikációs rendszerek kifejlesztése, ami innovatív megoldások használatát teszi lehetővé és növeli a szolgáltatások hatékonyságát a fogyasztók felé.

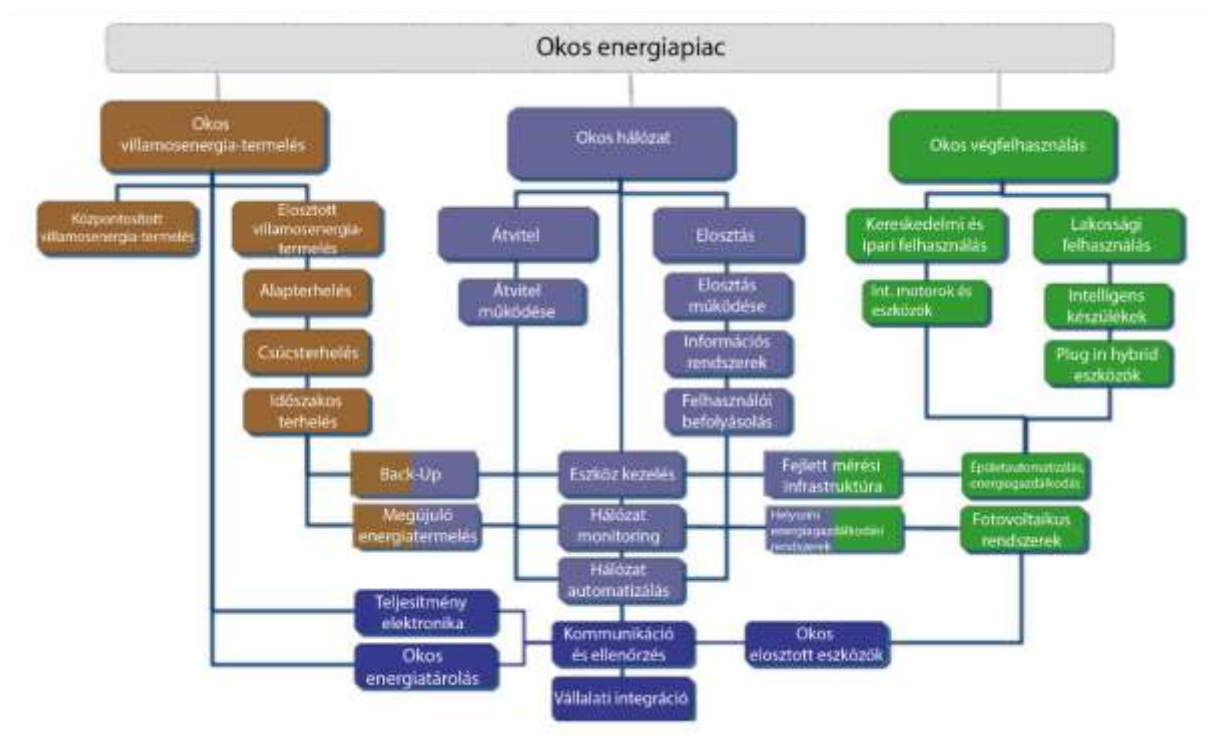
5.4 A jövő villamosenergia termelése

Mint ahogyan azt már az előzőekben is megállapíthattuk, a jövő villamosenergia termelésében nagy számban vesznek majd részt a decentralizált energiaforrások, melyek jórészt időjárásfüggőek, így időben és mennyiségben is nagyon ingadozó energia betáplálására képesek. Ezek a berendezések a hagyományos centralizált erőművekkel párhuzamosan termelnek a hálózatra. [31] [32] Könnyen belátható és értelmezhető a probléma, amellyel a rendszerirányító szembesül. A konvencionális erőművek által a hálózatba szállított villamosenergia jól tervezhető, míg a decentralizált kiserőművek ingadozó, szakaszosan érkező termelést szolgáltatnak. A menetrendtartás, a villamosenergia szolgáltatással szemben támasztott követelmények nem vagy csak nagy veszteségekkel elégíthetők ki. A koordinált energiatermelés, terhelésmenedzsment és szabályozás elengedhetetlen elemei a megbízható villamosenergia szolgáltatásnak. [38] [39] [40]

Megoldás a villamosenergia koordinált termelésének és fogyasztásának a megvalósítására az lehet, ha a rendszer vezérlésének egy részfeladatát a decentralizált

erőművek és az általuk ellátott fogyasztók közelébe helyezük ki, azaz a rendszer egyensúlyt kis területekre próbáljuk összpontosítani. Ez a kihelyezett vezérlési funkció hivatott a központi diszpécser-vezérlés utasításait fogadni és ennek megfelelően a körzetébe tartozó egységeket vagy csoportokat vezérelni. Ezen kis hálózatokat hívjuk microGridnek, ami lehet egy 700-800 lakásos lakópark, nagyobb bevásárlóközpont, vagy ettől kisebb hálózatok esetén, mint egy kisebb lakóparknál, nanoGridről beszélünk. [38] [39] [40]

Példával illusztrálva ezt a következő módon képzelhetjük el: egy háztartás energiafelhasználását vezérlő egység információt kap az aktuális energia tarifáról, az energia- és hőigényről, az energiatároló töltöttségi állapotáról. Ezeket összeveti további paraméterekkel, melyek jöhetnek időjárás előrejelzőtől vagy valamilyen mesterséges intelligenciával ellátott egységtől. Ezen információk birtokában dönt a háztartás fogyasztóinak optimalizálásáról, pl. hűtőszekrényeket, hőtárolós kályhákat, kompresszorokat kapcsol be vagy ki. [38] [39] [40]



24. ábra. Okos energia piac szereplői, területei és eszközei [41]²

² szerkesztve a kötet szerkesztője által

5.5 Energiatárolás

Az eneriatárolás szükségessége smart grid rendszerekben

A **micro grid** rendszerek tagjai, hasonlóan egy **energiaközösséghez** saját maguk termelik meg az szükségleteik fedezésére szolgáló energiát. A közösség közös villamos hálózatra csatlakozik, melyre az egyes **villamos-energia termelő és fogyasztó** egységek csatlakoznak. A rendszer megfelelő működéséhez egy intelligens központra van szükség (microGrid vezérlő), mely begyűjti az adatokat az egyes egységektől, azokat megjeleníti a helyi beavatkozó (diszpécser) számára, illetve esetlegesen továbbítja a felettes rendszerirányító felé. A közösség saját hálózatát célszerű nagy energia hálózatra csatlakoztatni, mellyel biztosítható a stabilitás, illetve szükség esetén a villamosenergia vételezése vagy éppen az értékesítése. Annak érdekében, hogy a microGrid hálózat energia egyensúlya biztosított legyen, elengedhetetlenül szükséges, hogy maga a smart grid rendszer is rendelkezzen egy jól méretezett **energiatároló** kapacitással. Képzeljük csak el, ha minden olyan esetben, amikor a smart grid rendszerben energia hiány vagy többlet keletkezik és ilyen esetekben a külső hálózat „beavatkozását” várjuk el, mennyire kiszámíthatatlan, szinte kaotikus helyzetbe sodornánk a rendszerirányítót. Ezen felül felesleges többletköltségeket, instabilitást okoznánk a villamosenergiaellátó-rendszerben. Röviden azt mondhatjuk, az energiatarolók szükségességét smart grid rendszerekben az indokolja, hogy a kétirányú energiaáramlás megfelelően szabályozható és tervezhető legyen. Az okos hálózat központi vezérlője mesterséges intelligencia segítségével értékeli és tárolja a beérkező adatokat, elvégzi a termelés és fogyasztás előrejelzését, majd a feladatnak megfelelően előállítja az energiataroló és a többi vezérelhető egység számára az optimális vezérlési igényeket. [42] [43]

5.6 Energiaközösségek

Európában már több évtizedes múltra tekintenek vissza az energiaközösségek és energia együttműködések. [44] Ezért az Európai Bizottság külön jogi keretrendszert alakított ki, amit Magyarország is implementált a 2020. évi CLXXVI. törvény 26.§ (1) bekezdésében.

Magyarországon néhány helyen már elindultak a kistélepülési energiaközösségek. Ezekben többségében a közösség több tagja napelemes termeléssel rendelkezik. A háztartások a szokásos 3-10 kW-os méretben épültek ki. A közösségek mérési és elszámolási, valamint a szükséges irányítástechnikai rendszerei, illetve a közösség és a területileg illetékes DSO diszpécser központ között kiépítendő infokommunikációs kapcsolat még fejlesztés alatt áll.

Az EU-s irányelv (2018/2001/EU direktíva) szerint egy energiaközösség olyan jogi személy,

- amely az alkalmazandó nemzeti joggal összhangban nyitott és önkéntes részvételen alapul, önálló, ténylegesen tagjainak vagy részvényeseinek irányítása alatt áll és a tagok, illetve részvényesek a szóban forgó jogi személy tulajdonában álló és általa fejlesztett megújuló energia projektek közelében találhatók;
- amelynek részvényesei, illetve tagjai természetes személyek, kkv-k vagy helyi hatóságok, ideértve az önkormányzatokat is;
- amelynek elsődleges célja nem profit termelése, hanem az, hogy környezeti, gazdasági, szociális;
- közösségi szempontból részvényesei, tagjai, illetve működési területének környéke javát szolgálja.

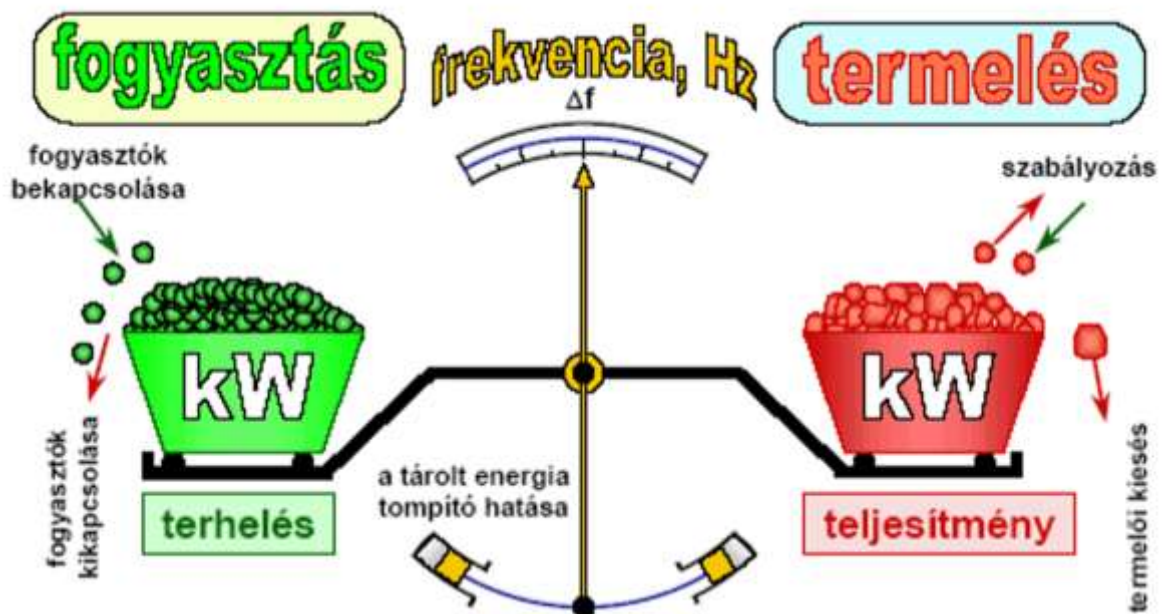
Természetesen egy energiaközösségi rendszer nem működtethető megfelelő irányítási és elszámolási rendszer nélkül.

Összegezve: az energiaközösség alapvetően egy társadalmi alapon szerveződő non-profit társaság, amely olyan lehetőségeket kínál a tagok között, mint az elektromos autók töltése, többlet energia átadása. Elsődleges célja, hogy kölcsönös segítséget nyújtson a közösség tagjainak, a megtermelt megújuló energia minél magasabb részarányának felhasználásához. Ezen együttműködés célja lehet a tárolókapacitások kölcsönös biztosítása. Itt persze nem csak az akkumulátor alapú energiatárolásra kell gondolni, hanem olyan együttműködésre is, ahol az okos otthon berendezései (bekészített okos mosógép, mosogatógép) ütemezetten kerülnek felhasználásra.

5.7 Demand Side Management

Demand Side Management (DSM) sokaknak ismerős lehet, hiszen ez egy igen felkapott szakszó. De sokan nem tudják, hogy Magyarország már a '80-as években elkezdte, csak akkor még körvezérlési rendszernek hívták.

A DSM válasz mindarra a problémára, amit jelen dokumentum is tárgyal.



25. ábra. Együttműködő villamosenergia rendszer szimbolikus működése [45]

Ha a villamosenergia rendszert egy mérleghez hasonlítjuk, akkor látható, hogy ha eltér a terhelési és a termelési igény, akkor a rendszer egy másik frekvenciára tér át, aminek következtében együttműködő villamosenergia rendszer esetén az eltérő frekvenciájú termelők között lengő kiegyenlítő energia indul el, amelyet a hálózat képtelen átvinni, és ezáltal teljesen szétesik.

DSM rendszerekben megkülönböztetünk passzív és aktív befolyásolást. A passzív befolyásolás célja az energiahatékonyságon keresztül csökkenteni a felhasznált energiamennyiséget.

Az aktív DSM rendszereknek több szintjét ismerjük. Az egyik nagy csoportja az indirekt aktív DSM, ahol például tarifás rendszereken keresztül végzünk fogyasztói befolyásolást. Azaz, a fogyasztó dönt arról, hogy magasabb áron is hajlandó adott időszakban elfogyasztani az energiát. Ennek fejlettebb változata a valós idejű dinamikus tarifa, amikor is nem egy előre ismert időtábla szerint történik a tarifa szabályozás, hanem a rendszerben elérhető energiák határozzák meg a tarifa díját. Ilyenkor a fogyasztó is felajánlhat a rendszer számára olyan terhelést, amely igény szerint megszakítható, így a fogyasztói igényváltozás nem csak pozitív, hanem negatív irányban is értelmezhetővé válik. [46] A korábban tárgyalt microGriddek intelligens (vezérelt) fogyasztói is az indirekt aktív fogyasztói befolyásolás alá tartoznak.

A másik nagy csoport a direkt aktív DSM. Ide sorolhatók a korábban említett körvezérlési rendszer elemei (HKV- Hangfrekvenciás KörVezérlés, RKV- Rádiófrekvenciás

KörVezérlés). Magyarországon közel 1,5 millió olyan háztartás található, ahol a használati melegvíz előállítása körvezérlésen keresztül bojlerekben történik. Ezek a rendszerek ma a hazai DSO-k kezelésében vannak. Léteznek direkt aktív DSM rendszerek rendszerirányítói (MAVIR) kezelésben (FTK, FKA)

6. A háztartási léptékű hidrogénes energiatárolás - Csordás Antal

6.1 Bevezetés a hidrogén technológiába

A hidrogénben történő energiatárolás irányában erősen megnőtt az érdeklődés az utóbbi években, főleg az egyre inkább a mindennapi életünkre is kihatással lévő klímaváltozás és az EU energiaellátásának – fájdalmas módon egyértelművé vált – kiszolgáltatottsága miatt. Bár már 10 évvel ezelőtt is megvolt a technológia a hidrogén megújuló energiákból történő előállítására és villamos energiává visszaalakítására, de ezek a technológiák az utóbbi években egyre jobban kommercializálódtak, javultak a berendezések műszaki paraméterei és olcsóbbá vált az előállításuk. Mindezek a tendenciák együttesen vezettek oda, hogy ma már kevesen kételkednek abban, hogy a hidrogén jelentős szerepet fog játszani a (közel)jövő energiagazdálkodásában.

Sajnos azonban még nem érett annyira a technológia, hogy 1-2 éven belül a hidrogénes energiatárolás robbanásszerű elterjedésére lehessen számítani. A támogatással elindított megawattos projektek mellett a lakossági szintű megoldások még nem kifizetődők, ár-érték arányuk nem versenyképes az akkumulátoros tárolókkal szemben. A berendezések tömeggyártása még kezdeti fázisban van vagy még el sem jutott odáig. A hidrogénnel szembeni félelmek és bizalmatlanság, plusz a jogi, szabályozási háttér hiánya pedig nagyon megnehezíti az ilyen berendezések telepítését és üzemeltetését.

Viszont a már Magyarországon is elindult nagyprojektek, mint az [Akvamarin projekt](#) [47], amiben a Magyar Földgáztároló Zrt. 2.5MW-os elektrolizálórendszert telepít a Kardoskúti Földalatti Gáztárolónál, és amihez a Ganzair szállítja az amerikai Plug Power elektrolizálóit, felgyorsíthatják a hidrogén-technológiák magyarországi elterjedését.

6.2 A hidrogén előállítása

A hidrogén előállítására alkalmas elektrolizálók többféle technológia szerint működhetnek. A hagyományos alkáli elektrolizálók (ALK) kálium- vagy nátrium-hidroxid vizes oldatának segítségével bontják a vizet hidrogénre és oxigénre. Előnyük a kiforrott, bizonyított technológia, és az olcsó komponensek. Hátrányuk a rugalmatlanság a ki-bekapcsolások tekintetében, a termelt gázok tisztításához szükséges drága berendezés, és az erősen lúgos elektrolitból eredő veszélyforrás.

A PEM tüzelőanyag-cellákhoz hasonló felépítésű PEM elektrolizálók nem folyékony elektrolitot tartalmaznak, hanem egy szilárd polimer membrán szolgál ionvezetőül, amit általában platina-alapú katalizátorral vonnak be a reakció felgyorsítása érdekében.

Előnyük a termelt gázok nagyobb fokú tisztasága (elég egy szárító a „szennyező” víz eltávolítására), az atmoszférakust jóval meghaladó termelési nyomás (15-40bar), valamint a gyors üzembe állás (feléledés), és ezáltal a ki-bekapcsolások számának kevésbé korlátozott mértéke.

A legújabb technológia az előző kettő előnyeit ötvözi, ez az AEM, ami a PEM-hez hasonlóan egy membránt tartalmaz ionvezetőként, de nem protonvezető membránt, hanem negatív töltésű anionokat (OH^-) átengedő membránt. Az ilyen technológiájú elektrolizálók olcsóbb komponensekből épülnek fel, mint a PEM-elektrolizálók, de ugyanúgy gyors feléledési idővel rendelkeznek és tisztább, nagyobb nyomású gázokat termelnek, mint a hagyományos alkáli technológiájúak.

Az elektrolizálók hatásfokát kW/Nm^3 mértékegységben szokták megadni, ami az 1 (normál) köbméter hidrogéngáz előállításához szükséges villamos energiát adja meg. Ez a mai elektrolizálók esetében $4\text{-}5\text{kW}/\text{Nm}^3$ tartományban mozog, technológiától függetlenül, ami 60-80% hatásfokot jelent.

Az elektrolizáló-cella egyenáramról táplált, de ez a komplett berendezéstől függően 1- vagy 3-fázisú AC-hálózatról vagy közvetlenül DC betáplálásról is működhet.

A hagyományos alkáli elektrolizálók nagyobb méretekben igazán gazdaságosak. Az ilyen technológiájú, a **háztartási méretnek megfelelő**, kiskapacitású elektrolizálók ($<2\text{-}3\text{Nm}^3/\text{h}$ termelési kapacitással) piaca nagyon szűk, az árak és a méretük sem igazán versenyképes.

A legtöbb kiskapacitású elektrolizáló PEM-technológiát használ. Ilyenek a [NEL Hydrogen S-sorozatú elektrolizálói](#) [48], a [McPhy small line ranges elektrolizálói](#) [49], vagy a [Quintech labor-elektrolizálói](#) [50]. Sajnos ez a piac nemhogy szélesedne, inkább szűkült az elmúlt pár évben. Több gyártó beszüntette a kiskapacitású berendezései gyártását és ráállt a megawattos méretekre, mivel ezekre is óriási a kereslet, és kisebb energiabefektetéssel lehet nagyobb profitot generálni, mint a lakossági projektekkel. Ilyen az ITM Power (ITM-Linde ma már), a PlugPower vagy a Hydrogenics.

Az egyik legígéretesebb **háztartási méretű modell** a német [Enapter cég EL 4.0-s](#) [51] modulja, ami az olasz Acta AEM technológiáját hasznosítja, tovább fejlesztve, egy kisméretű, moduláris és olcsó elektrolizálónak.

Az EL 4.0-ból létezik mind folyadék-, mind léghűtéses változat, és táplálható 230VAC/50Hz hálózatról vagy 48VDC forrásból (48-60VDC). A teljesítményfelvétele 2.4kW, aminek a felhasználásával $0.5\text{Nm}^3/\text{h}$ kapacitással állít elő maximum 35bar nyomású hidrogén gázt.

Az elektrolizálók által termelt hidrogén mennyiségét korlátozottan lehet csak szabályozni. Technológiától és modelltől függően akár a maximális termelés 10%-ig is csökkenthető, de nem tesz jót, ha túlságosan gyorsan és sokat változtatjuk az intenzitást, „rángatjuk” az elektrolizálót. Ezért szükség van egy kisméretű pufferre (például akkumulátor telepre), ami a feleslegben jelenlévő villamos energia tárolására szolgál, ahonnan azután az elektrolizáló viszonylag egyenletes intenzitással üzemeltethető. Ennek megfelelően egy hidrogénes energiatároló rendszer leginkább hibrid-formában, akkumulátoros energiatárolóval kiegészítve működik optimálisan.

A szükséges akkumulátor mennyiségét a várható felesleg-energia-fluktuációból lehet kikövetkeztetni. Érdekes úgy számolni, hogy az elektrolizáló naponta 1-2-szer induljon csak be és minimum 1-2 órát üzemeljen folyamatosan (a legkisebb kapacitással számolva), mert az indítási-leállítási folyamat ugyan gyorsabb és rugalmasabb a PEM és AEM technológiáknál, mint az ALK elektrolizálóknál, de a ciklusok száma itt is korlátozott, néhány 1000 körül mozog, és ezt általában még a gyártók sem definiálják pontosan.

Legegyszerűbb esetben, úgy számolhatunk, hogy az akkumulátor puffer 95%-ot meghaladó töltöttsége esetén induljon el az elektrolizáló és 85% alatt álljon le. Ha ekközben folyamatosan felesleg energia is termelődik, akkor az elektrolizáló akár hosszútávon is működhet (pl. napokig), ha viszont nem termelődik energia, akkor a puffer kapacitása tegye lehetővé az elektrolizáló minimum 1 órás üzemelését a 95-85% közötti 10%-nyi energiából, a minimumra visszaszabályozás mellett. Vagyis nagyságrendileg az elektrolizáló minimális termelési kapacitásához tartozó villamos teljesítményének 10h-ra vetített energiatartalmának megfelelő akkumulátorkapacitás szükséges. Ez a 2.4kW-os, 60%-ig visszaszabályozható, EL 4.0 esetén például 14.4kWh akkukapacitást jelent.

Az akkumulátor kapacitása természetesen nemcsak az elektrolizáló energiaigényét kell, hogy kiszolgálja, hanem pufferként szolgál a letárolt hidrogénből újra villamosenergiát előállítani képes tüzelőanyag-cellás berendezésnek is. Itt is többféle stratégia képzelhető el a villamosenergia termelő berendezés üzemeltetésére, de a legegyszerűbb eset, ha egy bizonyos puffertöltöttség alatt (pl. 50%) bekapcsol a tüzelőanyag-cella, és egy magasabb értéknél kikapcsol (pl. 60% felett). Itt is szempont, hogy az áramtermelő berendezés egyenletes teljesítményleadás mellett képes legyen legalább 1 órát folyamatosan üzemelni.

Mivel az akkumulátorban a villamos energia eltárolása, majd onnan a visszanyerése jóval kedvezőbb hatásfokon történik (>95%), mint a hidrogénben tárolás esetén (<30%), ezért a hidrogénhez nyúlni mindig a legutolsó esetben érdemes: csak akkor termelni, mikor az akkumulátorba már csak kevés energia betáplálható, és akkor felhasználni, amikor az akkumulátor már erősen lemerült.

6.3 A hidrogén tárolása

Az elektrolizálók egyik paramétere, hogy milyen nyomáson állítják elő a hidrogént. Ez a termelési folyamat sajátja, tehát komprimálás sem szükséges az adott nyomás eléréséhez. Az elektrolizálók többségénél (főleg a PEM és AEM típusoknál) ez 15-40bar közötti értéket jelent, ami már alkalmas arra, hogy közvetlenül töltsünk vele közepes nyomású tárolótartályt (40-50bar-os tartályt).

Egy 20m³ térfogatú, 35bar nyomású gáz tárolására szolgáló tartályban körülbelül 60kg-nyi hidrogén tárolható, ami kb. 2000kWh energiatartalmat jelent. Ennek természetesen csak egy hányada hasznosítható villamos energiaként, például PEM-tüzelőanyag-cellás rendszerekben tipikusan 35-40%. Ez a mennyiség már tekinthető szezonális energiatárolónak egy háztartás esetén. Természetesen nem minden háztartásban fér el egy 20m³-es gáztartály. Ha 2m³-es tartályban gondolkodunk, az még mindig elég egy háztartás 1-2 heti villamos energia igényének a fedezésére.

Ha ennél kompaktabb tároló szükséges, akkor érdemes 200bar-os gázpalackokban gondolkodni, ami akár egyedi palackok, akár palackköteg (bündel) használatát jelentheti. Egy 50l térfogatú, hagyományos acélpalackban, 200bar nyomáson körülbelül 0.8kg hidrogén tárolható, amiből ~10kWh villamosenergia termelhető 40% hatásfokú, tüzelőanyag-cellás rendszerben. Egy 12db palackból álló Bündelben ennek a 12-szerese, ami 50%-kal több, mint az előzőekben említett 2m³-es, 35bar-os tárolás esetében volt.

Egy tárolótartály költségének (főleg, ha rozsdamentes acélból készül) egy bérelt acélpalack költsége a töredéke, és a palackkal kapcsolatos, időszakos felülvizsgálati kötelezettség sem a használót terheli, hanem a palack bérbeadóját, aki általában valamelyik gázszállító cég.

A 200bar-on történő tárolás nagy hátránya viszont, hogy kompresszor szükséges a gázpalackok töltéséhez. Ez egyrészt csökkenti a rendszer végső hatásfokát, miután a komprimáláshoz is energiabevitel szükséges, másrészt erősen megbonyolítja és megdrágítja a rendszert, miután a kompresszornak kell egy kis puffertartály (pl. 40bar-os), amiből dolgozik, és esetleg szükséges a meghajtásához sűrített levegő, miután a robbanásbiztos kivitel miatt az egyik kézenfekvő megoldás a pneumatikus meghajtás a villamos vagy robbanómotoros helyett. Ehhez pedig egy további (pneumatika) kompresszor szükséges, ami a hidrogéntárolótól távol működhet csak, és így hosszú csővezetéken keresztül juttatható el a munkalevegő a hidrogén-komprimálás közelébe. Egy ilyen komprimáló kiépítése 20-30%-kal növelheti a teljes rendszer költségét.

6.4 Energiatermelés hidrogén felhasználásával

A hidrogén háztartáson belüli felhasználására 3 lehetőség kínálkozik:

- gázkazánban hőtermelésre,
- tüzelőanyag-cellában villamosenergia termelésre,
- tüzelőanyag-cellában (vagy gázmotorban) kombinált hő- és villamosenergia termelésre.

A várakozások ellenére nem a hidrogén gázkazánban történő hagyományos elégetése a piacon legkönnyebben elérhető, sok cég kínálatában már megtalálható technológia. Ennek az az oka, hogy a hagyományos, földgázüzemű kazánok nem alkalmasak közvetlenül hidrogén elégetésére, és az utóbbi évekig nem is foglalkoztak a kazángyártók ezzel a lehetőséggel. Azonban a közelmúltban, a klímaváltozás hatásainak csökkentésére irányuló törekvések eredményeként olyan célok lettek nemzetközi szervezetek által megfogalmazva, amiknek az eléréséhez minél előbb szükséges lesz a gázkazánok alkalmassá tétele hidrogén-üzemre. A [Nemzetközi Energia Ügynökség \(IEA\) 2021-es javaslata](#) [52] például azt tartalmazza, hogy 2025-től ne lehessen hagyományos gázkazánokat értékesíteni, csak olyanokat, amik alkalmasak hidrogén-üzemre. Több cég is foglalkozik hidrogénre alkalmas kazánok és bojlerok fejlesztésével, és néhány prototípus már mintaprojektekben üzemel szerte a világban. A [Remeha Hydra nevű kazánja](#) [53] 2019 óta tesztüzemben működik Hollandiában, ahol 25 ház központi fűtését oldja meg részben hidrogénnel, miután a helyi szabályozás nem teszi lehetővé, hogy 8%-nál nagyobb arányban használjanak hidrogént fűtésre. A hidrogént a már kiépített, helyi gázhálózaton keresztül szállítják a háztartásokba, demonstrálva, hogy a földgázhálózat alkalmas a hidrogén szállítására is. [Szakemberek szerint](#) [54] a ma piacon lévő kazánok és bojlerok mind képesek akár 20%-nyi hidrogént tartalmazó földgázkeverékkel is működni. Ezt nevezik H₂-blend-ready-nek is, ami különbözik a H₂-readytől, ami akár tiszta hidrogénnel is működni képes eszközt jelent. Ilyen, H₂-ready bojlert fejlesztett ki például a Worcester Bosch Angliában.

Mivel a kazánok és bojlerok elsősorban a közüzemi gázhálózatról tápláltak, ezért a megújuló energiafeleslegből termelt hidrogénnel való betáplálásuk azt igényli, hogy a hálózati csővezetékbe bele lehessen csatlakoztatni a helyi hidrogéntárolót, és kontrollált módon hozzá lehessen keverni a hidrogént a hálózathoz vételezett földgázhoz. Erre a feladatra még nincsen bevett gyakorlat Magyarországon. A földgázhálózatba kevert hidrogén kérdésével csak mostanában kezdtek el intenzíven foglalkozni a gázhálózatot és gáztárolókat üzemeltetők Magyarországon, úgyhogy a felmerülő technikai problémák feltérképezése még zajlik, várhatóan több év múlva juthatunk csak el oda, hogy hidrogént tápláljunk a földgázhálózatba. Alternatív megoldás lehet, ha a háztartás gázellátása átkapcsolható a külső hálózatról a belső hidrogéntárolóra, viszont ebben az esetben tiszta

hidrogén kerül a gázkészülékekbe, amiknek erre fogadóképesnek kell lenniük (100% H₂-ready).

Ugyanez a helyzet a kombinált hő- és villamosenergia termelésre szánt tüzelőanyag-cellás uCHP-k (mikro Combined Heat and Power System) esetében is. Itt azonban olyan szempontból kedvezőbb a helyzet, hogy ezek a készülékek már mind képesek tiszta hidrogénnel is működni, a tüzelőanyag-cella természetéből fakadóan.

A háztartási méretű, tüzelőanyag-cellás áramtermelés területén szerencsére sokkal nagyobb a piaci kínálat, mint a hidrogéntermelésnél említett háztartási méretű elektrolizálók esetében. Itt a csupasz tüzelőanyag-cellától a komplett plug-and-play berendezésig minden megtalálható a piacon.

A legismertebb tüzelőanyag-cella gyártók, a teljesség igénye nélkül, a Ballard Power Systems, a Hydrogenics (Cummins), a Horizon Fuel Cell Technologies és természetesen az autóiipari óriáscégek, mint a Toyota vagy a Hyundai. Ezek a cégek árulnak csupasz tüzelőanyag-cella stacket (stack: cellaköteg, több, sorbakötött cella egybeépítve, mint egy akkumulátorban), de a BOP-nek nevezett rendszert is magában foglaló, már önálló működésre alkalmas berendezéseket is (Ballance Of Plant - a cella üzemeléséhez szükséges kiegészítő elemek együttese). Emellett természetesen vannak adott alkalmazásra kifejlesztett komplett tüzelőanyag-cellás berendezések is, mint szünetmentes tápegységek, hordozható áramfejlesztők vagy éppen targonca-tápok.

A tüzelőanyag-cellák között vannak olyanok, amelyek csak áramtermelésre és olyanok is, amelyek kombinált ciklusú, hő- és áramtermelésre (kogeneráció) is alkalmasak. A különböző típusú cellák közül háztartási kogenerációra (mikro-kogeneráció, uCHP) a legelterjedtebb PEM cellák, valamint az SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) cellák használhatók. A többi típus általában csak a nagyobb teljesítmény tartományokban versenyképes (>100kW).

A PEM és az SOFC-n alapuló készülékek között alapvető különbség a működési hőmérséklet: míg a PEM cellák 60-80°C (LT-PEM) vagy 120-200°C (HT-PEM) működnek, addig az SOFC cellák 800-1000°C-on. Ennek megfelelően az SOFC cellák jóval „lomhábbak”, lassan indulnak el, évente csak 1-2 indulási/leállítási folyamatot tesznek lehetővé és nem szeretik a terhelésingadozásokat. Viszont a magas hőmérséklet miatt közvetlenül képesek földgázt vagy reformálással nyert, szennyezőgázokat is tartalmazó hidrogént felhasználni az áram- és hőtermeléshez. Ezzel szemben a PEM cellák rugalmasabbak a fogyasztói terhelés-ingadozásokkal szemben és többszáz vagy ezer indítási és leállítási ciklust is képesek kiszolgálni, viszont csak hidrogénnel képesek működni és kényesek a tisztaságára. Ennek megfelelően, mivel természetesen ma még követelmény, hogy ezek a berendezések földgázzal is üzemeljenek, a PEM-es uCHP-k

tartalmaznak egy reformert is, ami szétbontja a földgázt alkotó gázokat és kinyeri belőlük a hidrogént. (Ez az SOFC-ben is megtörténik, de nem külső reformerben, hanem a magas hőmérsékletű cellában magában.)

A tüzelőanyag-cellás, mikro-kogenerációs készülékek piacán ugyanazok a gyártók vannak jelen, akik a földgáz-kazánok piacán is: Buderus, Viessmann, BDR Thermea Group stb. A modelljeik közül az SOFC típusok nagyobb villamos hatásfokkal működnek (~60%), mint a PEM-esek (~40%), de mindegyiknek kb. 1kW a villamos teljesítménye. A jelenleg elérhető modellek esetében az SOFC-n alapuló típusok 40-90.000 óra és 10-15 év élettartamot, a PEM-es típusok pedig 70-80.000 óra és 20 év élettartamot ígérnek. Az években kifejezett élettartam azért magasabb a PEM-en alapuló modellek esetében, mert ezeket olyan üzemre tervezik, hogy fél napig működnek, majd fél napig állnak, így az üzemórában kifejezett élettartamhoz képest jóval kedvezőbb az évekre vetített élettartamuk. Erre az SOFC-s változatok nem képesek, folyamatosan képesek csak üzemelni, néhány ki-bekapcsolással a teljes életciklusuk során.

A tüzelőanyag-cellás uCHP-k 230VAC kimenettel rendelkeznek, ami a szolár inverterekhez hasonlóan, szinkronizál a hálózatra, ezért uCHP telepítése esetén is szükséges kétirányú fogyasztásmérő felszerelése.

A tisztán áramtermelésre szánt, tüzelőanyag-cellás berendezések, főleg a telekommunikációs piacra készült, back-up áramforrások, mint például a kanadai [Ballard FCgen-H2PM modulja](#) [55], ami 1.7kW-os és 5kW-os teljesítményekben létezik. Ezek léghűtéses, 48VDC kimenetű egységek, amikhez opcionálisan szuperkondenzátor-alapú energiapuffer is tartozik. A PowerCell svéd gyártó PowerCellution családjába tartozó, [Power Generation System 5](#) [56] egy szintén a 48VDC tartományba eső, de nem stabilizált kimenettel rendelkező, 5kW-os berendezés, amihez külső folyadékhűtőkör szükséges, hogy leadja a névleges villamos teljesítmény mellett keletkező ~7.5kW-nyi veszteséghőt, ami így akár fűtéshez is felhasználható, akárcsak a uCHP-k esetén. A PlugPower cég [Gensure Low-Power](#) [57] családjába a 200W-tól a 2500W-ig terjedő teljesítménytartományba eső egységeket tartalmaz, amelyek mindegyike 24VDC vagy 48VDC kimenettel rendelkezik. Ezek a berendezések időszakos üzemelésre szántak, szemben a folyamatos üzemű uCHP-kel, így az élettartamuk is rövidebb azokénál: a PowerCell 10.000 óra, a Ballard 25.000 óra élettartamot, a PlugPower pedig 30.000 órát ad meg a back-up berendezéseire.

Több olyan tüzelőanyag-cella stack is kapható a piacon, amelyeket a gyártó nem szerel fel a működéshez szükséges kiszolgáló egységekkel (például hidrogén gázelőkészítő, levegőellátó vagy hőmérséklet menedzsment alrendszer) – összefoglalóan BOP-rendszer). Ezeket még ki kell egészíteni az üzemeléshez szükséges alkatrészekkel és ki kell alakítani a működésüket felügyelő vezérlést. Ilyen csupasz stackek a [Ballard FCgen-](#)

[1020ACS családjába](#) [58] tartozó, back-up alkalmazásokra szánt, léghűtéses stackek vagy a [Nedstack FCS-sorozatú, folyadékhűtéses stackjei](#) [59]. Egyszerűbb rendszerbe illesztést tesznek lehetővé azok a tüzelőanyag-cellás modulok, amiknek a BOP rendszerét a gyártó részben már a stackbe integrálta. Ilyen a [Hydrogenics \(Cummins\) folyadékhűtéses HD moduljai](#) [60] vagy a [Horizon Fuel Cell H-családja](#) [61], amelybe léghűtéses stackek tartoznak. Ahogy az elektrolizálóknál már szó volt róla, a tüzelőanyag-cellás berendezések is a folyamatos üzemelést és a stabil teljesítmény-leadást igénylik. Bár a PEM-es berendezések több ezer újraindítást is elviselnek, lehetőleg minimalizálni kell a berendezések ki-bekapcsolási ciklusait az élettartam maximalizálása érdekében. A tüzelőanyag-cellák áramtermelése, szintén az elektrolizálókhoz hasonlóan, nem szabályozható vissza nullára: hosszútávon, fogyasztás nélkül üzemeltetve őket, csökken az élettartamuk. Típustól függően ez minimum 5-10%-os teljesítményhatárt jelent a névlegeshez viszonyítva.

Emiatt a tüzelőanyag-cellás berendezéseket is ki kell egészíteni energiatároló pufferrel, ami a fogyasztó által igényelt dinamikus teljesítményváltozásokat ki tudja szolgálni, hogy a cellára csak az egyenletes átlagteljesítmény kiszolgálása háruljon. Leggyakrabban szuperkondenzátorokból vagy akkumulátorokból áll a puffer, esetleg ezek kombinációjából. A puffer feladata az is, hogy amennyiben szigetüzemben működik a rendszer és nem tud elégséges energiát biztosítani az elsődleges termelőforrás (pl. a napelem), akkor a fogyasztók folyamatos ellátását biztosítsa addig, amíg a tüzelőanyag-cella elindul és képessé válik a névleges teljesítményének leadására. Ez egy akkumulátoros rendszer esetén általában nem kritikus kérdés, de ha szuperkondenzátorok alkotják csak a puffert, akkor kalkulálni kell a szükséges telepkapacitást, ami a cella feléledéséhez szükséges áthidalóidő (általában 1-5 perc) erejéig biztosítja a fogyasztók ellátását.

7. Energia elosztó és tároló rendszerek irányító szoftverei – Ady László, Dr. Tokody Dániel

7.1 Számítógépes feladat feldolgozás mérnöki megközelítése

A mérnöki feladatok megoldása során a számítástechnikai rendszerek eszközök, amiket az adott probléma – pl.: a háztartási méretű energiatermelés és fogyasztással járó változások lekövetése során – megoldásához fel lehet használni. Minden esetben a teljes rendszernek csak egy részét képezik le ezek a megoldások is. Ezért mindig egy nagyobb rendszer részeként kell tekinteni ezeket a megoldásokat. Természetesen a számítástechnikai eszközöknek elévülhetetlen eredményei vannak a minőségi automatizálás területén. Viszont tervező, üzemeltető személyzet és fizikai összeköttetések nélkül nem megvalósítható a megfelelő működés.

Ebből következik, hogy több tudományterület szakembereinek együttműködése szükséges egy megfelelően működő rendszer létrehozásához, és a folyamatban résztvevő szakembereknek egy egységes módszertant és nyelvezetet kell alkalmazniuk.

Energia elosztó és tároló rendszerek irányítórendszerinek létrehozása magas szinten négy részre bontható:

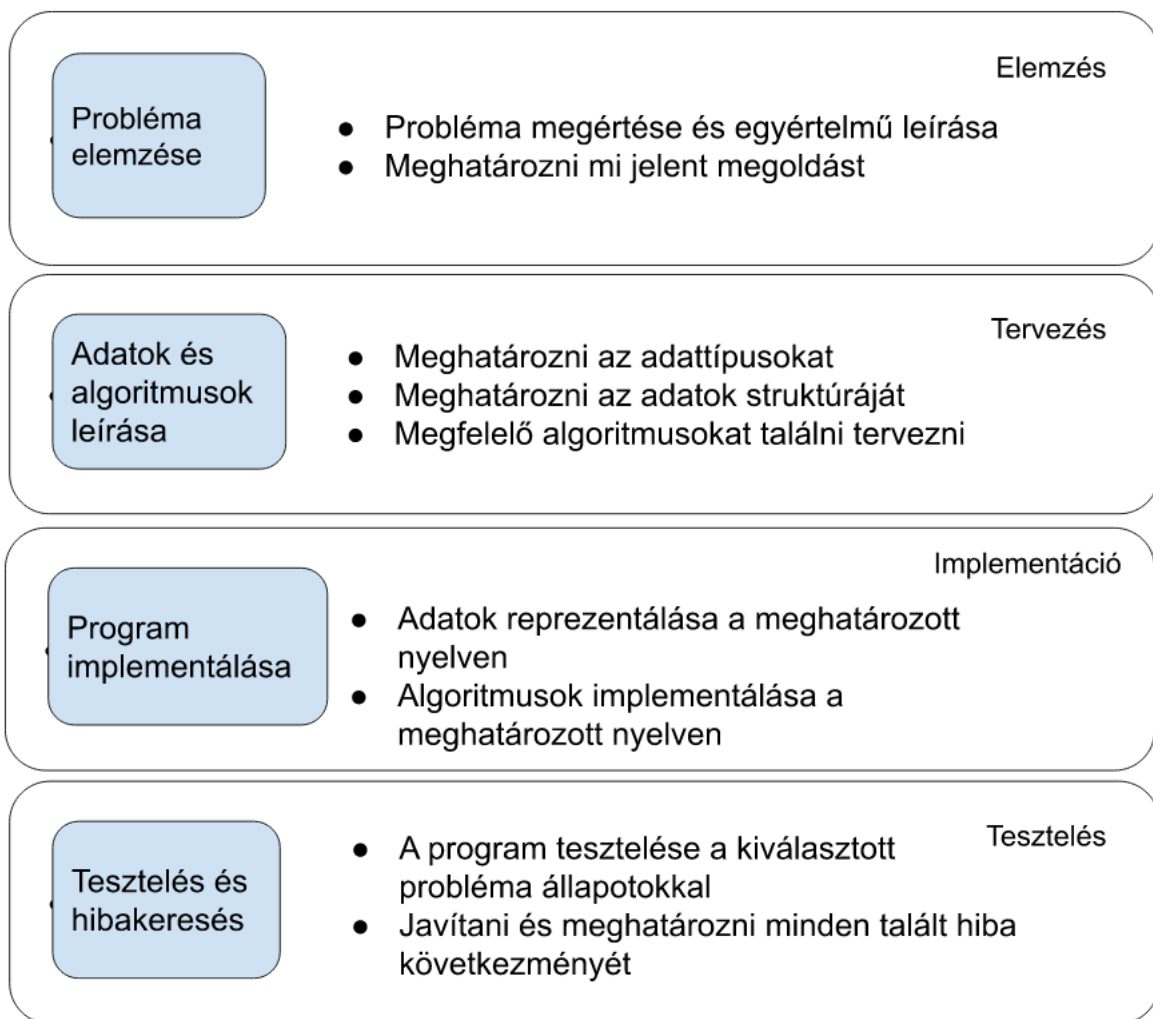
- elemzés,
- tervezés,
- implementálás,
- tesztelés.

Az elemzés során minden résztvevő által érthető módon kell a problémát megfogalmazni és az elérhető információkat összegyűjteni. Meg kell határozni egy koncepciót, amivel a probléma megoldása lehetséges.

A tervezés során a problémát kisebb részekre kell bontani és ehhez megoldásokat rendelni. Meghatározni a részrendszereket, a részrendszerek közötti kapcsolatokat. A részrendszerek közötti kapcsolatok jellemzésénél ki kell térni az adatok fajtájára, a gyakoriságára és az értelmezhetőségére. Meg kell határozni a részrendszerek hogyan dolgozzák fel a bemeneti adatokat, a kimeneti adatokat milyen formában, gyakorisággal és élettartammal állítják elő.

Az implementálás során a tervekben szereplő részrendszerek létrehozása és integrálása történik.

Tesztelés során a részrendszereket s azok együttműködését tesztelik előre meghatározott módon. A feltárt hibákat dokumentálják, vizsgálják és eldöntik a szükséges lépéseket.



26. ábra. Számítógépes feladatmegoldás az energia elosztó és tároló rendszerek irányítórendszerinek létrehozása során [62]

7.2 Energetikai rendszerek modellezése

Az energetikai rendszerek szoftvereinek tárgyalása során elengedhetetlen megismerni az energetikai rendszereket rendszertechnikai és modellezési szempontok szerint. A szoftverfejlesztés során szükséges meghatározni a be- és kimenteket. A bemenet és a kimenet között fennálló kapcsolat precíz leírását kell létrehoznunk. Ez alól a lágy számítási módszerek alkalmazása se tekinthető teljes kivételnek. Ott ugyan a pontos kvantitatív leírás nem szükséges, de a bemenet és kimenet ismerete és a közte lévő kapcsolat minőségének ismerete elengedhetetlen a megfelelő lágy számítási módszer kiválasztásához és tanításának elvégzéséhez.

7.3 Energetikai rendszerek leírása

A vizsgált energetikai rendszerek elosztott, réteges felépítésű rendszerként épülnek fel. Energiatárolás nélkül az alsóbb szintek a felsőbb szintek energia ellátásától függenek. Az energiatárolás mértékétől függően az alsóbb réteg képes függetleníteni magát a felsőbb rétegekről. Réteges rendszerek felépítése során egy tervezői döntés, hogy a rétegek

egymástól mennyire függenek és a felsőbb rétegek hiányában az alsóbb rétegek milyen szolgáltatásokat legyenek képesek ideiglenesen vagy tartósan fenntartani.

Automatizálás során a rendszer megbízhatóságát és rendelkezésre állását nagy mértékben növeli, hogy ha az alsóbb rétegek a felsőbb réteg kiesése esetén is képes a funkcióját (esetleges megkötésekkel) ellátni.

7.4 Elosztott rendszerek

Az önálló résztvevők olyan összessége, amely a rendszerrel kapcsolatban lévők számára egyetlen koherens rendszernek tűnik.

Vagyis a rendszerrel kapcsolatban lévő, a rendszer szolgáltatását felhasználó a rendszer számára szolgáltatási igényt küld és a rendszer a múltbeli, aktuális, és vélt jövőbeli rendszerállapot alapján adaptívan a rendszerben elérhető résztvevők együttműködésével igyekszik az elérhető leghatékosabb módon ezt megvalósítani.

A rendszer elosztottságából fakadóan a rendszerben van bizonyos redundancia, egy-egy elem kiesése nem okozza a rendszer teljes működésképtelenségét.

Ilyen fajta működés eléréséhez több elérhető stratégia áll rendelkezésre. A modern rendszerekre jellemző, hogy több egymástól elkülönülő részrendszerek integrációjából épülnek fel. Az energia ellátó rendszerek is ilyen rendszerek.

8. Irodalomjegyzék

- [1] Gabriella, Lukács, „Energiatárolás”, Infojegyzet 2019/15., máj. 2019. [Online]. Elérhető:
https://www.parlament.hu/documents/10181/1789217/Infojegyzet_2019_15_energiatarolas.pdf/28e0dbc3-aa0e-13b7-8f81-b2d60ceca9e5
- [2] „Energiatárolás – Wikipédia”.
<https://hu.wikipedia.org/wiki/Energiat%C3%A1rol%C3%A1s> (elérés 2022. október 9.).
- [3] Pintér, Gábor, „POWER-TO-GAS TECHNOLÓGIAFEJLESZTÉS JELENTŐSÉGE A MAGYAR ENERGIATÁROLÁS TÜKRÉBEN”, 2019. március 28. Elérés: 2022. október 9. [Online]. Elérhető: <https://public.ekcer.hu/~pressure/1hp2g/prezentaciok/pinter.pdf>
- [4] Gerse K., *Energiatárolók*. Akadémiai Kiadó, 2020. doi: 10.1556/9789634544937.
- [5] Európai Unió, „Az energiatároláshoz nyújtott uniós támogatás”, ápr. 2019. Elérés: 2022. szeptember 17. [Online]. Elérhető: https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/BRP_ENERGY/BRP_ENERGY_HU.pdf
- [6] „FewSchmidtGambhir_ElecEnergy-storage_GBP.pdf”. Elérés: 2022. október 9. [Online]. Elérhető: https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/37495/2/FewSchmidtGambhir_ElecEnergy-storage_GBP.pdf
- [7] C. Kovács és K. Ferenczi, „Electricity Storage Insight”, sz. 0604, o. 20, 2016.
- [8] Berta, Miklós, „Komplex energetikai rendszerek - Energiatárolás”, 2018. április 10. [Online]. Elérhető: http://www.sze.hu/~bertam/Komplex_energetikai_rendszerek/09_Energiat%C3%A1rol%C3%A1s.pdf
- [9] European Commission, „Energy storage – the role of electricity”, SWD(2017) 61 final, febr. 2017. Elérés: 2022. szeptember 16. [Online]. Elérhető: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/swd2017_61_document_t_ravail_service_part1_v6.pdf
- [10] Gál, Marcell, *Tanulmány a villamos energia tárolás részletes bemutatására, technológiák összehasonlítására, valamint szőkésességének indoklása a megújuló energia termelés arányának növekedésével*. Budapest: XDSL Informatikai Kft., 2012. [Online]. Elérhető: <http://www.gesc.sk/wp-content/uploads/2016/08/Tanulm%C3%A1ny-a-villamos-energia-t%C3%A1rol%C3%A1s-r%C3%A9szletes-bemutat%C3%A1s%C3%A1ra-technol%C3%B3gi%C3%A1k-%C3%B6sszehasonl%C3%ADt%C3%A1s%C3%A1ra-valamint-sz%C3%B6ks%C3%A9g%C3%A9nek-indokl%C3%A1sa-a.pdf>
- [11] „Europe’s energy crisis conundrum”, *European Union Institute for Security Studies*, 2022. január 28. <https://www.iss.europa.eu/content/europes-energy-crisis-conundrum> (elérés 2022. október 9.).
- [12] „Europe’s energy crisis hits science”. 2022. szeptember 7. doi: 10.1126/science.ade7830.
- [13] „EU: monthly electricity prices by country 2022 | Statista”. <https://www.statista.com/statistics/1267500/eu-monthly-wholesale-electricity-price-country/> (elérés 2022. október 9.).

- [14] „Energy poverty”. https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-consumer-rights/energy-poverty-eu_en (elérés 2022. október 9.).
- [15] World Energy Council, „Five steps to energy storage”, 2020. [Online]. Elérhető: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Five_steps_to_energy_storage_v301.pdf
- [16] S. Arzoyan, „Future Business Cases for Chemical Storage Technologies in Switzerland”, o. 77, 2017.
- [17] European Commission, „Energy Storage – Proposed policy principles and definition”, 2016. Elérés: 2022. szeptember 16. [Online]. Elérhető: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2016-06/Proposed%2520definition%2520and%2520principles%2520for%2520energy%2520storage_0.pdf
- [18] Csizmadia, Zoltán és Rechnitzer, János, *Az önvezető járművek világa*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- [19] Balaton, Károly, *Stratégiai és üzleti tervezés*. Akadémiai Kiadó.
- [20] „DIRECTIVE (EU) 2018 2001 OF THE EUROPEAN P.pdf”. Elérés: 2022. október 16. [Online]. Elérhető: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
- [21] G. Contributor, „Analysis: Impact of the Ukraine crisis on Europe’s energy markets”, *Enlit World*, 2022. február 24. <https://www.enlit.world/regions/europe-uk/analysis-impact-of-the-ukraine-crisis-on-europes-energy-markets/> (elérés 2022. október 16.).
- [22] „Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal”. http://www.mekh.hu/download/1/a7/11000/HMKE_2022Q1_v5.xlsx (elérés 2022. október 16.).
- [23] „Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal”. <http://www.mekh.hu/nem-engedelykoteles-kiseromuvek-es-haztartasi-meretu-kiseromuvek-adatai> (elérés 2022. október 15.).
- [24] „Tűzvédelmi Műszaki Irányelv TvMI 7.5:2022.06.13.” Elérés: 2022. október 15. [Online]. Elérhető: <https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2022-04/78644.pdf>
- [25] S. Kocsis Szürke, A. Dineva, S. Szalai, és I. Lakatos, „Determination of Critical Deformation Regions of a Lithium Polymer Battery by DIC Measurement and WOVA Filter”, *Acta Polytech. Hung.*, köt. 19, sz. 2, o. 113–134, 2022, doi: 10.12700/APH.19.2.2022.2.7.
- [26] „Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of th... - EUR-Lex”. <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/internal-market-in-electricity-from-2021.html> (elérés 2022. október 16.).
- [27] „Energiainport-függőség – Fenntartható fejlődési célok”. <https://www.ksh.hu/sdg/3-35-sdg-7.html> (elérés 2022. október 16.).
- [28] „RRF_6_2_1_felhivas_mod_220304.pdf”. Elérés: 2022. október 16. [Online]. Elérhető: https://ujvilagcdn.azureedge.net/public/RRF_6_2_1_felhivas_mod_220304.pdf
- [29] Sajtófigyelés, „MEKH: 1000 MW fölé emelkedett a háztartási kiserőművek beépített teljesítménye”, *Magyar Napelem Napkollektor Szövetség*, 2021. december 8. <http://mekh.hu/mekh-1000-mw-fole-emelkedett-a-haztartasi-kiseromuvek-beepített-teljesitmenye> (elérés 2022. október 16.).

- [30] „EU Natural Gas - 2022 Data - 2010-2021 Historical - 2023 Forecast - Price - Quote”. <https://tradingeconomics.com/commodity/eu-natural-gas> (elérés 2022. október 16.).
- [31] T Molnár, J. Pálfi, P. Holcsik, „Research of a solar panel park’s impact connected to a public network in the interest of optimal electricity supply”, in *XXXIII. KANDÓ KONFERENCIA 2017: „Kandó a tudomány hajóján”*, Budapest, 2017, o. 98-98.
- [32] R. Istók, „Solar system with electric vehicle charging capabilities”, in *XXXVII. Kandó Konferencia*, Budapest, 2021, o. 123-130. [Online]. Elérhető: <https://konf2021.kvk.uni-obuda.hu/sites/default/files/xxxvii-kando-konferencia-kiadvanya-2021-v1.pdf#page=124>
- [33] I. Szén és G. Morva, „Smart metering and the Ripple Control System”, Brno University of Technology, 2010.
- [34] P. Holcsik és mtsai., „Management of Smart Switchboard Placement to Enhance Distribution System Reliability”, *Energies*, köt. 13, sz. 6, o. 1406, márc. 2020, doi: 10.3390/en13061406.
- [35] Á. Goldschmidt, Á. Madarász, Z. Balázs Máté, J. Pálfi, és Z. Mitrik, „Smart Home”, Budapest.
- [36] P. Komarnicki, P. Lombardi, és Z. A. Styczynski, *Elektrische Energiespeichersysteme: Flexibilitätsoptionen für Smart Grids*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021. doi: 10.1007/978-3-662-62802-7.
- [37] Vokony István, „Smart gridek rendszerintegrációs feltételei”, 2012. [Online]. Elérhető: <https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/1162/ertekezes.pdf?sequence=1>
- [38] „Energiespeichersysteme: Der Dreh- und Angelpunkt der Energiewende”, *Digital for Good / RESET.ORG*, 2022. június 27. <https://reset.org/energiespeichersysteme-wo-stehen-wir-heute-06042019/> (elérés 2022. október 16.).
- [39] „Technologien des Energiespeicherns– ein Überblick - ingenieur.de”, *ingenieur.de - Jobbörse und Nachrichtenportal für Ingenieure*, 2018. május 4. <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/technologien-des-energiespeicherns-ein-ueberblick/> (elérés 2022. október 16.).
- [40] „Smart Grid Batteriespeicher zur Stabilisierung des Stromnetzes geht in Betrieb”, *Klima- und Energiefonds*. <https://www.klimafonds.gv.at/press/smart-grid-batteriespeicher-zur-stabilisierung-des-stromnetzes-geht-in-betrieb/> (elérés 2022. október 16.).
- [41] SGEM, „Smart grid ICT Ecosystem Model Considerations”. [Online]. Elérhető: <http://sgemfinalreport.fi/files/D6.1.18%20Smart%20Grid%20ICT%20Ecosystem%20Model%20Considerations.pdf>
- [42] „Vor- und Nachteile verschiedener Energiespeichersysteme”. Elérés: 2022. október 16. [Online]. Elérhető: <https://www.bundestag.de/resource/blob/412904/ca2dd030254284687a1763059f1f4c0c/wd-8-032-14-pdf-data.pdf>
- [43] „382.75_Renews_Spezial_Strom_speichern_Dez2014_online.pdf”. Elérés: 2022. október 16. [Online]. Elérhető: https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/382.75_Renews_Spezial_Strom_speichern_Dez2014_online.pdf
- [44] G. Morva és R. Haddad, „Management system for energy communities”. <https://eesymp.fei.tuke.sk/viewabstract.php?id=73> (elérés 2022. október 16.).

- [45] MAVIR, „A villamosenergia-rendszer szabályozása”. [Online]. Elérhető: <https://www.mavir.hu/documents/10258/107815/szabalyozas20050512.pdf/>
- [46] G. Strbac, „Demand side management: Benefits and challenges”, *Energy Policy*, köt. 36, sz. 12, o. 4419–4426, dec. 2008, doi: 10.1016/j.enpol.2008.09.030.
- [47] „Akvamarin”. <https://mfgt.mvm.hu/hu-HU/Akvamarin> (elérés 2022. október 16.).
- [48] „PEM Electrolyser”, *Nel Hydrogen*, 2018. május 28. <https://nelhydrogen.com/product/s-series/> (elérés 2022. október 16.).
- [49] „Small”, *McPhy*. <https://mcphy.com/en/equipment-services/electrolyzers/small/> (elérés 2022. október 16.).
- [50] „Electrolyser Archive”, *QuinTech*. <https://www.quintech.de/en/kategorie/electrolysis/electrolysis-electrolyser/> (elérés 2022. október 16.).
- [51] „AEM Electrolyser”, *Enapter*. <https://www.enapter.com/aem-electrolyser> (elérés 2022. október 16.).
- [52] „Teljesen felhagyott a fosszilis energia védelmével a Nemzetközi Energia Ügynökség | Másfelfok”, 2021. június 3. <https://masfelfok.hu/2021/06/03/teljesen-felhagyott-a-fosszilis-energia-vedelmevel-a-nemzetkozi-energia-ugynokseg/> (elérés 2022. október 16.).
- [53] „A világ első hidrogénüzemű háztartási fűtőkazánja – Tesztprojekt Hollandiában”, *MARKETBAU-REMEHA*, 2020. április 20. <http://remeha.hu/a-vilag-első-hidrogenuzemu-haztartasi-futokazanja-tesztprojekt-hollandiaban> (elérés 2022. október 16.).
- [54] B. C. Ltd és M. Robinson, „Hydrogen boiler - What are the best hydrogen ready boilers?”, *Boiler Central*, 2022. szeptember 4. <https://www.boilercentral.com/guides/hydrogen-ready-boiler/> (elérés 2022. október 16.).
- [55] „Stationary Power Generation - Fuel Cell Power Products | Ballard”. <https://www.ballard.com/fuel-cell-solutions/fuel-cell-power-products/backup-power-systems> (elérés 2022. október 16.).
- [56] „Power Generation System 5”, *PowerCell Group*. <https://powercellgroup.com/product/power-generation-system-5/> (elérés 2022. október 16.).
- [57] „GenSure Low Power”, *Plug Power*. <https://www.plugpower.com/fuel-cell-power/gensure/gensure-low-power/> (elérés 2022. október 16.).
- [58] „FCgen1020 Spec Sheet”. https://www.ballard.com/about-ballard/publication_library/product-specification-sheets/fcgen1020-spec-sheet (elérés 2022. október 16.).
- [59] „PEM-FCS Stack Technology | Nedstack”. <https://nedstack.com/en/pem-fcs-stack-technology> (elérés 2022. október 16.).
- [60] „Fuel Cell”, *Cummins Inc.* <https://www.cummins.com/new-power/technology/fuel-cell> (elérés 2022. október 16.).
- [61] „FUEL CELL STACKS”, *horizon official*. <https://www.horizonfuelcell.com/fuelcellstacks> (elérés 2022. október 16.).
- [62] C. Dierbach, *Introduction to Computer Science Using Python: A Computational Problem-Solving Focus*, 1st edition. Hoboken, NJ: Wiley, 2012.
- [63] „Technology – the Solhyd project”. <https://solhyd.org/en/technology/> (elérés 2022. szeptember 18.).

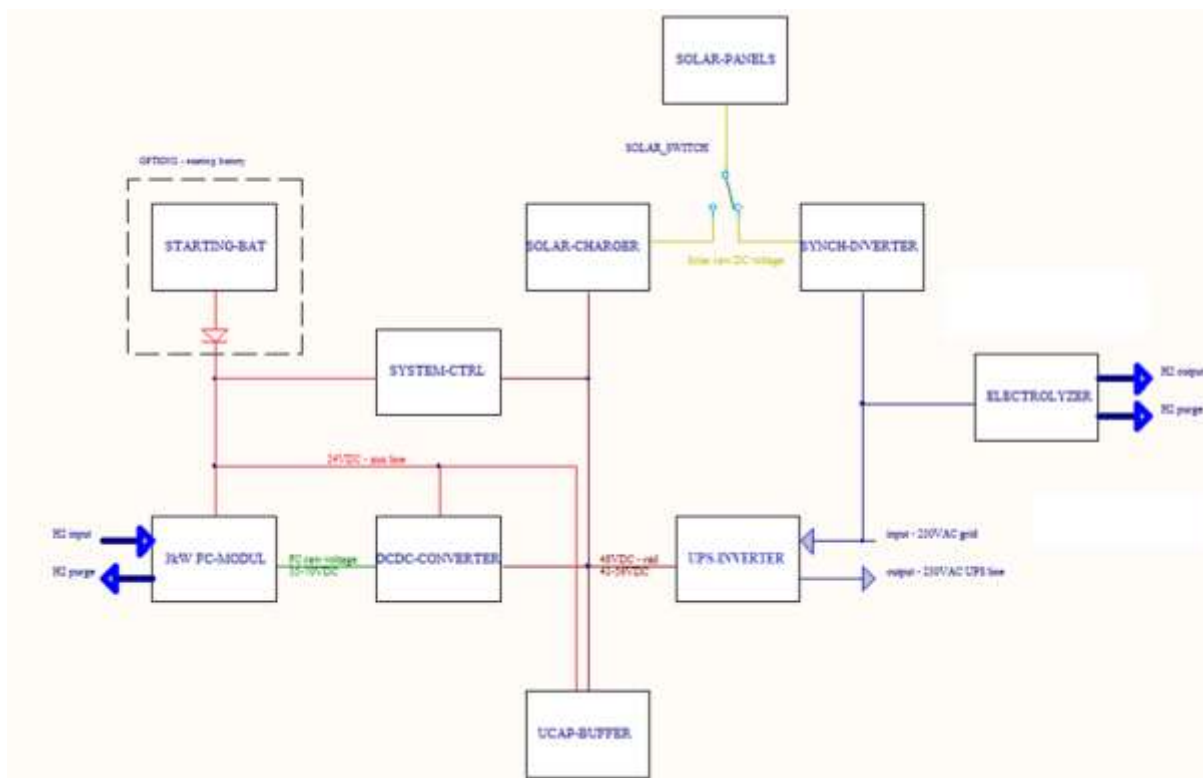
9. Mellékletek – Esettanulmányok, jó gyakorlatok bemutatása

9.1 Esettanulmány: a Kontakt-Elektro Kft. Hidrogén energiatárolására - Csordás Antal

A Kontakt-Elektro Kft. 2013-ban építette meg a napelemes rásegítésű, hidrogén energiatárolással működő, szünetmentes energiatárolókat.

A konténer 1.5kWp-nyi napelemmel (6db Korax Solar KS-250 modul) lett felszerelve, mely a 230VAC hálózati betápvonalra termeli szinkron inverteren (SMA SB-2000-HF30) keresztül az áramot. Ez táplálja az 500Nl/h hidrogéntermelő kapacitású elektrolizálót (Acta EL500R), valamint egy szünetmentes inverteren (Effekta) keresztül, maximum 2.5kW teljesítményig, a hálózatkimaradástól védett fogyasztókat. Az elektrolizálót alacsony fogyasztói igény és/vagy magas napenergia betáplálás esetén indítja el a rendszervezérlő. Hálózatkimaradáskor az elektrolizáló nem működik.

Áramkimaradás esetén a szünetmentes inverter a belső 48VDC hálózatról folytatja a védett fogyasztók 230VAC táplálását, amihez a szükséges energiát egy szuperkondenzátorokból épített puffertároló szolgáltatja (24db Maxwell BCAP3000).



27. ábra. Energiatároló blokkvázlat [saját szerkesztés]

A szuperkondenzátor puffer addig kell, hogy áthidalja a fogyasztók energiaigényét, amíg a 3kW-os tüzelőanyag-cella egység (Kontakt-Elektro FC-MOD 3.0 – Ballard FCgen-

1020ACS cellára alapozva) elindul, és eléri a névleges teljesítményét. Ezután már a tüzelőanyag-cella táplálja az invertert és/vagy tölti vissza az energiát a pufferbe. Hálózatkimaradáskor a rendszervezérlő leválasztja a napelemeket a szinkron inverterről és egy szolár akkutöltőre kapcsolja őket, hogy szintén a puffert töltsék, csökkentve a tüzelőanyag-cella terhelését, ezáltal csökkentve a hidrogénfogyasztást.

A hidrogén tárolására egy 200l térfogatú, maximum 35bar töltőnyomású tartály szolgál, ami kb. 9kWh hasznosítható energiatartalommal rendelkezik, így körülbelül 3.5 óra energiaellátást biztosít a védett fogyasztók számára, tisztán hidrogénes üzemben.

Köszönet a Kontakt-Elektro Kft.-nek az esettanulmány megjelentetéséhez nyújtott segítségéért.

9.2 Esettanulmány: az E.ON Energia Konténere - Csordás Antal

Az E.ON Geresdlak közelében, egy vadászház energiaellátásának biztosítására építette meg 2015-ben azt az energia-ellátó konténert, amelyet hálózattól távol eső fogyasztók villamosenergia ellátására fejlesztett ki. A konténer alkalmas egy átlagos lakossági fogyasztó energiaigényének kielégítésére, és gyorsabb, sok esetben gazdaságosabb alternatívát kínál az ilyen fogyasztók hálózati kapcsolatának kiépítésénél.

A konténer energiatermelésének alapjául a tetejére telepített 10kWp teljesítményű napelem szolgál, amely egy 48VDC/870Ah-s akkumulátor telepet tölt. Az akkumulátortelep táplálja a 3db invertert, amelyek előállítják a fogyasztó számára a 3x16A-es AC táplálást. Az akkumulátorok önmagukban 2 napra biztosítanak energiát a fogyasztónak, amennyiben a napi fogyasztás nem haladja meg a 10kWh-t. A hosszabb, napenergia-hiányos időszakok áthidalására a konténer tartalmaz egy külön térrészbe elhelyezett hidrogénes energiatárolót, ami egy 100Nl/h termelési kapacitású elektrolizálóból (~600W villamos teljesítmény) és egy 1000W teljesítmény leadására képes PEM tüzelőanyag-cellából áll, a hozzájuk csatlakozó hidrogéntárolóval. A hidrogéntároló egy szabványos, 50l/200bar-os hidrogénpalackokból álló bundle, amiből 2db került elhelyezésre a konténer külső fala mellé, a napelemek takarásába. A bundlekben az elektrolizáló maximum 30bar nyomáson képes hidrogén formájában eltárolni a feleslegben termelt villamos energiát. Ezzel az akkumulátoros rendszer áthidalóképessége 10 napra lett megnövelve, feltéve, hogy a napi fogyasztás 10kWh alatt marad. A konténer fel lett szerelve tűz-, villám- és behatolás elleni védelemmel, valamint távfelügyeleti eszközökkel. Az eddigi üzemelése során fennakadás nélkül tudta biztosítani a vadászház energiaellátását, még extrém körülmények között is (30cm hóban).



28. ábra. A megvalósult rendszer

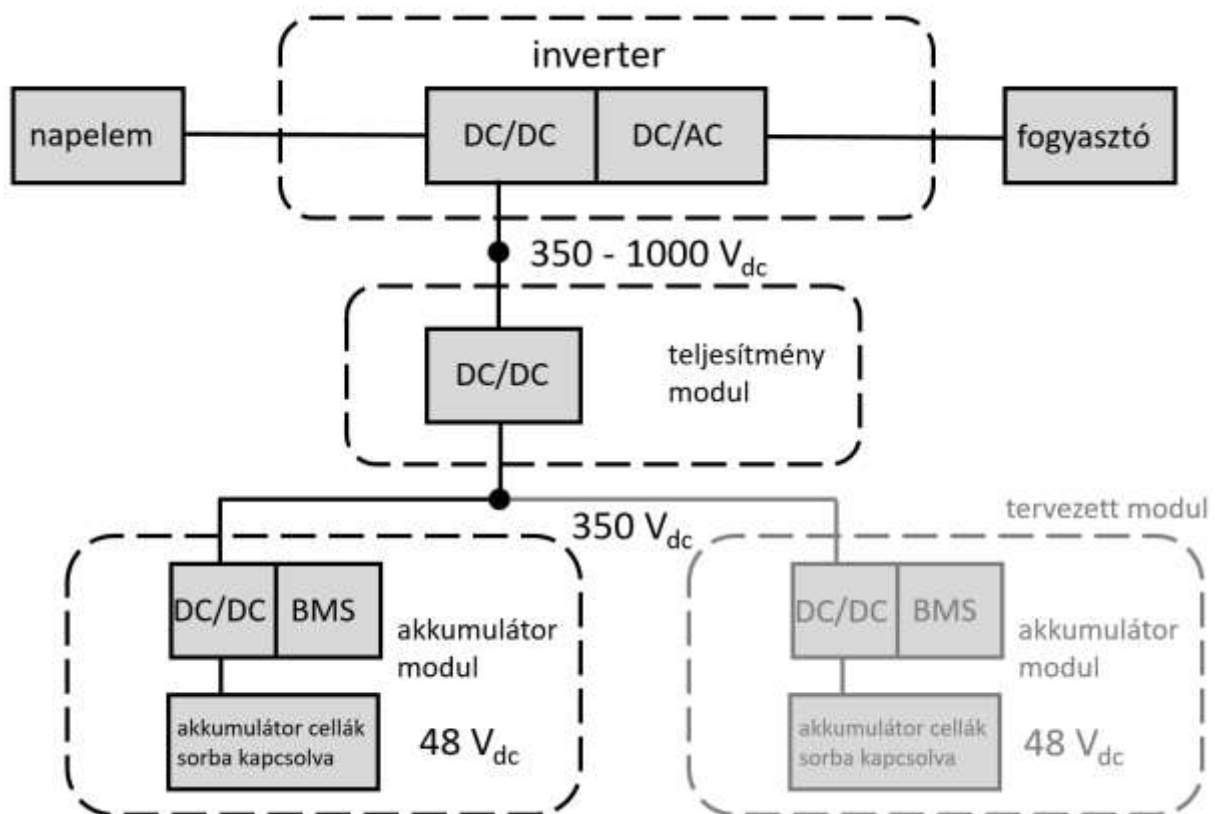
További információk az E.ON bemutató videójában találhatóak:
<https://www.youtube.com/watch?v=ssl65HkdmWA>

9.3 Esettanulmány: szigetüzemben működő napelemes rendszer Cseszkenen - Szabó Róbert

Csesznek közelében elhelyezkedő magánberuházásnál a villamos csatlakozás kiépítése nem lett volna gazdaságos, ezért 2021-ben egy szigetüzemű napelemes rendszer került kiépítésre. Az épület jurta stílusú, kialakítása úgy történt, hogy mind télen, mind nyáron a nap segítségével vagy annak árnyékolásával a helyiségek temperálása ideális legyen.

Az eredeti tervek szerint 11 darab 280 Wp-es teljesítményű polikristályos napelem került telepítésre együtt egy szigetüzemre is képes napelemes inverterrel, amely akkumulátort is tud kezelni. Az inverter névleges teljesítménye 3,6 kVA, az akkumulátor tárolókapacitása 5 kWh, maximum 2,5 kW-tal süthető ki és tölthető.

A jurta szerkezete miatt a napelemeket csak laposan lehetett elhelyezni, emiatt inkább nyári időszakban ideális a termelés, viszont a napsütötte órák száma télen rövidebb és ebben az időszakban jelenik meg többletigény hőenergiára, így a rendszer utólag 6 darab 450 Wp monokristályos napelemmel kibővítésre került. Az új napelemek dőlésszöge a téli időszakra optimalizált.



29. ábra. A háztartási méretű szigetüzemű rendszer elvi sémája [saját szerkesztés]

Az inverterhez csatolt akkumulátor lítium vasfoszfát alapú (LiFePO₄) cellákból van felépítve. 16 darab hengeres akkumulátor cella van sorba kötve, amelyet egy BMS kezel. A 16 darab cella egy DC/DC booster áramkörbe csatlakozik. A három részegység alkot egy akkumulátor modult. Az akkumulátor modul további DC/DC booster áramkörtön keresztül csatlakozik az inverterbe. Az előbbi DC/DC áramkörre az utólagos bővíthetőség miatt van szükség. A rendszer blokkdiagramját a XZ. ábra szemlélteti.

A komfortigényeket a jelenlegi rendszer kielégíti, viszont egyes téli napok közötti áthidalhatóság miatt a rendszer üzemeltetője újabb 5 kWh akkumulátorral történő bővítését tervezi.

A rendszerrel kapcsolatos további információval az alábbi videó szolgál: https://www.youtube.com/watch?v=E1r9ekfKhqE&ab_channel=Portfolio

9.4 Közeljövőben várható fejlesztési irányok, energiatermelő és tároló eszközök Európában - Solár hidrogén panel - Dr. Tokody Dániel

Jelenleg a hidrogénpanelek fejlesztés alatt álló termékek. Bár háztartási méretű alkalmazásuk még várat magára "The Solhyd Project" nevű európai projekt érdekes és biztató eredményekkel szolgál a hidrogén praktikusság szempontjából korántsem megszokott módon való előállítását tekintetében. A napelemes hidrogénpanelek nagyon ígéretesnek tűnnek a zöld hidrogéngazdaság szempontjából.

A napelemes hidrogénpanelt mesterséges fotoszintézis eszköznek tekintik a fejlesztők. Lényege az „energy harvesting” („energiagyűjtés”) megvalósításában rejlik. A kutatók nem használnak normál elektrolizátort a hidrogénpanelhez. Hanem az általuk létrehozott panelben kompakt módon egyesítik a levegőből származó víz elnyelését, a napfény begyűjtését és a megtermelt villamosenergia segítségével a víz bontását. A berendezés úgy néz ki, mint egy napelem, de zöld hidrogént termel, ezért is nevezik „hidrogén panelnek”.

Az alábbi ábrán a hidrogén panel prototípusa látható.



30. ábra. A szolár hidrogén panel [63]

A kutatók egy a 31. ábrán látható rendszerstruktúrát képzelnek el a háztartási méretű energia igény kombinált kiszolgálására. Az energia tárolására külön külső tároló tartályt terveznek.



31. ábra. Rendszerstruktúra [63]

9.5 Esettanulmány: Háztartási méretű villamosenergia-tárolókkal kapcsolatos tapasztalatok az MVM DÉMÁSZ ellátási területen - Molnár Ferenc

Az NKM Áramahálózati Kft. 2019—2020 között Szegedtől mintegy 15-20 km-re, Zsombó nevű nagyközség 042-014 sz. transzformátor körzetében okoshálózati pilot projektet valósított meg. A projekt részeként – többek között – minden csatlakozási ponton okosmérőt helyeztek el a szakemberek, valamint hálózati szenzorokkal valós időben mérik a KIF hálózat feszültség- és áramlási viszonyait. A körzetben létesült egy 27 kW/160 kWh Li-ion energiatároló, mely a közcélú hálózatra csatlakozik, továbbá létre hoztak két prosumert, akik szabályozható inverterrel ellátott 6 + 12 kW PV HMKE-vel, továbbá 3 + 6 kW / 4,8 + 9,6 kWh háztartási méretű energiatárolóval rendelkeznek. Az inverter a hálózati viszonyoknak megfelelően, vezeték nélküli mobilkommunikációs hálózaton keresztül, kívülről szabályozható. Ennek fizikai megvalósítása jelenleg folyamatban van. Az energiatárolók jelenleg autonóm program szerint, minden nap adott időpontokhoz kötötten töltenek, illetve sütnek ki, függetlenül a naperóművek termelési értékeitől. A fejlesztés célja, hogy a ki/betárolás a hálózati viszonyoknak megfelelően történjen, támogatva a szabványos feszültség értékek tartását. Ezen üzemmód költségelszámolási (piaci) szabályozása még nem kidolgozott.

Az okosmérők adatait elemezve látható, hogy a többi, hagyományos naperómű HMKE-vel rendelkező ügyfeleknél hosszabb ideig tart a hálózati visszatáplálás, azonban ennek a minimális feszültség szabályozás hatásán kívül nincs jelentősége. Tűzvédelmi okok miatt szigetüzem tartása nem lehetséges. A jelenlegi piaci viszonyok egyelőre még nem teszik lehetővé a megtérülést, erre leghamarabb a nettó energia elszámolás (2024.januári) kivezetésétől nyílhat lehetőség. A létesítés és üzembe helyezés zökkenőmentes volt, az

[illegible]

71



34. ábra. A termelés egy adott pillanata [MVM DÉMÁSZ]



35. ábra. A projektben telepített lítium akkumulátor pakk [MVM DÉMÁSZ]



36. ábra. A projektben felszerelt inverter és elosztószekrény [MVM DÉMÁSZ]

10. Szerzők

Dr. Tokody Dániel, 34 éves okl. villamosmérnök, házas, két gyermek édesapja. Az Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskolájában szerzett tudományos fokozatot katonai műszaki tudományok tudományágban. A Magyar Tudományos Akadémia köztestületi tagja, a Magyar Mérnökakadémia és a Magyar Mérnöki Kamara Elektrotechnikai tagozatának tagja. A tagozat titkára.

Kutatási témái az intelligens vasúti rendszerek, biztonságstudomány, komplex rendszerek és okos város. Aktív tudományos kutatómunkát 2014 óta végez. Az eltelt évek során kutatómunkájához kapcsolódóan számos tudományos művet írt. A Magyar Tudományos Művek Tárában 94 közleménye szerepel, Hirsch indexe 9.

A Kínai-Magyar Vasúti Nonprofit Zrt., Budapest–Belgrád vasútvonal újjáépítési beruházás magyarországi szakaszának erősáramú projekt szakértője. A NextTechnologies Kft. Komplex Rendszerek Kutatóintézet alapító vezető kutatója és a Journal of NextTechnologies hazai induló folyóirat társ-főszerkesztője. 2018 óta a Journal Interdisciplinary Description of Complex Systems Web of Science-ben indexelt folyóirat vendégszerkesztője és szerkesztőbizottsági tagja. 2017 óta a European Smart Sustainable and Safe Cities Conference szervező bizottságának elnöke.

A *„Háztartási méretű energiatárolás fejlesztési lehetőségei Magyarországon”* pályamű tagozati témafelelőse.



Schottner Károly, 47 éves okl. villamosmérnök és MBA menedzser. Előbbi diplomáját 1998-ban a Budapesti Műszaki Egyetemen, utóbbit 2005-ben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte. Pályáját a Klöckner-Moeller Hungária Kft-nél mint kiemelt megbízhatóságú energiaszolgáltatási megoldások értékesítő és támogató mérnökeként kezdte. 2001-től – akkor már – Moeller Electric magyarországi vállalati igazgatója. Műszaki területei a kisfeszültségű rendszerektől a közép- és nagyfeszültségű megoldások voltak. A multinacionális vállalat országokon átívelő feladat megosztásnak köszönhetően dolgozott Németország, Hollandia, Ausztria, Spanyolország, Lengyelország, Csehország műszaki fejlesztési és menedzsment projektjeiben. A vállalatból 2012-ben, akkor már EATON, magyarországi értékesítésért felelős felső vezetőjeként váltott magánvállalkozói szektorba. Jelenleg az EXPLEO Kft tulajdonos ügyvezetője. A Magyar Mérnöki Kamara Elektrotechnikai tagozatának elnökségi tagja 2014-től, kiemelt szakmai munkaterülete a Megújuló energetikai rendszerek, mely kapcsán a kötelező mérnökképzés témafelelőse és oktatója is. Az OTSZ - TvMI Napelemes rendszerek műszaki megvalósításai szakmai munkacsoportjának alapító és aktív tagja.



Ady László, 39 éves okl. villamosmérnök. NextTechnologies Kft. ügyvezető tulajdonosa. A NextTechnologies Kft. Komplex Rendszerek Kutatóintézet alapítója. Számos K+F+I projekt kidolgozója és vezetője. Kutatási területei: biztonságkritikus rendszerek, komplex rendszerek, szuperszámítógépek. A Magyar Tudományos Művek Tárában 11 közleménye szerepel, Hirsch indexe 3.



Haddad Richárd, 46 éves okl. villamosmérnök és okl. közgazdász, 4 gyermek édesapja. Jelenleg az Óbudai Egyetem Kandó Villamosmérnöki Karán, a Villamos Energetikai Tanszéken mesteroktató. Szakterülete az Energetikai informatika köré összpontosul. Ezen túlmenően napelemes rendszerek szakmérnöki képzésében, elektronikus energia kereskedelemben, illetve alternatív energia termelők (tűzelőanyagcella) területen dolgozik. Szakcikkek, egyetemi jegyzetek szerzője, többek között a Smart Hálózatok, Hálózat felügyeleti rendszerek, Kritikus információs infrastruktúrák védelme területén. Ipari tevékenység keretein belül nagyfogyasztói energiahatékonysággal, mérési alrendszerekkel, és energia-irányítási rendszerek kiépítésében vesz részt. Támogatja a hazai lakossági okos mérés terjedését. Számos okos innovatív eszköz fejlesztésének vezetője.



Ágoston Gergő 40 éves villamosmérnök, nős és két gyermek édesapja. A Magyar Mérnöki Kamara tagjaként számos területen tervezői, műszaki ellenőri, valamint felelős műszaki vezetői jogosultsággal rendelkezik, amelynek keretében villamosenergia ellátó rendszerek tervezéstől a kivitelezésig végez szakmai munkát. Ezen túlmenően napelemes park, elektromos autó töltő rendszer, vasúti villamosenergia ellátó projekteket is tervez és felel a műszaki megvalósításukért. Hazánkban elsőként telepített energiatárolós szélenergia-termelővel kombinált napelemes rendszert, amelyhez 17 éves üzemeltetési tapasztalat is párosul. Jelenleg a H1 Systems Mérnöki Szolgáltatások Kft. vezető villamos tervezője. A cégnél a villamosenergia termelést, tárolást és megtakarítást lehetővé tevő műszaki megoldások tervezéséért felelős, illetve adatközponti infrastruktúrák villamos ellátó rendszereinek tervezését koordinálja.



Csordás Antal, 46 éves villamosmérnök. A Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karán, a Villamos Hálózatok Tanszéken szakoktató. Szakterülete a hidrogén technológiák és a tűzelőanyag-cellák. 11 évig dolgozott a Kontakt-Elektro Kft. tűzelőanyag-cellás fejlesztési projektjein, amelynek során épített PEM-típusú tűzelőanyag-cellákat, a cellákon alapuló szünetmentes tápegységet, kerékpárt,

aggregátort és elektromos yachtot. Jelenleg az Egyetem hidrogén technológias szakmérnök képzésében vesz részt, valamint a cellákhoz kapcsolódó teljesítményelektronikai megoldások és diagnosztikai módszerek fejlesztésében.



Martin József, 56 éves okl. villamosmérnök, MBA-menedzser. A Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatika Karán folytatott többéves oktatói tevékenysége után az Audi Hungária Motor Kft. belső tanácsadójaként, majd a Hauni Hungária Gépgyártó Kft. cégvezetőjeként szerzett multinacionális tapasztalatokat. Jelenleg önálló tanácsadóként különböző fejlesztési projekteken tevékenykedik, melyek elsősorban a fenntartható jövőt, a megújuló energiaforrások hatékonyabb alkalmazását elősegítő technológiák és energiarendszerek elterjedését támogatják.



Szabó Róbert, 30 éves okl. energetikai mérnök. BSc és MSc diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte energetikai mérnöki szakon. Pályáját 2015-ben az ABB Kft.-nél kezdte meg középfeszültségű energiaelosztás területen, amit elektromos autó töltési infrastruktúra és napelemes inverterek üzletfejlesztés követett. 2020-tól a Huawei Technologies Hungary Kft. munkatársa, ahol jelenleg a nyugat-balkáni és magyarországi területért felelős napelemes megoldások igazgatójaként dolgozik, ezen terület magába foglalja a napelemes energiatermelés és elosztás mellett az akkumulátoros energiatárolást is.

11. Lektor

Molnár Ferenc 56 éves, villamos üzemmérnök, MSc villamosmérnök, MSc közgazdász, atomerőművi szakmérnök és abszolvált doktorandusz hallgató az Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola keretein belül. Kutatási területe a hazai villamosenergia ellátás biztonsága a fenntarthatóság tükrében és a karbonmentes energiaforrások térnyerése. 1987-től az Erőmű Beruházási Vállalatnál, majd 2014-től napjainkig az MVM Zrt-nél dolgozik. Számos megvalósult nagyerőművi beruházás irányítása fémjelzi szakmai életútját. Jelenleg az MVM Zrt. (holding központ) termelési vezérigazgató-helyettes tanácsadója. Többek között a megújuló bázisú villamosenergia termelés felügyelete és nagy méretű energiatároló projektek vezetése tartozik a felelősségi körébe. 2019-ben megkapta az MVM Csoport Év Embere díjat. Az Energiagazdálkodási Egyesület Elnökségének tagja, valamint a Megújuló Energia és Energiatárolás Szakosztály társelnöke.

12. Rövidítések jegyzéke

DSM	Demand Side Management
DSO	Distribution System Operator, Elosztóhálózati Rendszerüzemeltetők
FKA	Frekvenciától független terheléskorlátozás
FRT	Flat Rate Tariff
FTK	Frekvencia függő terheléskorlátozó
HKV	Hangfrekvenciás KörVezérlés
HMKE	Háztartási méretű kiserőmű
MAVIR	Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő
ZRt.	Részvénytársaság
MEKH	Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal
OTSZ	Országos Tűzvédelmi Szabályzat
P2X	power-to-X
PV	fotovoltaikus
RKV	Rádiófrekvenciás KörVezérlés
RTP	Real Time Pricing
TOU	Time Of Use
TvMI	Tűzvédelmi Műszaki Irányelveinek
V2G	Vehicle2Grid
Vet.	törvény a villamos energiáról
VPP	Variable Peak Pricing

13. Ábrák jegyzéke

1. ábra. Az energiatárolás telepítési helye szerinti előnyök az értéklánc egyes szereplőit tekintve
2. ábra. A fő energiatárolási technológiák és azok alkalmazása
3. ábra. Az energiatárolási technológiák érettsége
4. ábra. Elosztott energia tárolási alkalmazások lehetőségei
5. ábra. Napenergia alapú háztartási méretű kiserőművek darabszáma és beépített teljesítménye Magyarországon 2022. március
6. ábra. Családi ház termelési és fogyasztási görbéi – hálózatszatolt napelemes rendszer
7. ábra. Családi ház termelési és fogyasztási görbéi – vegyes üzemű napelemes rendszer lokális energia tárolással
8. ábra. Hibrid PV energiaátalakítók és Hibrid PV inverterek kapcsolata
9. ábra. Önfogyasztás optimalizált hibrid üzemviteli rendszer hibrid PV inverterrel
10. ábra. Példa séma Hibrid szigetüzemi kapcsolóberendezés kialakítási lehetőségére
11. ábra. Hibrid szigetüzemi üzemvitelű PV inverteres rendszer tűzeseti tiltó bemenettel lehetőségére
12. ábra. Hibrid PV inverteres rendszer energiatárolójának tűzeseti lekapcsolás kialakítása
13. ábra. 1. esett napszakonkénti működés szemléltetése
14. ábra. 1. eset energiatároló akkumulátor működése
15. ábra. 2. esett napszakonkénti működés szemléltetése
16. ábra. 2. eset energiatároló akkumulátor működése
17. ábra. 3. esett napszakonkénti működés szemléltetése
18. ábra. 3. eset energiatároló akkumulátor működése
19. ábra. Az egyes előírások és szabványok területi hatályának szemléltetése
20. ábra. Napelemes és villamos energia tárolóval ellátott rendszer elvi felépítése
21. ábra. HMKE éves termelési diagramjai optimálisan méretezett energiatárolóval
22. ábra. Éves szaldó elszámolásban többletet termelő energiatárolós rendszer diagrammjai
23. ábra. Hagyományos és az okos hálózatok topológiája
24. ábra. Okos energia piac szereplői, területei és eszközei
25. ábra. Együttműködő villamosenergia rendszer szimbolikus működése
26. ábra. Számítógépes feladatmegoldás az energia elosztó és tároló rendszerek irányítórendszerinek létrehozása során
27. ábra. Energiakonténer blokkvázlat
28. ábra. A megvalósult rendszer
29. ábra. A háztartási méretű szigetüzemű rendszer elvi sémaraajza
30. ábra. A szolár hidrogén panel
31. ábra. Rendszerstruktúra
32. ábra. Rendszer működésének folyamatábrája
33. ábra. A háztetőre telepített napelemek
34. ábra. A termelés egy adott pillanata
35. ábra. A projektben telepített lítium akkumulátor pakk
36. ábra. A projektben felszerelt inverter és elosztószekevény