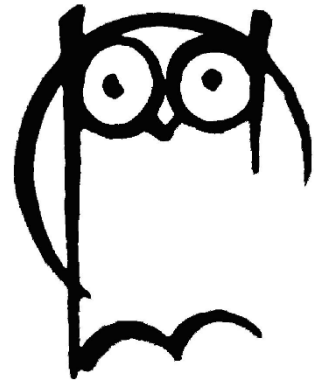


Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
AB és C Tanszék



Az Energy Clutch és a terheléskezelő rendszerek alkalmazása a lakossági háztartásokban

**Szerző: Dienes István Vajk,
A Debreceni Egyetem Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma és Általános Iskolájának
12.D osztályos tanulója**

Témavezető(k): Prof. Dr. Husi Géza
Tanszékvezető: Prof. Dr. Husi Géza

Debrecen
2024.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	5
1. Történelmi áttekintés	5
1.1 Múltbeli előrelépések	5
1.2 A technológia jelenlegi állapota	7
1.2.1 Az okoshálózatok jelenlegi fejlettsége.....	7
1.2.2 Az Energy Clutch jelenlegi fejlettsége	8
2. Magyarország energetikája	9
2.1 Magyarország energiahálózata	9
2.2 Magyarország energiamixe	10
2.2.1 A hazai villamosenergia- termelés	10
2.2.2 Az importált energia	11
2.2.3 Az energiamix összesítése	11
3. A terheléskezelő rendszerek (LMS).....	12
3.1 A terheléskezelő rendszerek alapjai	12
3.2 A terheléskezelő rendszerek felépítése	12
3.2.1 Az LMS-ek monitorozó és érzékelő egységei	12
3.2.2 Az LMS-ek kommunikációs hálózata.....	13
3.2.3 Az LMS-ek központi irányítórendszerei	14
3.2.4 Az energiatárolási modulok integrálása az LMS-rendszerekben.....	16
3.2.5 Az LMS-ek felhasználói felületei	16
3.3 A terheléskezelő rendszerek működése	17
3.3.1 Adatgyűjtés- és érzékelés	17
3.3.2 A begyűjtött adatok feldolgozása.....	18
3.3.3 A hálózat optimalizálása	18
3.3.4 Az LMS önfejlesztése	18
3.4 A terheléskezelő rendszerek alkalmazási területei.....	18
4. Az okoshálózatok.....	20
4.1 Az okoshálózatok áttekintése	20
4.2 Az okoshálózati rendszerekhez kapcsolódó technológiák	20
4.2.1 Az Adaptív Neurális-Fuzzy Következtetési Rendszer (ANFIS).....	20
4.2.2 Maximális Teljesítménypont Követés (MPPT).....	21
4.2.3 A járművek hálózati integrálása (V2G)	22
4.3 Az okoshálózatok szerveződési szintjei, működése	23

4.3.1 Energiatermelési egységek.....	23
4.3.2 Energiatárolási egységek	24
4.3.3 Az elektromos járművek (EV-k).....	24
4.3.4 Az intelligens fogyasztási egységek és épületek	25
4.3.5 Az okoshálózati inverterek	26
4.3.6 Az okoshálózatok energiairányítási rendszerek (EMS).....	26
4.4 Az okoshálózatok jövője	27
5. Az Energy Clutch lakossági alkalmazása.....	27
5.1 A modell felállításához felhasznált adatok.....	27
5.2 A modell felállítása	30
5.2.1 A modell energiaellátása	30
5.2.2 A modell energiatarolási egysége	31
5.3 A modell működése	31
5.4 A modell számításai.....	31
5.5 A modell értékelése.....	36
A dolgozat értékelése, célkitűzések	37
Köszönetnyilvánítás	38
Hivatkozások.....	39
Függelék	41
1. 2022-es számítások	41
2. 2023-as számítások	42
3. 2024-es számítások	43

Bevezetés

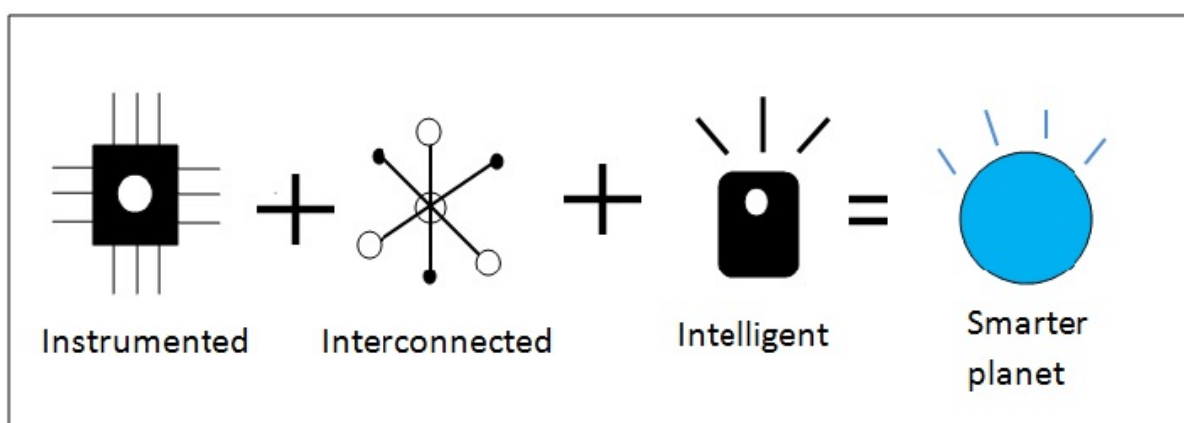
Az Energy Clutch (EC), közismertebb nevén „energiakapcsoló” a 2010-es évektől kezdett egyre közismertebbé válni az internet és a Bluetooth technológiák folyamatos fejlődésének és elterjedésének következményeként. Konkrét feltalálót nem tudunk megemlíteni, ha ezen kapcsolókról beszélünk, ugyanis több cég is részt vett a kapcsolók kifejlesztésében, mint például a Belkin és a Philips. Azonban az „okoskapcsoló”, mint fogalom, először a 2000-es években jelent meg, a távoli vezérlést biztosító infravörös jeltovábbító kapcsolók formájában, melyeket a mindennapi életünkben napjainkban is használunk, például a televízió-készülékek irányítására. Napjainkra azonban ezen technológiák jelentős fejlődéseken estek át, lehetővé téve ezzel az okoskapcsolók széleskörű alkalmazását az okos energiahálózatok területén is. Jelenkorunk talán legnagyobb tudományos vívmánya, a Mesterséges Intelligencia (MI) is jelentős szerepet játszik ezen hálózatok kezelésében és szélesspektrumú fejlesztéseket tesz lehetővé a technológiát illetően. A dolgozatomban ki fogok térni a lakossági okoshálózatok működési elvére, illetve arra, hogyan segíthetné ezen technológia a háztartások energiatakarékos fogyasztásának megteremtését és hogyan csökkenthetné a háztartások kiadásait. Célokként azt tűztem ki, hogy rámutassak, mennyivel csökkenthetné egy ilyen rendszer egy háztartás elektromos áramra szánt kiadásait, illetve az, hogy felhívjam az olvasó figyelmét arra, mennyivel környezetkímélőbb megoldás lehetne egy ilyen rendszer alkalmazása minden háztartásban, ha egy okos energiahálózati rendszerbe integrálnánk a fogyasztókat. Egy valami azonban biztos, a társadalomnak szükségszerű elmozdulnia a központosított energiahálózati modelltől az decentralizált modell felé, ha fenntarthatóvá és stabilá szeretné tenni a fogyasztók energiaellátását.

1. Történelmi áttekintés

1.1 Múltbeli előrelépések

Ahhoz, hogy megértsük, hogyan is jutottunk el a mai intelligens kapcsolók kifejlesztéséig, tekintsünk vissza egészen az 1960-as évekbe, amikor is a digitális technológia elterjedésével elérhetővé váltak a Folyamatfelügyeleti—és Irányítási rendszerek (SCADA), amelyek lehetővé tették a valós idejű energiafelügyeletet és az ebből származó adatgyűjtést. [17,20] Ez a korszakban nagy áttörést jelentett, hiszen az áramszolgáltató cégek így már gyorsan tudtak reagálni az esetleges hálózati meghibásodásokra, ezáltal stabilabbá és megbízhatóbbá téve az

áramhálózatokat. Ezt követte az 1970-es években az Energiairányítási Rendszerek (EMS) megjelenése, amelyek már komplex algoritmusokat használtak a hálózat biztonságos és hatékony működtetéséhez. [17] Ezen algoritmusok alkalmazásával már elemezni tudták a hálózat energiaigényeit és generálási kapacitását, így biztosítva a költséghatékony működést és a csökkentett károsanyag-kibocsátást. Továbbá az EMS-rendszereket elkezdték integrálni a SCADA-rendszerekkel, ezzel lehetővé téve a rendszer önálló, intelligens döntéshozatalát. Ezek a rendszerek napjainkban már használnak gépi tanulási (ML) algoritmusokat, amelyek a mesterséges intelligencia segítségével képesek biztosítani az energiarendszerek autonóm működését, illetve az energiafogyasztás előrejelzését. Erre később részletesebben is kitérek. 2008-ban az IBM bemutatta a „Smarter Planet” koncepcióját a New York-i Külügyi Tanácsnál, amely lefektette az intelligens energiarendszerek alapjait. [17] A kampány célja az, hogy az intelligens rendszerek felhasználásával „okosabbá” tegyék a bolygót. Ez magában foglalja a villamosenergia-hálózatok intelligenssé tételét is. A „Smarter Planet” koncepció közvetlenül inspirálta az intelligens energiahálózatok kifejlesztését, ami lehetővé tette a kétirányú energiaáramlást és a decentralizált energiagazdálkodást, jelentősen elősegítve ezzel a megújuló energiaforrások integrációját az energiahálózatokba.



1. ábra: Az „intelligens bolygó” megteremtésének három alappillére [29]

2011-ben a dán Aalborg Egyetem kutatói a CEESA (Coherent Energy and Enviromental System Analysis) projekt keretein belül kidolgoztak egy 100%-ban megújuló energiaforrásokra épülő energiarendszert, amely integrálja az elektromos, hő- és gázhálózatokat. [2,4] A projekt szerint a különböző energiahálózatok összehangolása jelentős energiamegtakarítást és hatékonyságnövekedést idézhet elő. Kutatásuk célja az volt, hogy a hagyományos ágazati megközelítéssel szemben az összes ágazatot együtt kezeljék és így csökkentsék a fosszilis energiahordozóktól való függőséget. Az optimális energiaelosztás és költséghatékonyság

elérésének érdekében a projekt számos javasolt stratégiát használt, beleértve a hulladékhő felhasználását és a biomassza korlátozott alkalmazását. A CEESA projekt eredményei szerint lehetséges egy 100%-ban megújuló energiarendszer kialakítása Dániában, ami az energiaszektorokat integrálva jelentős költség és üzemanyag megtakarítást érhet el. [2,4] A projektet 2014-ben formalizálták és végeredményként egy olyan átfogó megközelítést ajánl, ami lehetővé teszi a megújuló energiaforrások magasabb szintű integrációját és a fosszilis energiahordozók fokozatos kiváltását Dániában és az Európai Unióban 2050-ig. 2015-ben megszületett az ENSZ Éghajlatváltozási Konferenciáján a Párizsi Egyezmény, amelyben 196 ország, beleértve Magyarországot is, vállalta, hogy 2030-ra 45%-kal csökkenti az üvegházhatású gázok kibocsátását, 2050-re pedig nettó nullára. [16,17] Magyarország ezen intézkedéseket 2016-ban ratifikálta, ezzel vállalva a nemzeti kibocsátáscsökkentési célokat és a klímaváltozás hatásainak mérséklését elősegítő intézkedéseket. Ezzel együtt Magyarország vállalta az Európai Unió közös célokat is, amely 2030-ra 55%-os kibocsátáscsökkentést ír elő a tagállamoknak az 1990-es szinthez képest. Ez a megállapodás jelentősen hozzájárult az okoshálózatok fejlődéséhez, hiszen ezen hálózatok lehetővé teszik a megújuló magasszintű integrációját. Ezen megállapodás hatására Magyarországon is jelentősen megnőtt az okoshálózatokkal kapcsolatos beruházások száma.

1.2 A technológia jelenlegi állapota

1.2.1 Az okoshálózatok jelenlegi fejlettsége

Összességében elmondható, hogy az okoshálózati technológia jelentős változásokon ment keresztül az elmúlt évtizedekben. A nemzetközi egyezmények, illetve projektek jelentősen hozzájárultak a fejlődés intenzitásának növeléséhez. Napjainkban a legfejlettebb okoshálózati rendszerek valós idejű adatgyűjtést biztosítanak a Dolgok Hálózata (IoT)-alapú érzékelők révén, így biztosítva a hálózat állandó felügyeletét. Ezek az érzékelők érzékelik az áramingadozásokat, a hálózat terheltségét és automatikusan továbbítják a központi irányító rendszer felé a begyűjtött adatokat. Továbbá az okoshálózatok a fejlett algoritmusok segítségével képesek dinamikusan kezelni az energiatermelés- és felhasználás egyensúlyát, illetve az automatikus terheléselosztás lehetővé teszi az energia optimális elosztását, csökkentve ezzel a veszteségeket. Emellett a fejlett energiatárolási technológiák, mint például a lítium-ion akkumulátorok vagy a feltörekvő redox-áramkörüi tárolók, jelentősen növelik a hálózat rugalmasságát. Az energiatároló rendszerek különösen fontosak a megújuló energiatermelési eszközök alkalmazásánál, hiszen ezek a termelőegységek (napelemek,

szélturbinák) termelése nagyban időjárásfüggő, ezért fontos, hogy az ideális időjárási viszonyok alatt megtermelt energiamennyiséget megfelelő módon tudjuk eltárolni egy esetleges olyan időszakra, amikor az időjárási viszonyok miatt a megújuló energiaforrások által biztosított áramellátás instabillá válhat.

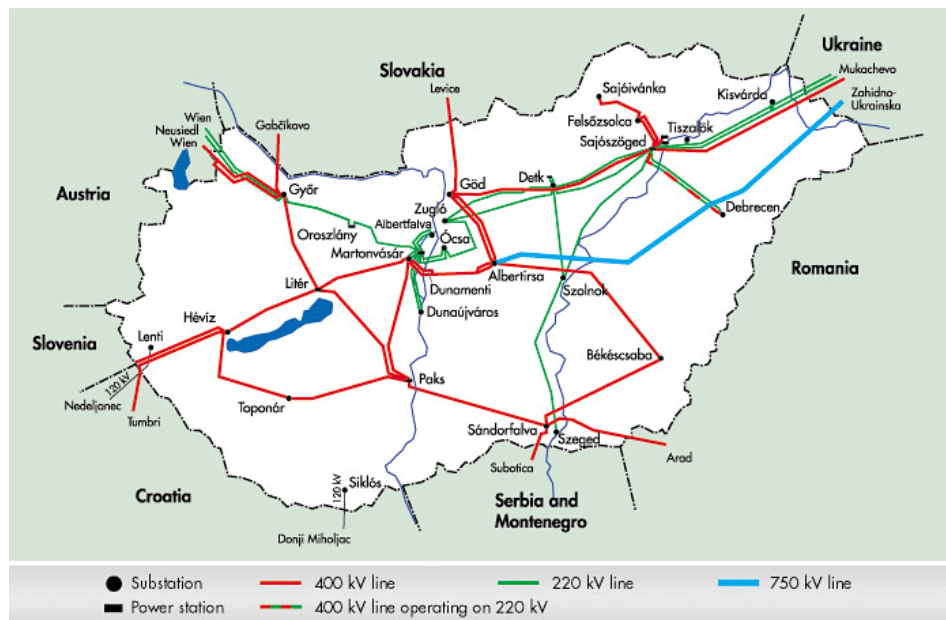
1.2.2 Az Energy Clutch jelenlegi fejlettsége

Az Energy Clutch eddigi technológiai fejlesztései összességében arra irányultak, hogy megkönnyítsék a fogyasztók fosszilis energiaforrásokról való átállását a megújuló energiaforrásokra. Az EC központi eleme a megújuló energiaforrások kihasználása a fogyasztó költségeinek csökkentésének érdekében. A fotovoltaiikus panelek fejlődésének következtében szélesebb körben is elérhetővé váltak ezen rendszerek, a napelemtámogatásoknak hála pedig a lakossági napelemhasználat száma is megnőtt, ezzel elősegítve a zöld átállást. [34] Az EC technológia továbbá alkalmazhatja a zöld hidrogént is, amely a megújuló energiával előállított vízbontás eredménye. Ez az új hidrogén technológia kulcsszerepet játszhat az ipari szektorok és a közlekedés dekarbonizálásában, különösen olyan területeken, ahol a villamosenergia közvetlen használata kevésbé hatékony. Továbbá érdemes megemlíteni még a Power-to-X (P2X) technológiát is, amely lehetővé teszi az elektromos energia átalakítását más energiahordozókká, például hidrogénné (P2H), szintetikus üzemanyaggá (P2L), vagy gázzá (P2G). Ez a technológia azért kiemelkedő napjainkban, mert lehetővé teszi a felesleges elektromos energia átalakítását és tárolását, így az energia átvihető más szektorokba is, mint például a közlekedésbe, fűtésbe, vagy például az iparba. [34] Így az okos EC-k segítségével még tovább csökkenthető az ipari létesítmények károsanyag-kibocsátása, illetve az egyes cégek energiára szánt kiadása. A legfejlettebb EC-k továbbá alkalmazzák napjainkban a mesterséges intelligenciát és a gépi tanulási algoritmusokat is, ezáltal képesek előre jelezni a fogyasztási mintákat és a megújuló energiaforrások termelését, amelyek optimalizálják a hálózat működését és javítják a források hatékony felhasználását. Ezen EC-k továbbá képesek előre jelezni a piaci ár változásait, így csökkentve az EC-vel rendelkező fogyasztók kiadásait. Összességében tehát az EC-rendszerek a zöld átállás egyik alappillérenek minősülnek és a jövőben továbbfejleszthetők lesznek az energiatárolási technológiák fejlődésével, illetve az MI és ML algoritmusok elmélyülésével.

2. Magyarország energetikája

2.1 Magyarország energiahálózata

Magyarország átvitelirendszer-üzemeltetője, a MAVIR, a magyar villamosenergia-hálózat irányításáért és biztonságáért felelős. Az ország villamosenergia-hálózatának teljes hossza körülbelül 4870 km, a legmagasabb feszültségszintek 400 kV és 750 kV, melyek lehetővé teszik a nagy mennyiségű áram továbbítását. [10,15] A magyar hálózat által maximálisan továbbítható áram mennyisége nagymértékben függ a hálózat infrastruktúrájától és az aktuális hálózati terheléstől. A napelemek számának növekedésével szükségszerűvé vált a hálózat kapacitásának fejlesztése, hiszen a napelemek vissza is termelnek a hálózatba. A hálózat stabilitásának és kapacitásának fenntartása érdekében a MAVIR rendszeresen fejleszti és bővíti az átvitelirendszert, beleértve a nemzetközi összeköttetéseket is. 2021-ben három új 400 kV-os összeköttetést létesítettek Szlovákiával, ami jelentősen növelte a határokon átnyúló kapacitást. [13,15] A legnagyobb teljesítmény, amit a magyar hálózat képes kezelni, körülbelül 9900 MW, ami elegendő a rekord csúcsterhelési szintek (7095 MW 2020-ban) biztonságos kezeléséhez. A jövőben a nukleáris energia és a megújuló energiaforrások jelentős szerepet fognak játszani a hálózat megbízhatóságának és kapacitásának növelésében.



2. ábra: Magyarország főbb tápvezetékeinek térképe [10]

Az elmúlt években Magyarország több jelentős lépést tett a megújuló energiaforrások integrációjának érdekében, különösen a napenergia tekintetében. A napenergia kapacitása jelenleg 4000 MW fölött van, az elkövetkezendő években újabb 3000 MW integrálása

várható. Ehhez azonban szükség van a hálózat rugalmasságának fejlesztésére, amit az ország nagyrészt az EU helyreállítási alapjából finanszíroz. [6,9]

2.2 Magyarország energiamixe

2.2.1 A hazai villamosenergia- termelés

Magyarországon a villamosenergia- termelés rendkívül szerteágazó az ország természeti adottságai miatt. Elsődlegesen a hazai nem megújuló villamosenergia termelés több mint 50%-át a Paksi Atomerőmű adja, melynek maximális energiatermelési kapacitása 2000 MW. Az atomerőmű négy reaktorblokkból áll, amelyek egyenként 500 MW villamosenergia megtermelésére képesek. Az ország második legnagyobb energiatermelési egysége a Mátrai Hőerőmű, amely nagyrészt lignitet használ tüzelőanyagként. Maximális kapacitása 950 MW, ami a hazai villamosenergia termelés 15%-át fedezi. Jelenleg ez Magyarország egyetlen nagyméretű széntüzelésű erőműve, de a megújuló energiaforrások egyre nagyobb mértékű integrációjának köszönhetően várhatóan 2025-ben bezárják. A Százhalombattai Erőmű a hazai energiatermelés 10%-át adja, maximális kapacitása 794 MW. Ez az erőmű főként földgázt használ az energiatermeléshez, emiatt fontos szerepet játszik a rugalmas energiatermelési kapacitás biztosításában. A Tisza II erőmű az ország északkeleti részén található. Termelési kapacitása 860 MW. A megtermelt villamosenergia egy része a hazai energiatermelés 7%-át adja, az északkeleti régió energiaellátásában fontos szerepet játszik ezáltal. Az erőmű által megtermelt maradék villamosenergiát exportálják a környező országokba (Szlovákia, Ukrajna). A Gönyői Erőmű egy modern gázturbinás erőmű, amely az ország energiatermelésének mintegy 5%-át adja. Maximális kapacitása 430 MW. Továbbá a hazai energiatermelésben egyre nagyobb szerepet kapnak a megújuló energiaforrásokkal működő termelőegységek is. A hazai megújuló energiatermelés legjelentősebb részét a napenergia fedezi, hiszen az országban rendkívül magas a napsütéses órák száma, így a napenergia-termeléshez szükséges keretek adottak. Az ország napenergia-kapacitása jelenleg meghaladja a 4000 MW-ot. [8,13,14] A hazai megújuló energiatermelés kisebb hányadát adja továbbá a mezőgazdasági- és erdészeti hulladékokból származó biomasszából, geotermikus energiából és a vízenergiából megtermelt villamosenergia. Magyarország Nemzeti Energia- és Klímatervében (NEKT) ki lett tűzve célul, hogy 2030-ra a megújuló energiaforrások aránya elérje a 30%-ot a nem megújuló energiaforrásokhoz képest. [5] Továbbá Magyarország célja az is, hogy 2030-ra az áramtermelés 90%-át alacsony szén-dioxid kibocsátású forrásokból biztosítsa, ami magában foglalja a megújuló energiaforrásokat és a nukleáris energiát is a megújulók

változékonyságának kiegyenlítésére. Jelenleg a Paksi Atomerőmű (Paks II) bővítése zajlik, így az új reaktorokkal biztosítva lenne a korábban említett változékonyság ellensúlyozása is. Továbbá Magyarország hosszú távú tervei között szerepel az ipar és a közlekedés dekarbonizálása is, ezáltal a hidrogéntechnológia fejlesztése. Kisebb léptékű hidrogéntermelési projektek már elindultak az országban az Aquamarine projekt keretein belül, amely a korábban említett P2X technológia segítségével képes lenne elektrolízis útján a megtermelt napenergiából hidrogéngázt előállítani, így eltárolva a fennmaradó napenergiát gáz formájában.

2.2.2 Az importált energia

Magyarország villamosenergia- igényének kielégítéséhez a hazai termelés mellett jelentős mennyiségű energiaimport szükséges. Az ország energiaimportja évente körülbelül 1,5-2 TWh, amelyet nagyrészt a növekvő kereslet, valamint az ellátásbiztonság tesz szükségessé. Az importált villamosenergiát többnyire fosszilis energiahordozókból állítják elő a környező országokban (Románia, Ukrajna, Szlovákia), így az nem feltétlenül alacsony CO₂-kibocsátású. [24] Az importált energia Magyarország energiaszükségletének körülbelül 25-30%-át fedezi.

2.2.3 Az energiamix összesítése

A Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) közlése szerint Magyarország energiaszükséglete a tavalyi évben 58 TWh volt, ami átszámítva 6624 MW folyamatos teljesítménynek felel meg. Így megadhatjuk az energiamix százalékos adatait.

Paksi Atomerőmű:	50%
Mátrai Erőmű:	15%
Gáztüzelésű erőművek:	20-25%
Megújuló energiaforrások:	10-15% (30% 2030-ra)
Importált energia:	25-30%

Ezek a százalékos adatok azért haladják meg a 100%-ot, mert az itthon megtermelt energia egy része exportálásra kerül a környező országokba.

3. A terheléskezelő rendszerek (LMS)

3.1 A terheléskezelő rendszerek alapjai

A terheléskezelő rendszerek alapjaiban véve olyan komplex informatikai- és mérnöki rendszerek, melyeket az energiafogyasztás optimalizálására, a hálózati termelés ellenőrzésére és az energiaforrások hatékony kihasználására fejlesztettek ki. Ezen rendszerek feladata tehát az, hogy biztosítsák a fogyasztók és a szolgáltatók között a dinamikus, stabil energiaáramlást. Ebben a fejezetben ki fogom fejteni ezen rendszerek felépítését, fel fogom vázolni a működési elvüket és a felhasználási területeiket is be fogom mutatni.

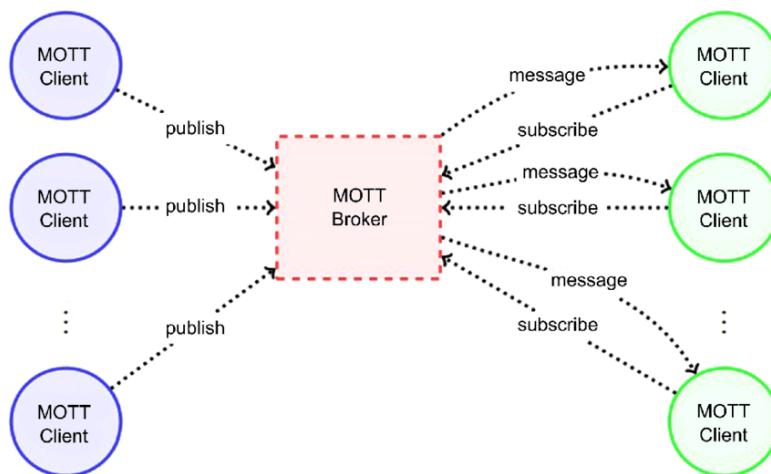
3.2 A terheléskezelő rendszerek felépítése

3.2.1 Az LMS-ek monitorozó és érzékelő egységei

Az LMS-rendszerek hatékony működéséhez elengedhetetlenek a különféle IoT alapú érzékelők, amelyek segítségével a rendszer képes a hálózati adatokat pontosan begyűjteni és feltérképezni annak aktuális terheltségét. [7] Az LMS-ek rendelkeznek feszültség, illetve áramerősség mérőkkel, amelyek valós időben képesek mérni a hálózat feszültségét, áramerősségét. Ezt követően az érzékelők digitális jel formájában továbbítják a felmért adatokat a központi egység felé, ahol ezen adatok feldolgozásra kerülnek. A teljesítménymérők lehetővé teszik az LMS-ek számára a hálózat teljesítményének felmérését, ezáltal képesek azonosítani a terhelési csúcsokat és lehetővé teszik a fogyasztási minták létrehozását és elemzését a központi egység számára. Ezek a fejlett rendszerek rendelkeznek hőmérséklet, illetve páratartalom érzékelőkkel is. Ez azért kulcsfontosságú a rendszer hatékony működéséhez, mert így képes a központi egység monitorozni az energiatároló berendezések környezeti körülményeit, így biztosítva a berendezések védelmét és működési hatékonyságuk növelését. Az intelligens mérőórák képesek valós időben adatokat gyűjteni a fogyasztásról, ezáltal a felhasználók bármikor nyomon tudják követni aktuális energiafogyasztásukat. Ezek a rendszerek hozzájárulhatnak továbbá az energiahatékonysági lépések kidolgozásához is. Tehát összefoglalva a monitorozó- és érzékelő eszközök folyamatosan gyűjtik az adatokat a hálózat működéséről, amelyeket kielemezve az LMS-rendszerek képesek észlelni az esetleges rendellenességeket, anomáliákat a rendszer működésében és azonnali válaszintézkedéseket tudnak tenni azok kijavítására. Ilyen válaszlépés lehet például a terhelés csökkentése vagy az energiaforrások átkapcsolása.

3.2.2 Az LMS-ek kommunikációs hálózata

Az LMS-ek rendelkeznek kommunikációs modulokkal is, amelyek ezen rendszerek működésének egyik legfontosabb alappillére képezik. Ezek a rendszerek biztosítják az adatátvitelt a monitorozó- és érzékelő rendszerek, valamint a központi irányítórendszer között. A modernebb rendszerek jellemzően vezeték nélküli kommunikációs technológiákat alkalmaznak (pl.: Zigbee, LoRaWAN). Ezek a kommunikációs eszközök lehetővé teszik az LMS-ek széleskörű telepítését és az egyes modulok közti gyors, valós idejű adatátvitelt. Az LMS kommunikációs moduljainak működését különböző adatátviteli protokollok támogatják, mint például az Üzenetsor-Közvetítés Alapú Telemetria Adatátviteli Protokoll (MQTT). Az MQTT-protokoll a „publish/subscribe” (PS), magyarul a „közzététel/előfizetés” modellre épül. Ez a szókapcsolat lényegében egy olyan kommunikációs mintát takar, amely lehetővé teszi, hogy a rendszerek és az eszközök aszinkron módon kommunikáljanak egymással anélkül, hogy közvetlen kapcsolatban lennének egymással. Értelemszerűen az üzenetküldő felek a „közzétevők”, míg az üzenet fogadói az „előfizetők”. [3] Így tehát az MQTT-protokoll a PS modellnek köszönhetően lehetővé teheti, hogy egy központi szerveren keresztül az egyes eszközök adatokat küldjenek és fogadjanak, minimalizálva így az adatforgalmat, ezáltal optimalizálva a hálózat kihasználtságát.



3. ábra: Az MQTT-protokoll működése a publish/subscribe modell alapján [19]

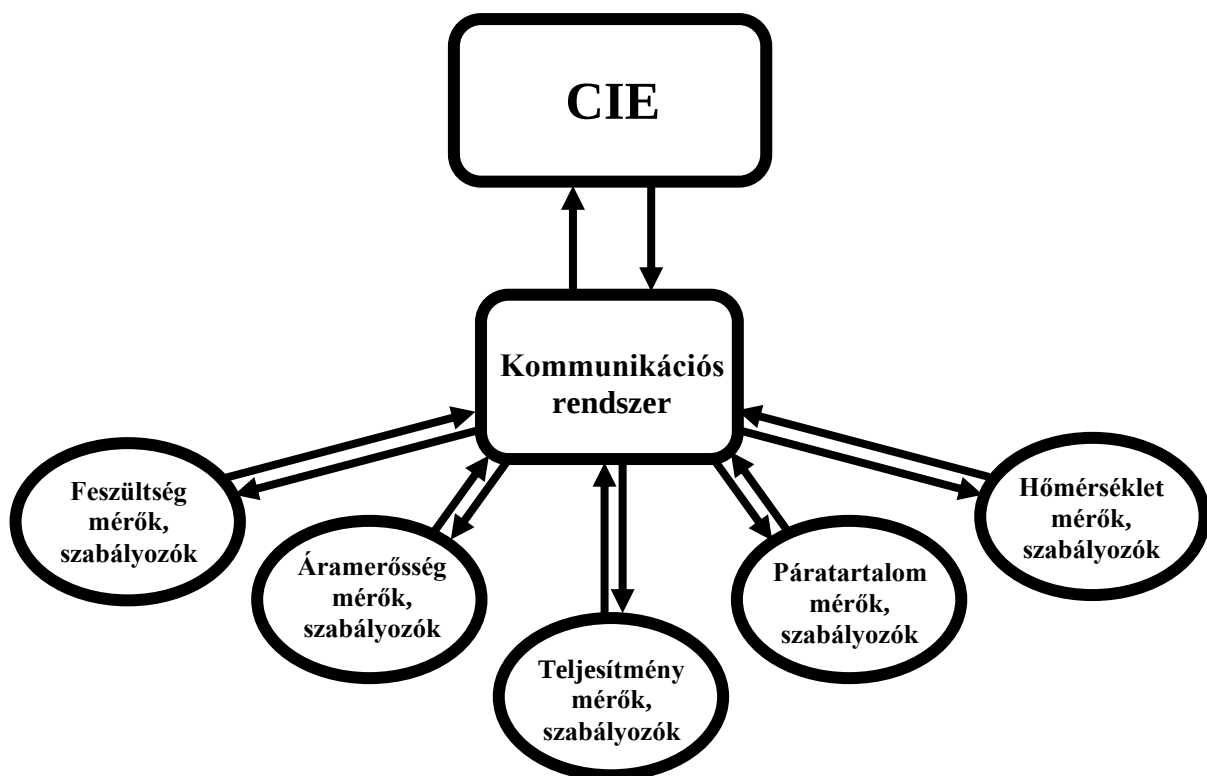
A protokoll előnyei közé tartozik, hogy könnyen üzembe helyezhető, alacsony az adatforgalmi igénye, illetve, hogy megfelelő működést tud biztosítani alacsony sávszélesség mellett is, ami különösen fontos az egymástól távol lévő érzékelők és vezérlők esetében. Továbbá az MQTT támogatja a különböző minőségi szinteket a szolgáltatásban (QoS), amely garantálja az adatküldés megbízhatóságát. Ebben az esetben az MQTT három QoS-szintet definiál.

A QoS 0-szinten az üzenetek egyszer kerülnek elküldésre és nincs garancia arra, hogy eljut a címzett modulhoz. Ezen szint alkalmazása jár a legkisebb költségekkel, de egyben ez a legmegbízhatatlanabb is. A QoS 1-szint esetében az üzenetek legalább egyszer eljutnak a címzett modulhoz, de előfordulhat, hogy az üzenet többször is megérkezik. Tehát ez a szint garantálja az üzenet megérkezését, azonban a duplikált üzenetek kezelése a címzett modult terheli. A QoS 2, a legmagasabb minőségi szint, garantálja, hogy az üzenetek pontosan egyszer kerüljenek kézbesítésre duplikáció nélkül. Ez a legfejlettebb adatküldési szint az MQTT-protokollban, de egyben ez jár a legnagyobb költségekkel, mivel bonyolultabb kézbesítési mechanizmusokat igényel. [21] Az MQTT-rendszereket gyakran a Mosquitto szerver- és kliens eszközökkel implementálják, amelyek nyílt forráskódú megoldások és biztosítják az MQTT-protokoll használatát mind az ipari, mind az akadémiai projektek számára. [30] Az MQTT-t továbbá integrálják például okosváros-szolgáltatásokhoz és környezeti monitoring rendszerekhez is. Ezen adatátviteli protokollok tehát elengedhetetlenek az LMS-rendszerek gyors válaszadási képességének eléréséhez. Az egyes kommunikációs modulok felépítése során a technikusok gyakran alkalmaznak ESP32 chipet, amelyek közvetlen internetkapcsolatot biztosítanak kommunikációs csomópontok alkalmazása nélkül, ezáltal egyszerűsítve az IoT-architektúrát. A kiberbiztonság kiemelten fontos az LMS kommunikációs rendszerében, különösen, ha egy hálózatban nagyon sok érzékelő és vezérlő eszköz található. A közvetlen kapcsolatot biztosító ESP32 chipet többféle biztonsági protokollt támogatnak. Ezek közé tartozik például az SSL és a TLS protokoll, amelyek az interneten keresztüli adatátvitel során biztosítják az adatok biztonságát, ezáltal megakadályozva a harmadik felek hozzáférését. Amennyiben az ESP32 chipet Wi-Fi kapcsolaton keresztül kommunikálnak, a WPA/WPA2 titkosítási protokollok alkalmazása bevett a biztonságos adatátvitel biztosítása érdekében. Ha a chipet felhőalapú szolgáltatáson közlik az adatokat, akkor a HTTPS védelmi protokoll alkalmazása szükséges, amely ötvözi a HTTP és a TLS/SSL titkosítási módszereket, így lehetővé téve a biztonságos webalapú kommunikációt. [36]

3.2.3 Az LMS-ek központi irányítórendszerei

Az LMS-ek irányítórendszerei a modern energetikai rendszerek szívére képezik, amelyek a legfontosabb szerepet töltik be a rendszer teljes architektúrájának működésében. A Központi Irányító Egység (CIE) felelős az összes rendszer adatainak összegyűjtéséért és elemzéséért. Ebben az egységben található egy adatbázis, ahol az érzékelők által mért és a feldolgozott adatok tárolódnak. Ezen kívül a CIE tartalmaz analitikai- és döntéstámogató algoritmusokat,

amelyek segítenek a hálózat optimalizálásában. A CIE folyamatosan elemzi az adatgyűjtő egységek által jelként továbbított adatokat, ezáltal előre tudja jelezni a jövőbeli energiaigényeket és azonosítani tudja a terhelési mintákat. Ezáltal a rendszer képes automatikus válaszlépések generálására. Például amikor a feszültség vagy az áramerősség a megengedett határokon kívülre esik, a CIE automatikusan aktiválja a védelmi mechanizmusokat, hogy megakadályozza a hálózati leállásokat. A CIE továbbá képes elemezni az aktuális kereslet és kínálat közti egyensúlyzavarokat. Ha a fogyasztás növekszik, a rendszer képes új energiaforrásokat aktiválni, vagy tudja csökkenteni a fogyasztói terhelést a kereslet stabilizálása érdekében. Az LMS irányítórendszerei továbbá kulcsszerepet játszanak a megújuló energiaforrások magas szintű integrációjában, hiszen a környezeti adottságokból származó ingadozásokat a CIE rövid időn belül optimalizálni tudja, ezzel biztosítva a hálózati stabilitást. A modern LMS-ek központi irányítóegységei egyre inkább alkalmaznak mesterséges intelligenciát és gépi tanulási algoritmusokat, ezzel meggyorsítva az adatfeldolgozási folyamatokat és lehetővé téve a rendszer számára, hogy a korábbi mintákból tanulva jobban tudjon alkalmazkodni a jövőbeli energiaigényekhez. [11,32]



4. ábra: Az LMS-ek egységei között történő adatátvitel

3.2.4 Az energiatárolási modulok integrálása az LMS-rendszerekben

A megújuló energiaforrások integrációjának révén az LMS-rendszerekbe manapság valamilyen energiatárolásra alkalmas rendszert is muszáj beleintegrálnunk a hálózati stabilitás megőrzésének érdekében. [22] Az LMS-be integrált energiatároló rendszer típusa attól függ, hogy milyen célra akarjuk használni az adott LMS-t. Ilyen rendszer lehet például egy Akkumulátoros Tárolórendszer (BESS), amely lítium-ion akkumulátorok, vagy ólom-sav akkumulátorok segítségével képes eltárolni a csúcsidőben megtermelt energiát, hogy egy későbbi, magas piaci árú időszakban aztán ezzel az energiával működtethesse a rendszert a költséghatékonyság megőrzésének érdekében. [33] Egy másik lehetőség a szuperkondenzátorok alkalmazása, amelyek bár rövid időre képesek csak energiát tárolni, de a magas energiaigény kielégítésének érdekében ezt az energiamennyiséget sokkal gyorsabban képesek leadni, mint a hagyományos akkumulátorok. Ez olyan esetekben nyújt tehát ideális megoldást, amikor rövid időre, de magas energiaigény lép fel a hálózatban. Egy másik, grandiózus energiatárolási metódus a Szivattyús Energiatárolás (PHS). Ez a módszer lehetőséget kínál arra, hogy szivattyúk segítségével a vizet alacsony terhelés mellett magasabb szintre pumpálják, majd az energiaigényes időszakokban ezt a víztömeget leengedjék, így meghajtva egy vízturbinát, amely elegendő energiát termel az energiaigények kielégítéséhez. Fontos megemlíteni, hogy ez a rendszer hatalmas területi igénnyel rendelkezik és nem igazán környezetkímélő megoldás, hiszen az ökoszisztémát felborítja egy ekkora víztározó megépítése. [25] A Fűtő, Szellőztető- és Légkondicionáló (HVAC) rendszerek körében a leggyakrabban használt módszer a Hőtárolás (TES), amely során a felesleges energiát hő formájában tárolják el. A TES módszer különösen hatékony a nagy fűtési- és hűtési igényű helyeken, különösen az ipari környezetekben, mivel a csúcsterhelés csökkentésére szolgál és növeli a rendszer energiahatékonyságát. [25]

3.2.5 Az LMS-ek felhasználói felületei

Az LMS-ek felhasználói felületei (UI) központi szerepet töltenek be az energiafelhasználás optimalizálásában és a hálózati terhelés kezelésében. Ezeket a felületeket úgy tervezik meg, hogy intuitív, valós idejű adatokat és visszajelzéseket nyújtsanak a felhasználóknak a rendszerek állapotáról és teljesítményéről. Ezek az UI-k általában az alábbi kulcselemeket tartalmazzák. Az LMS-ek UI-ja gyakran rendelkezik interaktív grafikonokkal és diagramokkal, amelyek vizualizálják az energiafogyasztást, a hálózati terhelést és az energiatárolók állapotát.

Ezek a vizuális elemek lehetővé teszik a felhasználók számára, hogy gyorsan fel tudják mérni az energiaáramlást és a terhelési csúcsokat. Az UI-n kiemelt fontosságúak a riasztások és az értesítések, amelyek figyelmeztetik az operátorokat a rendszerhibákra és a túlterhelési veszélyekre. Ezek az értesítések lehetnek vizuális, illetve hangjelzések is. A vizuális értesítéseket gyakran színkóddal is ellátják, hogy az operátorok gyorsan fel tudják mérni a helyzet súlyosságát. A felhasználók számára kialakított vezérlőpultok összefoglaló adatokat jelenítenek meg az aktuális teljesítményről, terheléelosztásról és a különböző rendszerparaméterekről. Ezáltal a felhasználók egyszerűsített nézetben tudják követni a rendszer működését. A felhasználói felületek továbbá elérhetővé tehetnek adatbázisokat, amelyek a múltbeli adatokhoz nyújthatnak hozzáférést. Így az üzemeltetők összehasonlításokat végezhetnek, ezáltal riportokat készíthetnek és azonosíthatják a hosszútávú trendeket, segítve ezzel a jövőbeli döntések előkészítését. Azonban napjainkban ezen adatbázisokat egyre inkább ML-algoritmusok elemzik az MI segítségével, így a lehető legpontosabb előrejelzéseket kaphatjuk a jövőbeli termelési- és fogyasztási adatokról. Kutatások kimutatták, hogy a hatékony LMS UI-dizájn egyszerű és intuitív, így gyorsan elérhetik a felhasználók az adatokat és gyorsan irányíthatják eszközeiket. Az MI által vezérelt rendszerek és az előre beállított automatizálási lehetőségek csökkenthetik az aktív kezelési igényt, ami a felhasználók számára vonzó tulajdonság. [1]

3.3 A terheléskezelő rendszerek működése

Most, hogy felvázoltuk az LMS-ek működési egységeit és azok különálló specifikációit, működésüket, térjünk rá a rendszer teljes, összetett működésére. Ezen rendszerek működését négy főbb részfolyamatra bonthatjuk szét, amelyeket az alábbi alpontokban külön-külön ki is fogok fejteni.

3.3.1 Adatgyűjtés- és érzékelés

Az LMS első lépésben a korábban említett fejlett, IoT-alapú érzékelők segítségével a fogyasztói hálózatról begyűjti a hálózat optimális működtetéséhez szükséges adatokat, mint például az áramerősséget, a feszültséget. Továbbá az LMS begyűjti a rendszer működési környezetéből származó külső adatokat is, mint például a hőmérsékletet és a páratartalmat. Összesítve tehát az első lépésben a rendszer begyűjti a hálózat aktuális terhelésének felméréséhez és a fogyasztási minták azonosításához szükséges adatokat.

3.3.2 A begyűjtött adatok feldolgozása

A következő lépésben a begyűjtött adatok az LMS központi feldolgozóegységébe kerülnek, ahol fejlett algoritmusok segítségével feldolgozásra kerülnek különböző MI és ML funkciók segítségével. Az ML-algoritmusok a múltbeli viselkedések kielemezésével képesek előrejelzéseket készíteni a rendszer számára, hogy a jövőbeli optimalizálási folyamatok ezáltal gyorsabban, hatékonyabban mehessenek végbe.

3.3.3 A hálózat optimalizálása

A begyűjtött, majd feldolgozott valós idejű adatok, illetve a fogyasztási igények alapján a CIE ezután a döntéshozó és az analitikai algoritmusok segítségével automatikusan szabályozza a terhelést. Az optimális hatékonyság elérésének érdekében az LMS kapcsolgathatja a nagy energiafogyasztású készülékeket és felhasználhatja az energiatárolási egységeken tárolt energiát is ezen gépek költséghatékony működtetéséhez a csúcsidőszakokban. A meghozott döntéseket és a vezérlési utasításokat ezután a CIE a kommunikációs modulok és protokollok segítségével továbbítja a rendszer végrehajtási egységeibe, amelyet a különböző áramerősség, feszültség szabályozók képeznek. *(Lásd: 4. ábra)*

Az egyes szabályozási folyamatok végrehajtásáról, illetve a hálózat aktuális állapotáról a CIE értesítéseket küld a felhasználónak az UI-n keresztül, lehetőséget adva a manuális beavatkozásra is, ha szükséges.

3.3.4 Az LMS önfejlesztése

Az utolsó lépésben az LMS-ek a végrehajtó moduloktól visszaérkezett adatok alapján képesek önmagukat fejleszteni. A korábban említett gépi tanulási algoritmusok a beérkező adatok alapján képesek új mintákat felismerni, pontosítani az előre jelzési modelleket, majd finomítani tudják az optimalizációs stratégiákat, így lehetővé téve a későbbi pontosabb, hatékonyabb hálózatkezelést.

3.4 A terheléskezelő rendszerek alkalmazási területei

Az LMS-ek felhasználása igazán széleskörű. Vegyük például először az ipari szektort. Az acélgyártásban például a világ egyik legnagyobb acélgyártó cége, az ArcelorMittal, az elektromos kemencéinek és a hengerműveinek energiafelhasználásának optimalizálására használja a terheléskezelő rendszereket.

Az LMS-ek megállás nélkül figyelik és elemzik a hálózati viszonyokat, majd ezek alapján időzítik a kemencék bekapcsolását, így elkerülve a drága csúcsidős fogyasztást. A vegyiparban a BASF óriáscég LMS-ekkel szabályozza a gyártási folyamatait, időzíti a nagy energiaigényű szintézisreakciókat, hogy azok ne a legdrágább energiaár mellett menjenek végbe. Az autógyártásban például a Toyota a robotok és a hegesztőberendezések energiafelhasználásának optimalizálására használja az LMS-eket. A Toyota LMS rendszere automatikusan késlelteti a nem időérzékeny műveleteket, amikor a hálózati terhelés magas, így csökkentve a cég kiadásait. Az LMS-eket továbbá lakossági színtereken is alkalmazzák, főleg társasházakban. Ezek az LMS-ek a háztartási készülékek működését hozzáigazítják az energiaigényekhez, ezáltal csökkentve a fogyasztási csúcsokat. A lakossági LMS-ek gyakran integrálnak megújuló energiaforrásokat, például napelemeket, hogy szükség esetén képesek legyenek átcsoportosítani az energiát az optimális felhasználás érdekében. Az LMS rendszereket használják még az okosvárosi infrastruktúrák kiépítésénél is. Ezek a rendszerek a város közvilágítását, forgalomirányító rendszereit és más közszolgáltatások energiaszükségleteit szabályozzák. A terheléskezelő rendszerek fontos szerepet játszanak főként a megújuló energiával működő erőművek termelésének szabályozásában is. Így például az úgynevezett virtuális erőművekben (VPP) az LMS-ek képesek összekapcsolni a különböző energiaforrásokat, mint például a napenergiát és a szélenergiát az energiatároló rendszerekkel. Ezek az erőművek tehát képesek az alacsonyabb fogyasztási időszakokban megtermelt energiát eltárolni, hogy a csúcsidőszakokban ki tudják szolgálni a magas energiaigényt. [23,35]

Az LMS-ek tehát az elosztott erőforrások termelésének optimalizálásával és gyors reakcióképességükkel hozzájárulnak a hálózat stabilitásához. Az amerikai Holy Cross Energy cég például letesztelte a megújuló energiaforrások elosztott irányítását egy vidéki közösség hálózatán. A teszt végeredményei pozitívnak bizonyultak, ugyanis az amerikai Nemzeti Megújuló Energia Laboratórium (NREL) által kifejlesztett Fejlett Hálózatiirányító Rendszer (ADMS) hatékonyan szabályozta a hálózati feszültséget, ezzel csökkentve a hálózati feszültséget és csúcsterhelést. Az ADMS továbbá költséghatékonyabban biztosította a teszt során az energiát az elosztott energiaforrásokat (DER) használó fogyasztóknak. [12,26] A lakossági LMS rendszereket általában az elektromos járművek töltésénél használják még. Ezen LMS-ek optimalizálják a töltés költségét azáltal, hogy a kedvezőbb időszakokban (pl.: este) indítják el a töltést, ezzel csökkentve a kiadásokat és a hálózat terheltségét. Szeretném megemlíteni továbbá az LMS rendszerek HVAC-rendszerekben történő alkalmazását is. Ezek az LMS-ek alkalmazkodnak az időjárási viszonyokhoz és az épület aktuális kihasználtságához, majd ezek függvényében optimalizálják a HVAC-rendszerek működését az ideális

energiafogyasztás megőrzésének és a felesleges energiafogyasztás elkerülésének érdekében. Összességében tehát az LMS-ek széles körben használhatók különböző környezetekben, mindenhol hozzásegítve a fogyasztókat és a szolgáltatókat az energiahatékonysághoz, a költségmegtakarításhoz és a fenntarthatósági célok eléréséhez.

4. Az okoshálózatok

4.1 Az okoshálózatok áttekintése

Az okoshálózatok mondhatni a modern energiaellátás mozgatórugói, mivel lehetővé teszik az energiaforrások hatékonyabb felhasználását, az energiatárolás optimalizálását és a megújuló energiaforrások egyre magasabb szintű integrációját. Ezek a hálózatok rugalmasságot és stabilitást nyújtanak a hálózatok számára, hozzájárulva a megbízható és fenntartható energiaellátáshoz, valamint a fogyasztói költségek minimalizálásához. Ezen rendszerek a decentralizáció folyamatát is elősegítik, hiszen egy okoshálózat lehet országos, regionális, városi, vagy akár lakóközösség méretű is. [31] Ebben a fejezetben rá fogok világítani arra, milyen fontos szerepet játszanak ezek a hálózatok a fenntarthatóságban és a hálózati stabilitásban. Továbbá be fogom mutatni a hálózatok alapvető szerveződési szintjeit és részeit, a témához kapcsolódó technológiákat, így elősegítve a téma feldolgozását és a rendszer hatékonyságának kiemelését.

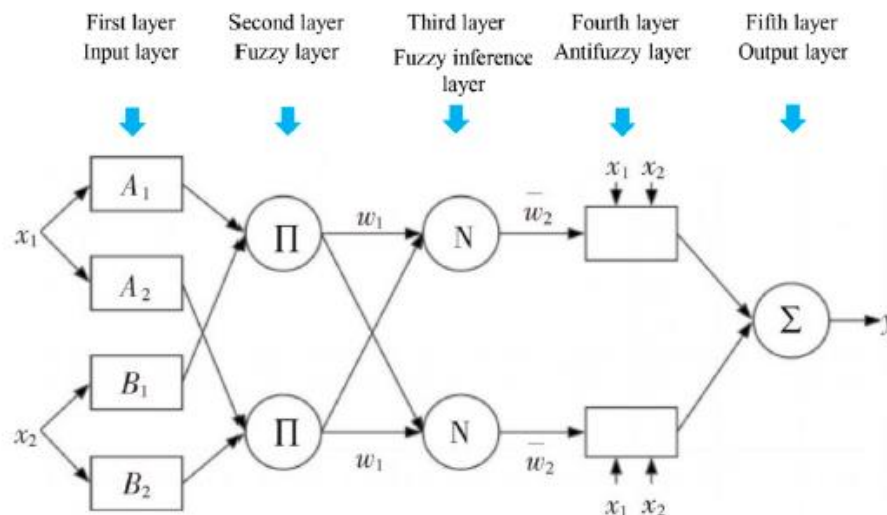
4.2 Az okoshálózati rendszerekhez kapcsolódó technológiák

Mielőtt rátérnék az okoshálózatok felépítésére, szeretném bemutatni az okoshálózatok által alkalmazott lényegesebb technológiákat, amelyek megértése szükséges az okoshálózatok teljes működésének értelmezéséhez.

4.2.1 Az Adaptív Neurális-Fuzzy Következtetési Rendszer (ANFIS)

Az ANFIS-rendszerek működése alapvetően a fuzzy logika és a mesterséges neurális hálózatok ötvözésén alapul, célja pedig a komplex, nemlineáris rendszerek szabályozása és azok működésének előrejelzése. Az ANFIS-rendszerek szerkezetüket tekintve öt rétegből állnak. Az első réteg a bemeneti réteg, ahol a különböző paraméterek és változók bekerülnek a rendszerbe. Ezután az adatok átkerülnek a rendszer fuzzifikációs rétegébe, ahol a rendszer a fuzzy logikai szabályok és tagsági függvények segítségével kvalitatív információvá alakítja a bemeneti adatokat.

Ezután megszületnek a bemeneti adatok fuzzy értelmezései és megkapjuk a változók tartományait. Ezután a fuzzy értelmezéseket felhasználva a rendszer a következtetési rétegben a fuzzy logika szabályai szerint meghatározza azokat a döntési folyamatokat, amelyeket szükségesnek vél az átalakított bemeneti adatok alapján. Miután megszülettek a döntések, az defuzzifikációs rétegben a rendszer visszaalakítja a fuzzy adatokat konkrét értékekké, amelyeket végső kimenetként használ az ANFIS. Végül a kimeneti rétegben az előzőleg visszaalakított értékek elvégzik az energiai irányítási feladatokat, mint például a terhelés, vagy az energia szabályozást.



5. ábra: Az ANFIS-modell struktúrája [27]

A kapcsolódó szakirodalom [27] részletesen tárgyal egy kombinált tanulási algoritmust, ami előre- és visszamenő folyamatokkal optimalizálja az ANFIS paramétereit. Röviden ez az algoritmus a Hangyakolónia Optimalizációt (ACO) alkalmazza, ami annyit tesz, hogy a rendszer ismétlődően közelíti az optimális megoldást a csoportos viselkedés alapján.

Az ANFIS alkalmazása számos helyen javítja az okoshálózatok teljesítményét például az inverterek területén, amit később részletesen is ki fogok fejteni. Összességében tehát az ANFIS-rendszer a hagyományos fuzzy rendszerekkel szemben sokkal jobban alkalmazható nagy méretű, dinamikus terhelések kezelésére. Ez lehetővé teszi az ANFIS széleskörű felhasználását az okoshálózati rendszerekben, különösen a nemlineáris és komplex problémák megoldásában.

4.2.2 Maximális Teljesítménypont Követés (MPPT)

Az MPPT egy olyan technológia, ami lehetővé teszi a fotovoltaiikus (PV) rendszerek számára, hogy a lehető legtöbb energiát nyerjék ki a napfényből az adott körülmények között. Az MPPT irányítására általában az ANFIS-rendszereket alkalmazzák, melyeknek az az előnyük, hogy nincs szükségük pontos matematikai modellre és képesek a változó bemenetek kezelésére is a

PV rendszerek MPPT folyamatának optimalizálása alatt. A napelemek teljesítménye ugyebár nemlineárisan változik a feszültséggel, emiatt minden adott napfény- és hőmérsékleti viszonyhoz tartozik egy maximális teljesítménypont (MPP), amelyek követésére különféle teljesítménykövető algoritmusokat használhatunk. Itt szeretném megemlíteni a legfontosabb algoritmust. A magyarul Zavarás és Megfigyelés (P&O) néven ismert algoritmus vagy a feszültség, vagy az áramerősség kis mértékű megváltoztatásával figyeli a teljesítményváltozást. Az algoritmus tehát „megzavarja” a rendszer feszültségét, vagy az áramerősségét, majd a változás irányának megfelelően módosítja a beállításokat. Ha a teljesítmény növekszik, akkor ugyanabba az irányba folytatja a változtatást, ha csökken, akkor pedig az ellenkező irányba. Ez a folyamat mindaddig tart, amíg az algoritmus meg nem találja az MPP-t. Az MPPT előnyeiként tehát felsorolható a PV rendszerek energiatermelésének növelése, hatékonyságuk maximalizálása. Az ANFIS alapú MPPT előnyei közé tartozik továbbá a rugalmasabb működés és a gyorsabb alkalmazkodás az időjárási változásokhoz. [27]

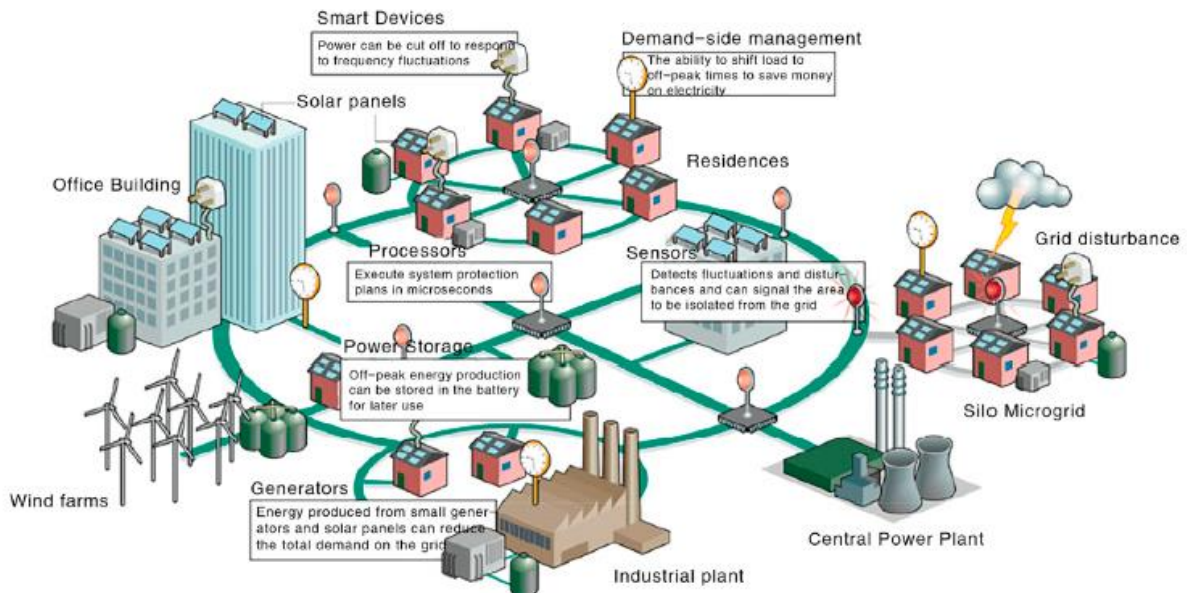
4.2.3 A járművek hálózati integrálása (V2G)

A V2G technológia egy olyan innovatív rendszer, amely lehetővé teszi az elektromos járművek (EV) számára, hogy ne csak energiát vegyenek fel a hálózatról, hanem képesek legyenek vissza is táplálni abba. Ez a technológia jelentős előnyöket nyújt mind a járműtulajdonosok számára költséghatékonysági szempontokból, mind az energiaszolgáltató cégek számára a megújuló energiaforrások integrációjával kapcsolatban. A technológia jellemző tulajdonsága a két irányú energiaáramlás, ami lehetővé teszi a járművek számára, hogy ne csak elvenni tudjanak energiát az okoshálózatról, hanem vissza is tudjanak tölteni abba, amikor nincsenek használatban.

Erről részletesebben a 4.3.3 pontban fog szó esni. Előnyeit tekintve elmondható, hogy a V2G technológiával a járműtulajdonosok akár pénzt is kereshetnek azzal, hogy a járművükben tárolt energiát eladják az áramszolgáltató cégeknek. [18] Továbbá ez a technológia elősegíti a fosszilis üzemanyagok iránti kereslet és ezáltal a CO₂ emisszió csökkentését. Ezen technológia elterjedését azonban különböző jogi, szabályozási és technikai kihívások akadályozzák jelenleg. Technikailag elmondható, hogy a V2G technológia működtetéséhez először a magasan fejlett kommunikációs és irányítási rendszerek kiépítése szükséges, amelyek biztosítják a megbízható energia, illetve adatáramlást. Napjainkban számos kutatások és kísérleti projektek zajlanak a V2G technológiával kapcsolatban. [37] Dániában és Japánban például már sikeresen integrálták ezeket a rendszereket a meglévő energiahálózatokba és jelenleg is tanulmányozzák a jövőbeli bővítések lehetőségeit.

Összegezve tehát a V2G technológia jelentős potenciállal bír a fenntartható energia jövőjében és a visszatáplálási opció elősegítheti a hálózatok stabilitásának növelését a megújulók egyre magasabb szintű integrációjával együtt. [28]

4.3 Az okoshálózatok szerveződési szintjei, működése



5. ábra: Az okoshálózatok szerveződési szintjei [27]

4.3.1 Energiatermelési egységek

Ahogy az 5. ábrán is látható, egy okoshálózat energiatermelése több lábon áll.

Amiket elsőnek kiemelnék, azok a napelemek. Ahogy az ábra is szemlélteti, egy okoshálózatban minden lakóház, irodaház és egyéb épület tetején megtalálhatók a napelemek. Ezek a napelemek MPPT technológiát használnak, amelyet az ANFIS algoritmus optimalizál. Ez javítja a napenergia hasznosítási hatékonyságát, különösen változó időjárási körülmények között. A másik megújuló energiaforrás az okoshálózatokban a szélenergia, amelyet szélérőművekkel hasznosítanak. Ahogy az ábra is mutatja, ezek a szélfarmok a város határán helyezkednek el, ahol nem blokkolja semmilyen épület a szél mozgását, így a szélenergiából származó áramtermelés maximalizálható. A harmadik, egyben utolsó energiatermelési egység egy központi erőmű, amely kizárólag olyan vészhelyzetek esetén üzemel, amikor a stabil energiaellátás sem a megújuló energiaforrásokból, sem pedig az energiatároló egységeken eltárolt energiából nem biztosítható. Fontos kiemelni, hogy ez az erőmű csak akkor lép életbe, ha a teljes rendszerre nézve instabil az energiaellátás.

Kisebb, mikro- és nanogrides hálózati instabilitások esetén az adott mikrogrid vészhelyzeti energiatermelési egysége aktiválódik abban az esetben, ha nincs az adott mikro/nanogridnek eltárolt nap, vagy szélenergiája akkumulátorokon vagy szuperkondenzátorokon. Ez az egység általában egy nagyobb teljesítményű dízelgenerátor, ami mondjuk egy lakókörtet képes ellátni árammal vészhelyzet esetén. A nagyobb irodaházaknak, fontosabb épületeknek külön dízelgenerátor is rendelkezésükre állhat, hogy a fontosabb munkafolyamatok megszakítás nélkül folyhassanak.

4.3.2 Energiatárolási egységek

Ahogy az 5. ábra is szemlélteti, az okoshálózatok felépítésében kiemelten fontos szerepet játszanak az energiátárolásra alkalmas eszközök. Az ábra megmutatja, hogy a szélfarmok által termelt felesleges energia eltárolásához szükséges a legtöbb akkumulátoros energiátároló rendszer (BESS). Ezen nátrium-kén akkumulátorok jelentősége kritikus egy okoshálózatban, hiszen a megújuló energiaforrások a környezettől függenek, ezért a megfelelő időjárási viszonyok mellett megtermelt többletenergia eltárolása szükségszerű a költséghatékony, stabil zöld energia biztosításához a kedvezőtlen időjárási viszonyok között. Ahogy az ábra is szemlélteti, a hálózat mikrogrid egységei rendelkezhetnek akár egy nagyobb kapacitású, lokális akkumulátorral, ami tárolja a többletenergiát, vagy akár minden háztartás külön-külön is alkalmazhat egy energiasejtát a saját áramstabilitásának megőrzéséhez. A nagyobb energiaigényű épületek természetesen ebben az esetben is rendelkezhetnek nagyobb kapacitású akkumulátorokkal. A másik energiátárolási módszer egy okoshálózati rendszer esetében a szuperkondenzátorok alkalmazása. Ahogy már korábban is említettem, ezek a szuperkondenzátorok képesek gyorsan, nagy mennyiségű energiát eltárolni és leadni, de csak rövid időre. Ezeket az eszközöket egy okoshálózatban abban az esetben alkalmazhatjuk, amikor különösen magas a fogyasztási ráta és sok energiára van szükség a stabil hálózati működés megőrzéséhez.

4.3.3 Az elektromos járművek (EV-k)

Az elektromos járművek fontos szerepet töltenek be az okoshálózatokban több szempontból is. Azon EV-k, amelyek a hálózatra csatlakoztatott akkumulátorral rendelkeznek, képesek a hálózati terhelés egyenletes elosztására. Az EV-k a csúcsterhelési időszakokban történő töltésükkor hozzájárulhatnak a hálózat kiegyensúlyozott energiaellátásához, mivel a töltésük az LMS-ek segítségével időzíthetők alacsony energiaigényű időszakokra, ezáltal csökkentve a

csúcsidőszakokban a hálózati terheltséget. Továbbá ezek a közlekedési eszközök biztosítják a két irányú energiaáramlást azáltal, hogy támogatják a V2G technológiát, amely lehetővé teszi, hogy az autók akkumulátorai szükség esetén energiát szolgáltatassanak vissza a hálózatba. Ez segít az energiaellátás rugalmasságának megőrzésében, valamint csökkenti a hálózati terhelést az igények ingadozása esetén. Költségoptimalizációs szempontokból az okoshálózat irányítási rendszere figyelembe veszi az EV-k töltési- és kisütési folyamatait az időszakos energiaár-tarifák alapján, optimalizálva ezzel a felhasználási költségeket, különösen a csúcsidőszakokban. Továbbá az EV-k hozzájárulnak az okoshálózaton lévő megújuló energiaforrások integrálásához azáltal, hogy az általuk tárolt energiát hálózati egyenlegként használhatják fel, ha a megújuló energiaforrások termelése csökken. Összességében tehát az EV-k kulcsfontosságú szerepet játszanak az energiahatékonyság, a fenntarthatóság és a költséghatékonyság növelésében az okoshálózatokon belül.

4.3.4 Az intelligens fogyasztási egységek és épületek

Egy okoshálózat felépítésében elengedhetetlen, hogy okos fogyasztási egységeket és épületeket alkalmazzunk, hiszen így őrizhető meg a teljes rendszer integritása. Energiahatékonysági szempontokból az intelligens épületek és fogyasztási egységek képesek valós idejű fogyasztási adatok mérésére és kezelésére. Ezen adatok alapján az okoshálózat központi egysége az ANFIS-algoritmus segítségével képes optimalizálni a fogyasztási mintákat, csökkentve ezzel az üzemeltetési költségeket és az energiaveszteséget. Költségmegtakarítási szempontokból ezek a fogyasztási egységek képesek a terheléscsúcsok kezelésére különféle kezelési technikákkal, mint például a nem létfontosságú berendezések leállításával. Így tehát időzíthetővé válik az energiahasználat, vagyis optimalizálhatóvá válik a fogyasztók energiafogyasztása, ami jelentősen lecsökkentheti az energiaköltségeket. Az intelligens épületekben alkalmazott IoT-technológiák továbbá lehetővé teszik a gyors alkalmazkodást a változó energiaigényekhez, így növelve az energiaszolgáltatás rugalmasságát és elősegítve a hálózat stabilitását. A két irányú kommunikációs rendszereknek köszönhetően az intelligens hálózatok képesek a fogyasztói igények valós idejű monitorozására, így össze tudják hangolni dinamikusan az energiatermelést és az energiaszolgáltatást. Ezen rendszereknek köszönhetően a fogyasztók hozzáférhetnek az aktuális energiaárakhoz, ami lehetővé teszi a hatékony költségcsökkentést. Összességében tehát a két irányú kommunikációs rendszerek létfontosságúak az intelligens fogyasztói modulok sima működéséhez. [27]

4.3.5 Az okoshálózati inverterek

Az okoshálózatok működésében jelentős szerepet játszanak az inverterek, amelyek több funkciót is ellátnak. A legjelentősebb funkciójuk a napelemek által megtermelt egyenáram (DC) átalakítása váltakozó árammá (AC), amely kompatibilis az energiahálózattal és a fogyasztói modulok energetikájával. Egy másik feladatkörük az invertereknek a feszültségszabályozás és annak stabilitásának megőrzése. Az inverterek egy ANFIS-alapú szabályozóval képesek fenntartani az állandó kimeneti feszültséget váltakozó bemeneti feszültségek mellett is. Az ANFIS-szel kombinálva ezek az inverterek folyamatosan figyelik a feszültségingadozásokat és gyorsan képesek reagálni a változásokra. Az okoshálózati inverterek továbbá kezelik a nemlineáris terheléseket és a hálózati fluktuációkat is. Ilyenkor az inverterek az ANFIS-vezérlésen keresztül biztosítani tudják a megújuló energiaforrások okozta nemlineáris terhelések és feszültségingadozások stabillá tételét, így növelve az okoshálózat megbízhatóságát. Pozitívumként kiemelhető még, hogy ezek az inverterek képesek arra, hogy a hirtelen bekövetkezett, előre nem megjósolható hálózati terhelések esetében, vagy az egyéb extrém körülmények között is gyors reakcióidőt biztosítsanak a modern automatizálási technológiájuk révén. [27]

4.3.6 Az okoshálózatok energiairányítási rendszerek (EMS)

Az energiairányítási rendszerek szerves részét képezik az okoshálózatoknak, hiszen biztosítják a hálózat stabil működését. Működése szerint több hasonlóságot is mutat az LMS-rendszerekkel, azonban fókuszpontjaik különbözők. Míg az LMS közvetlenül a terheléselosztást szabályozza, addig az EMS szélesebb körben kezeli egy okoshálózat teljes energiagazdálkodását. Mindkét rendszerre jellemző a két irányú adatáramlás és a valós idejű adatgyűjtés. Míg az EMS egy teljes okoshálózat energiaforrásait (napelemek, akkumulátorok stb.) magában foglalja és kezeli, addig egy LMS kifejezetten a hálózat terhelésének kezelésére fókuszál, hogy elkerülje a csúcsidőben jelentkező túlterheléseket. Összességében tehát az EMS és az LMS rendszerek jól kiegészítik egymást az energiaiparban, az okoshálózatokban akár együtt is alkalmazhatók. Az EMS tehát hasonlít egy „központi agyhoz”, ami összefogja az okoshálózatok egyes rendszereit, de nem egyetlen központi egységként működik, hanem ahogyan az 5. ábra is szemlélteti, több egységből áll, és azok összehangolt, valós idejű algoritmikus együttműködését takarja. [27]

4.4 Az okoshálózatok jövője

Következtetésképp elmondhatjuk, hogy az okoshálózatok szerepe egy fenntartható jövő elérésének érdekében kulcsfontosságú, hiszen a decentralizációs célok kezdőlépése az, hogy megteremtjük a felhasználók számára a megfelelő hálózati környezetet, emellett eléggé fejlett és fenntartható akkumulátor technológiával rendelkezünk ahhoz, hogy az egyes mikrogrid rendszerek önállóvá és függetlenné tudjanak részlegesen válni az energiaszolgáltatóktól.

Teljes hálózati leválás véleményem szerint a megújuló instabilitása miatt nem lehetséges jelenleg fenntartható módon, hiszen az akkumulátorok is korrodálódnak egy bizonyos időtartam után, nagymennyiségű veszélyes, nem újrahasznosítható hulladékot generálva ezzel. Amire elsődleges fókuszálnia kell a világnak a zöld átállás előtt, az az energiatárolási módszerek hulladékmentesítése. Ezalatt azt értem, hogy olyan technológiákat kellene kifejleszteni, amelyek nagyon minimális hulladék generálásával lennének képesek energiát tárolni, így csökkentve a bolygó hulladékterheltségét. Azonban az biztos, hogy az okoshálózati rendszer megfelelő integrálása a megfelelő eszközökkel egy új korszakot fog nyitni a lakossági energiafelhasználás és a lakossági hálózatok terén.

5. Az Energy Clutch lakossági alkalmazása

A címben említett fogalom egy eléggé frissen született elképzelés a lakossági szektort érintően. Az EC eszközök úgy, mint lakossági modulok, nem léteznek jelenleg, azonban az ipari szektorban egyre elterjedtebbek. Ebben a fejezetben szeretnék rávilágítani arra, hogy egy ilyen rendszer kifejlesztése és integrálása egy otthoni nanogrid okoshálózatba milyen mértékben csökkentené egy háztartás kiadásait, a jelenlegi eszközbeszerzési árak mellett mennyi idő múlva térülne meg a befektetett összeg. Ennek szemléltetéséhez fel fogok állítani egy képzeletbeli modellt, amellyel megtudhatjuk, mennyi energiát is spórolhatunk meg egy ilyen rendszer alkalmazásával átlagosan évente.

5.1 A modell felállításához felhasznált adatok

A modellem elkészítéséhez sokféle adatot használtam fel. A legelső lépésben összegyűjtöttem a háztartásunk energiafelhasználási adatait 2022-ig visszamenőleg, majd ezeket összegeztem egy Excel-táblázatban. Az energiafelhasználási adatokat és árakat az alábbi táblázatok szemléltetik. A táblázatokban megtekinthetjük az egyes évek hónapokra lebontott energiafelhasználási adatait és költségeit. Ide csak a modell felépítéséhez szükséges adatokat

fogom beszúrni, a részletesebb táblázatokat a függelékben csatolom. A táblázatban megfigyelhető, hogy azonos fogyasztási adatok esetén eltérő a végösszeg. Ez azért fordul elő, mert a fogyasztás mennyisége két árkategóriás áramból tevődik össze, a piaci és a kedvezményes árból. Ezen mennyiségek különböző aránya eredményezi tehát az eltérő havidíjakat azonos fogyasztás esetén. A havidíj magában foglalja továbbá a rendszerhasználati díjat, az átviteli díjat, az elosztói alapidíjat és az elosztói forgalmi díjat is.

2022	Energiafelhasználás	Bruttó havidíj
január	292 kWh	10.905 ft
február	292 kWh	10.905 ft
március	292 kWh	10.905 ft
április	292 kWh	10.905 ft
május	292 kWh	10.905 ft
június	221 kWh	8.227 ft
július	220 kWh	8.227 ft
augusztus	221 kWh	8.618 ft
szeptember	222 kWh	8.542 ft
október	221 kWh	8.198 ft
november	231 kWh	7.954 ft
december	221 kWh	8.406 ft

2023	Energiafelhasználás	Bruttó havidíj
január	221 kWh	8.686 ft
február	240 kWh	7.954 ft
március	221 kWh	8.650 ft
április	205 kWh	9.560 ft
május	349 kWh	19.174 ft
június	349 kWh	16.925 ft
július	349 kWh	17.379 ft
augusztus	349 kWh	17.657 ft
szeptember	349 kWh	16.683 ft
október	349 kWh	17.379 ft
november	349 kWh	16.925 ft
december	349 kWh	17.169 ft

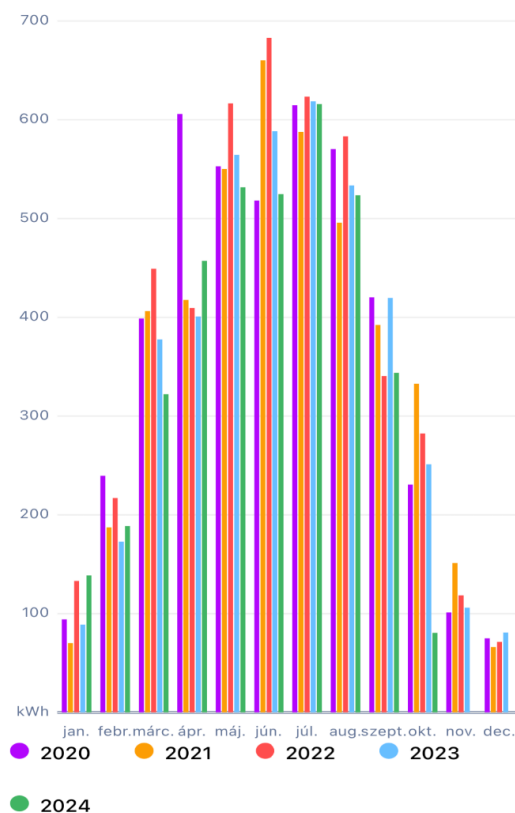
2024	Energiafelhasználás	Bruttó havidíj
január	349 kWh	17.866 ft
február	344 kWh	17.220 ft
március	337 kWh	16.574 ft
április	306 kWh	16.945 ft
május	319 kWh	17.315 ft
június	319 kWh	15.518 ft
július	319 kWh	16.529 ft
augusztus	319 kWh	15.066 ft
szeptember	300 kWh	16.453 ft
október	319 kWh	17.820 ft
november	350 kWh	17.450 ft
december	360 kWh	19.500 ft

Megfigyelhetjük, hogy a 2024-es táblázat utolsó két hónapja sárga színnel van kiemelve. Ez azért van, mert ezen hónapok fogyasztási adataival még nem rendelkezem a dolgozat megírásának ideje alatt, ezért ezeket az adatokat csak megbecsülni tudtam az éves adatok

alapján. A becslést a lehető legpontosabban, egy MI segítségével kiviteleztem. Az MI figyelembe vette a korábbi hónapok adatait és a hideg évszakok magasabb energiafelhasználását is, így a legpontosabb közelítéssel tudta megmondani, hogy előreláthatólag mennyi lesz a fogyasztásunk és annak díja. A modell elkészítéséhez szükségem volt továbbá egy debreceni 13kWp teljesítményű napelemrendszer fogyasztási adataira a vizsgált időszak alatt. Ezeket a termelési adatokat az alábbi táblázatban találhatjuk.

Termelési adatok	2022	2023	2024
január	124 kWh	94 kWh	145 kWh
február	216 kWh	176 kWh	194 kWh
március	453 kWh	377 kWh	320 kWh
április	405 kWh	400 kWh	458 kWh
május	616 kWh	560 kWh	530 kWh
június	691 kWh	592 kWh	524 kWh
július	620 kWh	613 kWh	617 kWh
augusztus	593 kWh	530 kWh	520 kWh
szeptember	345 kWh	416 kWh	345 kWh
október	281 kWh	250 kWh	230 kWh
november	115 kWh	105 kWh	115 kWh
december	78 kWh	85 kWh	60 kWh

A sárga rész itt is azt jelöli, mint előzőleg, tehát ez az adat csak egy becslés a korábbi évek tendenciája szerint. Ezek az adatok egy létező, működő, debreceni napelemrendszer termelési adatai hónapokra lebontva. Az összesített diagramja alább megtekinthető.



Ezen a diagramon tökéletesen megfigyelhető, hogy az energiatermelés görbéje harang alakú, azaz a napelemből származó energiatermelés leginkább a nyári évszakokban használható ki, amikor a legnagyobb a napsütéses órák száma és a napsugarak beesési szöge 65-68 fok közé esik. A modellem felállításához szükségem volt az elmúlt évekből a havi átlagos felhős napok számára is ahhoz, hogy meg tudjam becsülni, hogy hány napnyi napenergia termeléstől esne el a nanogrid. Ennek jelentőségét később bemutatom.

5.2 A modell felállítása

5.2.1 A modell energiaellátása

A modell megalkotásánál alapvető szempont volt annak energiaellátása. Ehhez feltételeztem, hogy az adott nanogrid okososhálózat a hálózati áramot nem a lakossági ár szerint vásárolná, hanem a piaci, energiatőzsde által meghatározott ár szerint. Amit érdemes tudni az energiatőzsdéről az az, hogy az időjárási viszonyok és az aktuális hálózati terheltségtől függően állítja be az áram árát. Ez az ár 15 percenként frissül. Jelenleg ezen az áron csak az ipari létesítmények vásárolhatják az áramot. Egy nanogrid hálózat esetében azonban ez az ár egy lakossági EC modul alkalmazásával jelentősen tudná csökkenteni a felhasználók áramra szánt kiadásait. Ebben a modellben a piaci árat két kategóriába osztottam a magyar energiatőzsde (HUPX) szerint. A napos napokon elszámolt piaci árat 40 ft/kWh-nak vettem, míg a felhős napokét 60 ft/kWh-nak. A napos napokon azért alacsonyabb az áram ára, mert a hálózatokba ilyenkor a napelemek rengeteg áramot termelnek vissza, emiatt a szolgáltatók akár drasztikus árengedményeket is adhatnak a vásárlóknak az áram árából, hogy a vezetékek terheltségét csökkentsék. Értelemszerűen a felhős napokon az áram ára azért magas, mert megnő a kereslet az áramra, hiszen a napelemek nem képesek áramot termelni, ezért muszáj a hálózati áramot vennie a cégeknek. Azonban a cégek ezt a problémát oly módon küszöbölik ki napjainkban, hogy nagy kapacitású akkumulátorokon a csúcsidőszakok alatt vásárolt árcsökkentett, akár ingyen áramot eltárolják azon időszakokra, amikor a piaci ár megnő. Ezt az áramforrás váltogatást az EC rendszerek biztosítják nekik. Az EC-k a korábban említett LMS és EMS rendszerek segítségével folyamatosan figyelik a piaci ár változását és a hálózat terheltségét, ezáltal az EC-k automatikusan át tudják kapcsolni a rendszert arra az energiaforrásra, amelyik éppen költséghatékonyabb. Ezzel a módszerrel a nagyvállalatok több millió forintot spórolnak meg. Ez inspirálta többek között a számításaim elvégzését, hogy vajon egy lakossági áramot használó háztartás mennyi pénzt tudna megspórolni abban az esetben, ha rendelkezne egy ilyen okoskapcsolóval.

A modellben az energiaellátást biztosíthatná napenergia, vagy a feltételezett piaci árú hálózati áram. A modellben a napelemrendszert 13 kWh kapacitásúnak vettem, beruházási összegét 2.000.000 forintra becsültem.

5.2.2 A modell energiatárolási egysége

A modellemben a nagyüzemi mintához hasonlóan felszereltem az adott háztartást egy 13 kWh kapacitású akkumulátorral. Az én modellem esetében azért vettem 13 kWh-nak az akkumulátor kapacitását, mert a modellben szereplő háztartás átlagos napi fogyasztása nem haladja meg a 13 kWh-t. A 13 kWh kapacitású akkumulátorok beszerzési árát 2.500.000 forintnak vettem.

Összesítve tehát a modellemben 4.500.000 forintnak vettem a rendszerre szánt beruházás összegét.

5.3 A modell működése

A modellem az előbb felsorolt paraméterek alapján a következőképpen működne.

Az olyan napokon, amikor az időjárás napos és a piaci ár alacsony, az EC rendszer a nanogrid rendszert rákapcsolná az olcsó hálózati áramra, míg a napelemek az előbb említett akkumulátorokat töltenék fel. Így a napos napokon a legalacsonyabb áron lennének képesek venni az áramot. A felhős napok esetében azonban a korábban megtermelt akkumulátorokon tárolt energiára váltana az EC, így lényegében az ingyen megtermelt árammal lennének képesek működtetni a lakás elektromos berendezéseit akkor, amikor a hálózati ár a megnőtt kereslet miatt magas. A számításaimban azt is kiszámoltam, hogy a napos napokon megtermelt és eltárolt energiából az adott hónap felhős napjainak fedezésén kívül még hány napos nap energiaigényeit lennének képesek ellátni az akkumulátoraink, így megkapva a legalacsonyabb kiadási árat. Ezeket az EC használatával kapott energiadíjakat összevetettem az elmúlt 3 év energiadíjaival és így megkaptam az éves átlagspórolást. A következő pontban részletesebben is kifejtem a számításokat.

5.4 A modell számításai

Legelőször jelöljük az adott hónap összesített energiafelhasználását e_n -el, míg az adott hónap napelemek által megtermelt energiamennyiségét m_n -el. $\{n = 1, 2, \dots, 12\}$

Ezek alapján az alábbi módon megkapható az adott hónapban fennmaradó felesleges árammennyiség, amit a hálózatba történő visszatermelés helyett eltárolhatunk az akkumulátorainkon. A háztartás fogyasztását vegyük napi 13 kWh-nak. Az akkumulátoraink összesítve ugyebár 13 kWh áramot képesek tárolni, tehát a fennmaradó árammennyiséget

osztanunk kell 13-mal, hogy megkapuk egy kerekítés után, hogy hányszor képesek teljesen feltölteni a napelemek az akkumulátorainkat. Ezt az adatot jelöljük $f(e)_n$ -el. $\{n = 1, 2, \dots, 12\}$
Az Excel-ben az alábbi függvény alkalmazásával számoltam ki az értékeket.

$$\text{Ha} \quad e_n - m_n > 0 \quad \text{akkor} \quad f(e)_n = \frac{e_n - m_n}{13}$$

Így megkaptam minden hónapra az $f(e)_n$ értékét. Amennyiben az $e_n - m_n < 0$, akkor nem érte meg eltárolni az energiát akkumulátorokon, hiszen nem maradt fenn felesleges energia, így ott az $f(e)_n$ értéke minden ilyen esetben 0-nak vehető.

Ezután kiszámoltam, hogy az adott hónapban hány napig kellene a hálózatról áramot vásárolnunk az alábbiak szerint. Ezt a mennyiséget jelöljük $g(e)_n$ -el. Az adott hónap napjainak számát vegyük d -nek. $d = \{[28; 31]\}$

$$\text{Ha} \quad f(e)_n > 0 \quad \text{akkor} \quad g(e)_n = d - f(e)_n$$

Ezután kiszámoltam, hogy az adott hónapban az eddig kiszámított adatok alapján hányszor kellene a felhős időjáráshoz igazodó piaci árú áramot vennünk. A felhős napok számát az adott hónapban h_n jelöli. Azon napok számát, amikor fizetnünk is kell a magasabb piaci árat, R_n jelöli. $\{n = 1, 2, \dots, 12\}$

$$\text{Ha} \quad h_n < f(e)_n \quad \text{akkor} \quad R_n = h_n - f(e)_n$$

Azokban a hónapokban, ahol $R_n < 0$, 0 napot kell fizetnünk.

Az $e_n - m_n$ kivonás eredményére mostantól b_n -ként hivatkozok. Amennyiben $b_n < 0$, akkor ki kell számolnunk a piacról megvásárlandó áram mennyiségét havonta, ami ezen kivonás negatív végeredményeinek abszolútértéke lesz. Ezt jelöljük l_n -el. $\{n = 1, 2, \dots, 12\}$

$$\text{Ha} \quad b_n < 0 \quad \text{akkor} \quad l_n = |b_n|$$

Ezután kiszámítottam, hogy a felhős napokon fizetett áramár mennyi lett volna összesen havonta. Ezt az áramarat jelöljük $f(c)_n$ -el. $\{n = 1, 2, \dots, 12\}$

$$\text{Ha} \quad b_n > 0 \quad \text{akkor} \quad f(c)_n = \frac{b_n}{d} \times R_n \times 60$$

$$\text{Ha} \quad b_n \leq 0 \quad \text{akkor} \quad f(c)_n = \frac{l_n}{d} \times R_n \times 60$$

Így tehát megkaphatjuk, mennyi pénzt kellene fizetnünk összesítve a felhős napokon havonta. Ahol $R_n = 0$, ott $f(c)_n = 0$, tehát abban a hónapban nem kell fizetnünk magas piaci árat, mert fedezzük a felhős napok energiaellátását a feltöltött akkumulátorainkkal.

A következő lépésben először kiszámoltam minden hónapban a napos napok számát, jelöljük őket s_n -el. $\{n = 1, 2, \dots, 12\}$

$$s_n = d - h_n$$

Ezután kiszámoltam, hogy a felhős napok fedezésén kívül hány napon keresztül képesek az akkumulátorok még ellátni a háztartást, amikor napos az idő. Ezt az adatot jelöljük $f(s)_n$ -el.

$$f(s)_n = f(e)_n - h_n$$

Amennyiben az $f(e)_n$ értéke negatív, az értéke nullának tekinthető, tehát nem képesek ellátni extra napos napokon a hálózatot az akkumulátorok.

Így kiszámíthatjuk, hány napig kell alacsony piaci árú áramot vennünk a hónapban. Ezt az adatot az A_n jelöli. $\{n = 1, 2, \dots, 12\}$

$$A_n = s_n - f(s)_n$$

Így a napos napok költsége forintban, $f(k)_n$:

$$\text{Ha} \quad b_n > 0 \quad \text{akkor} \quad f(k)_n = \frac{b_n}{d} \times A_n \times 40$$

$$\text{Ha} \quad b_n \leq 0 \quad \text{akkor} \quad f(k)_n = \frac{l_n}{d} \times A_n \times 40$$

Amennyiben $A_n < 0$, akkor $f(k)_n < 0$ az adott hónapra, ami értelemszerűen a végösszezből fog levonásra kerülni. A modellemben ez a tendencia leginkább a 2022-es évre volt jellemző.

Következő lépésként kiszámoltam, mennyi felesleges áram marad fenn az akkumulátorokban egy hónapban, amit még hasznosítani lehet a későbbi magas árak kiváltására. Ezt a mennyiséget jelöljük $f(z)_n$ -el, kWh-ban. $\{n = 1, 2, \dots, 12\}$

$$\text{Ha } b_n - e_n > 0 \quad \text{akkor} \quad f(z)_n = b_n - e_n$$

$$\text{Ha } b_n - e_n \leq 0 \quad \text{akkor} \quad f(z)_n = 0$$

Miután ezt a képletet alkalmaztam a 2022-2024-es adatokra, kijött, hogy csak a 2022-es évnél szükséges a számítások további folytatása, a többi évben minden hónapban $f(z)_n = 0$.

Így kiszámíthatjuk az összesített éves fennmaradó többletáramot 2022-ben, amit felhasználhatunk még a megtermelést követő hónapok kiadásainak csökkentésére. Így ez az összeg kWh-ban, $f(x)_n$:

$$f(x)_n = \sum_{n=1}^{12} f(z)_n$$

Ezután kiszámítottam azt a fogyasztást, ami fedezhető lenne az $f(x)_n$ -ből. Kezdve a felhős napokkal, amikor magasabb az áram ára.

$$\text{Fedezhető mennyiség felhős napon (kWh)} = \sum_{n=9}^{12} \left(R_n \times \frac{e_n}{d_n} \right)$$

Most számoljuk ki a fedezhető napos napok összefogyasztását.

$$\text{Fedezhető mennyiség napos napokon (kWh)} = \sum_{n=9}^{12} \left(A_n \times \frac{e_n}{d_n} \right)$$

Ezután kiszámolhatjuk azt az összeget, amit ezáltal levonhatunk még a végösszegeből.

Így tehát az összesített levonható összeg, Q :

$$Q(ft) = \left(\sum_{n=9}^{12} f(c)_n \right) + \left[\sum_{n=9}^{12} \left(A_n \times \frac{e_n}{d_n} \right) - \left(f(x) - \sum_{n=9}^{12} \left(R_n \times \frac{e_n}{d_n} \right) \right) \right] \times 40$$

Így megkaphatjuk, mennyi is az adott év összköltsége az EC használatával.

2023-ban és 2024-ben $Q = 0$.

$$\text{Összköltség az adott évben EC - vel (ft)} = \left(\sum_{n=1}^{12} f(c)_n + \sum_{n=1}^{12} f(k)_n \right) - Q$$

Így kiszámolhatjuk, mennyi pénzt is takaríthatunk meg évente az EC használatával.

Az éves felhasználási díjat forintban, amit EC nélkül fizettünk, jelöljük $d(p)_n$ -vel.

A $d(p)_n$ ismeretéhez először össze kell adnunk az egyes havi kiadásokat, ezeket i_n jelöli minden hónapban. $\{n = 1, 2, \dots, 12\}$

$$d(p)_n = \sum_{n=1}^{12} i_n$$

Így az éves megtakarítás:

$$\text{Éves megtakarítás} = d(p)_n - \left[\left(\sum_{n=1}^{12} f(c)_n + \sum_{n=1}^{12} f(k)_n \right) - Q \right]$$

Az éves megtakarítást kiszámítva a három évre vonatkozóan megkaphatjuk, átlagosan mennyi pénzt spórolunk ezalatt a három év alatt. Az éves megtakarításra innentől EM -ként hivatkozok.

$$\text{Átlagos megtakarítás évente} = \frac{EM_{2022} + EM_{2023} + EM_{2024}}{3}$$

Most pedig szemléltetném a modell eredményeit az alábbi táblázatban.

Év	2022	2023	2024
Éves megtakarítás (Ft)	90.368 Ft	111.859 Ft	138.228 Ft

Így tehát:

$$\text{Átlagos megtakarítás évente} = \frac{90.638 + 111.859 + 138.228}{3} = 113.485 \text{ Ft}$$

Végül pedig kiszámíthatjuk, mennyi idő alatt térülne meg a befektetett összeg.

$$\text{Megtérülési idő (Év)} = \frac{4.500.000 \text{ Ft}}{113.485 \text{ Ft}} = 39,65 \approx 40 \text{ év}$$

5.5 A modell értékelése

A modell végeredményei alapján látható, hogy a kisfogyasztók esetében negyven év a megtérülés nettó jelenértéken számolva. Azonban ebből az is látszik, hogy minél magasabb a fogyasztás, ami akár ipari méreteket is ölthet, a megtérülési idő annál rövidebb lesz. Ezzel párhuzamosan a beruházás értéke is növekszik, de nem olyan mértékben, hogy a megtérülés a tendenciáját növekedésbe fordítaná. Ebből azt a következtetést vonhatjuk le tehát, hogy a jelenlegi beszerzési árak mellett jobban megéri egy viszonylag nagyobb, éves szinten kb. 6-10.000 kWh fogyasztású háztartásnak befektetnie egy ilyen rendszerbe. Ezen módszer szélesebb körű felhasználása akkor lehetne kifizetődőbb a kisfogyasztású háztartások körében, ha a beszerzési árak csökkennének. Ez az úgynevezett energiaközösségek létrehozásával lenne kivitelezhető. Ez azt jelentené, hogy amennyiben az adott energiaközösség közös felvett teljesítménye nő, a beruházás szétoszlan a résztvevők között, ezáltal javítva a megtérülés időtartamát. Ezek az energiaközösségek már napjainkban is kivitelezhetők, hiszen törvényileg teljesen legális a létrehozásuk, mivel jogi személyként, nonprofit módon képesek működni.

Az adott közösség a megtermelt energiamennyiségét pedig adómentesen a közösség érdekeire használhatja. Tehát ezen közösségek olyan jogi személyek, amelyekben egy település lakosai, a helyi önkormányzat, akár a helyi kisvállalkozók is részt vehetnek legálisan, önkéntes alapon. Előnyének elmondható, hogy egy ilyen közösség megléte terhelést vesz le a hálózatról, továbbá a hatásfok javulása óvja a környezetet és a közösség tagjai akár magánkereskedelmet is folytathatnak, így a helyiek tölthetnék például az elektromos járműveiket, akár az elektromos buszokat is. Ezen járművek a korábban említett V2G technológiát is alkalmazhatnák. Előnyként megemlíthető még, hogy ezen közösségek esélyt teremtenének a társadalmi felelősségvállalás gyakorlására, a környezettudatos életmód kialakulására és együttműködő közösségeket

hozhatnának létre. Továbbá egyre több EU-s iránymutatás áll a beruházók rendelkezésére, amelyek új lendületet adhatnak a közösségi energetikai piacok létrehozására. Ezen közösségek létrehozása segítene azok részeseinek kiszámíthatóbbá tenni az energiaárakat, hiszen nem függenének a nemnetto jelenértéktől, azaz elkerülnék az energiaárak kiszámíthatatlan jövőbeli változásait. [39]



Energiaközösség [ChatGPT, OpenAI]

A részszámítások végeredményei és az azokból készített táblázatok a számítási függelékben található.

A dolgozat értékelése, célkitűzések

Összesítve elmondható, hogy az Energy Clutch rendszerek az LMS-ek és az okoshálózatok ütemes fejlődésének következtében napjaink élvonalbeli technológiájává váltak. Széleskörű felhasználásuk révén az ipari és a lakossági szektorokban is felhasználhatók. Az EC-k egyre szélesebb körű felhasználása egyaránt lehetővé tenné a nemzetközi és a nemzeti környezetvédelmi célok elérésének elősegítését. Ezen rendszerek okoshálózati integrációja egy új korszakot nyitna meg az energetikai szektor életében. Célul tűzném ki az olyan kutatások támogatását és előnyben részesítését, melyek ezen EC rendszerek fejlesztésére és széleskörű

lakossági integrációjára törekszenek. Továbbá szeretném kiemelni ismét az energiahálózatok decentralizálásának fontosságát, hiszen ez teszi lehetővé az egyre nagyobb mértékű fenntartható, karbonsemleges energiatermelési technológiák integrálását és egy zöldebb jövő eljövételét. Továbbá szeretném kiemelni még az akkumulátorok szempontjából az újrahasznosítás lehetőségét, mivel a jelenlegi korrodálódott akkumulátorok lebontása és elpusztítása egyáltalán nem környezetkímélő eljárás, és fenntarthatósági szempontokból fontos lenne az olyan technológiák továbbfejlesztése, amelyek lehetővé tennék a sokkal hosszabb éltű akkumulátorok gyártását és azok újra hasznosítását.

Köszönetnyilvánítás

Zárásul szeretném kifejezni köszönetemet az egyetemi projektvezetőmnek, Prof. Dr. Husi Gézának, a Debreceni Egyetem Műszaki Karának dékánjának a segítőkész és pontos konzulensi munkájáért. A projekt kezdetén dékán úr nemcsak felkeltette az érdeklődésemet a téma iránt, hanem teljesen új megvilágításba helyezte számomra napjaink energetikáját, ezzel inspirálva engem a dolgozatom megírására. Továbbá szeretném megköszönni Dr. Farkas Oszkár tanár úrnak azt, hogy a tavaly indított tehetségprogramot megszervezve belevont a műszaki kar tudományos életébe, ezáltal lehetőséget adva arra, hogy az idei TDK-n már gimnazistaként is részt vehessek. Végezetül pedig szeretném megemlíteni a lakossági EC-rendszerek kifejlesztésére írt pályázatát a Debreceni Egyetem Műszaki Karának, amely még tovább részletezi ezen rendszerek hasznát a lakossági szférában. [38]

A dolgozat készítése a 2023-1.1.1-PIACI_FÓKUSZ-2024-00047 számú, Elektromos hálózatok és villamos energiapontok dinamikus automatizált csatolása az energiafelhasználás optimalizálása érdekében – „Energy Clutch” című pályázat keretében történt.

Hivatkozások

1. Ali Darejeh, Nadine Marcus, Gelareh Mohammadi, John Sweller: *A critical analysis of cognitive load measurement methods for evaluating the usability of different types of interfaces: guidelines and framework for Human-Computer Interaction*
2. B.V. Mathiesen, H. Lund, D. Connolly, H. Wenzel, P.A. Østergaard, B. Möller, S. Nielsen, I. Ridjan, P. Karnøe, K. Sperling, F.K. Hvelplund: *Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions (2015)*
3. Biswajeeban Mishra, Attila Kertesz: *The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey (IEEE)*
4. Brian Vad Mathiesen, Henrik Lund and David Connolly: *The CEESA Smart Energy Systems Approach for Denmark and Europe (2014)*
5. Budapest Times: *Energy Ministry NEKT 2024*
<https://www.budapesttimes.hu/hungary/energy-ministry-submits-revised-national-energy-and-climate-plan/>
6. CEEnergy News: *E.ON to launch large scale network investments in Hungary*
<https://ceenergynews.com/electricity/e-on-to-launch-large-scale-network-investments-in-hungary/>
7. Dr. Gayathri Monicka S, Yash Kumar, Soumya Sinha, Ashish Kumar: *IoT based smart load management (IJNRD)*
8. Energiaklub: *Magyarország energiámixe* <https://energiaklub.hu/>
9. European Commission: *State of the Energy Union Report 2024 – Hungary*
https://energy.ec.europa.eu/publications/state-energy-union-report-2024-country-fiches_en
10. Global Energy Network Institute: *Energy Grid of Hungary*
http://www.geni.org/globalenergy/library/national_energy_grid/hungary/index.shtml
11. Hany Habbak, Mohamed Mahmoud, Khaled Metwally, Mostafa M. Fouda and Mohamed I. Ibrahim: *Load Forecasting Techniques and Their Applications in Smart Grids (MDPI) (2023)*
12. Harsha Padullaparti, Annabelle Pratt, Ismael Mendoza, Soumya Tiwari, Murali Baggu, Chris Bilby and Young NGO: *Peak Demand Management and Voltage Regulation Using Coordinated Power Plant Controls (2023),(IEEE)*
13. IEA: *Hungary 2022: Executive Summary* <https://www.iea.org/reports/hungary-2022/executive-summary>
14. IEA: *Hungary's clean energy transition report 2024*
15. IEA: *Hungary's Electricity Security Policy* <https://www.iea.org/articles/hungary-electricity-security-policy>
16. IRENA: *Renewable Energy and Climate Pledges: Five years after the Paris Agreement.*
17. Jun-Hi Liu and Nhi Bao Bui: *The Future Design of Smart Energy Systems with Energy Flexumers: A Constructive Literature Review (MDPI) (2024)*
18. Kempton, W., & Tomic, J. (2005) "Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue." *Journal of Power Sources*, 144(1), 268-279.
19. Khalid Aloufi, Omar Alhazmi: *A Hybrid IoT Security Model of MQTT and UMA (2020)*
20. Mini S. Thomas, John D. McDonald: *Power System SCADA and Smart Grids (2015)*
21. MQTT: The Protocol mqtt.org

22. N. Javaid et al., "An Intelligent Load Management System With Renewable Energy Integration for Smart Homes," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 13587-13600, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2715225.
23. NREL: Advanced Distribution Management Systems
<https://www.nrel.gov/grid/advanced-distribution-management.html>
24. OECD Economic Surveys: Hungary 2024
25. Papadakis C. Nikolaos, Fafalakis Marios, Katsaprakakis Dimitris: A Review of Pumped Hydro Storage Systems (MDPI) (2023)
26. Patrick Wintzek, Shawki Alsayed Ali, Kevin Kotthaus, Julian Wruk, Markus Zdrallek, Julian Monscheidt, Ben Gernsjaeger, Adam Slupinski: Application and Evaluation of Load Management Systems in Urban Low-Voltage Grid Planning (MDPI) (2021)
27. Peng Liu, Siyan Wang, Youman Wei: Administration strategy of energy management in smart grid: system view and optimization path (Frontiers) (2023)
28. Qiu, H., et al. (2019). "Integrating renewable energy and electric vehicles with vehicle-to-grid technology." *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(5), 5463-5473
29. Ravi Kishore Kidali: The three pillars of the smarter planet
30. Roger A. Light: Mosquitto: Server and client implementation of the MQTT protocol (2017) (JOSS)
31. Saif Jamal, Nadia M. L. Tan, Jagadeesh Pasupuleti: A Review of Energy Management and Power Management Systems for Microgrid and Nanogrid Applications (MDPI) (2021)
32. Seongwoo Lee, Joonho Seon, Byungsun Hwang, Soohyun Kim, Youngghyu Sun and Jinyoung Kim: Recent Trends and Issues of Energy Management Systems Using Machine Learning (MDPI) (2024)
33. Sergi Obrador Rey, Juan Alberto Romero, Lluís Trilla Romero, Àlber Filbà Martínez, Xavier Sanchez Roger, Muhammad Attique Qamar, José Luis Domínguez-García and Levon Gevorgov: A Comprehensive Review of Battery Energy Storage Systems (MDPI)
34. United Nations Climate Change (UNFCCC): The World Needs a Swift Transition to Sustainable Energy (2021) <https://unfccc.int/news/the-world-needs-a-swift-transition-to-sustainable-energy>
35. Zeyi Wang, Yao Wong, Li Xie, Dan Pang, Hao Shi, Hua Zheng: Load Frequency Control of Multiarea Power Systems with Virtual Power Plants (MDPI) (2024)
36. Zhang Y., Wang Y.: IoT Security: Challenges and Solutions (2018)
37. Zhang, C., et al. (2018) "Vehicle-to-grid technology: A review of the impacts of vehicle characteristics and charging strategies." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82 268-283.
38. Debreceni Egyetem Műszaki Karának Pályázata: "Elektromos hálózatok és villamos energiapontok dinamikus automatizált csatolása az energiafelhasználás optimalizálása érdekében – „Energy Clutch”" <https://www.energotest.hu/qinop4>
39. <https://www.energia-kozosseg.hu/mi-az-energiakozossege/>

Függelék

1. 2022-es számítások

Agenda	Item	Category	Sub-category	Priority	Status	Owner	Assignee	Due Date	Progress	Comments	Notes
Project A	Task 1.1	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-15	75%	Implement user login	UI/UX approved
	Task 1.2	Development	Backend	Medium	Not Started	John Doe	Jane Smith	2023-10-20	0%	Set up database	Database schema ready
	Task 1.3	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-18	60%	Implement user profile	Profile page design
	Task 1.4	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-22	40%	Implement user registration	Registration form
	Task 1.5	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-25	30%	Implement user dashboard	Dashboard layout
	Task 1.6	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-28	20%	Implement user search	Search algorithm
	Task 1.7	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-30	10%	Implement user settings	Settings page
	Task 1.8	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-11-02	5%	Implement user notifications	Notification system
	Task 1.9	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-11-05	0%	Implement user reviews	Review form
	Task 1.10	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-11-08	0%	Implement user analytics	Analytics dashboard
Project B	Task 2.1	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-15	80%	Implement user login	UI/UX approved
	Task 2.2	Development	Backend	Medium	Not Started	John Doe	Jane Smith	2023-10-20	0%	Set up database	Database schema ready
	Task 2.3	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-18	70%	Implement user profile	Profile page design
	Task 2.4	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-22	50%	Implement user registration	Registration form
	Task 2.5	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-25	40%	Implement user dashboard	Dashboard layout
	Task 2.6	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-28	30%	Implement user search	Search algorithm
	Task 2.7	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-30	20%	Implement user settings	Settings page
	Task 2.8	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-11-02	10%	Implement user notifications	Notification system
	Task 2.9	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-11-05	0%	Implement user reviews	Review form
	Task 2.10	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-11-08	0%	Implement user analytics	Analytics dashboard
Project C	Task 3.1	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-15	90%	Implement user login	UI/UX approved
	Task 3.2	Development	Backend	Medium	Not Started	John Doe	Jane Smith	2023-10-20	0%	Set up database	Database schema ready
	Task 3.3	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-18	85%	Implement user profile	Profile page design
	Task 3.4	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-22	60%	Implement user registration	Registration form
	Task 3.5	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-25	50%	Implement user dashboard	Dashboard layout
	Task 3.6	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-28	40%	Implement user search	Search algorithm
	Task 3.7	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-10-30	30%	Implement user settings	Settings page
	Task 3.8	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-11-02	20%	Implement user notifications	Notification system
	Task 3.9	Development	Frontend	High	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-11-05	10%	Implement user reviews	Review form
	Task 3.10	Development	Backend	Medium	In Progress	John Doe	Jane Smith	2023-11-08	0%	Implement user analytics	Analytics dashboard

[illegible]