



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamos Energetika Tanszék

Kubovics Bálint

**ENERGAKÖZÖSSÉG
MODELLEZÉSE HAZAI
KÖRNYEZETBEN**

KONZULENS

Sinkovics Bálint

BUDAPEST, 2022

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	3
Abstract	4
1 Bevezetés	5
2 Energiaközösségek áttekintése	6
2.1 Energiaközösség definiálása	6
2.1.1 Polgári Energiaközösség.....	6
2.1.2 Megújuló-energiaközösség	7
2.1.3 Energetikai szövetkezet	7
2.2 Energiaközösségek a gyakorlatban	7
2.2.1 Fejlődési lehetőségek	8
2.2.2 Védelem és irányítástechnika	8
2.2.3 Szabályozási módszerek	9
2.3 Energiaközösség modell alkotása	12
3 Hálózati szimulációk	15
3.1 Alapszimulációk	15
3.1.1 HMKE betáplálás nélküli eset	15
3.1.2 HMKE betáplálás eredeti esetben.....	17
3.1.3 HMKE betáplálás melletti eset	19
3.2 Sztochasztikus szimulációk	21
3.2.1 Sztochasztikus elemzés alapesetben	22
3.2.2 Sztochasztikus elemzés HMKE betáplálással.....	24
3.2.3 Energiatároló alkalmazása	27
3.2.4 Energiatároló nem optimális esetben.....	31
4 Összegzés	32
Irodalomjegyzék	33
Függelék	35

Összefoglaló

A klímaváltozásra való nemzeti és nemzetközi válaszlépések, vállalások alapjaiban formálják át a villamosenergia termelést. A tervek kulcseleme a megújuló energiaforrásokon alapuló termelés, ami Magyarországon túlnyomó részben a napenergiát hasznosító erőművek, kiserőművek jelentik, amelyek száma rohamosan növekedik. Az Európai Unió a tiszta energiacsomagjában új villamosenergia-piaci szereplőket hozott létre, amelyek részben még csak jogi környezetben, fogalomként léteznek, előkészítik a villamosenergia rendszert a jövőbeni változásokra. Az egyik ilyen új fogalom az energiaközösség, melynek feladata, hogy a lokális fogyasztás és termelés energiamenedzselését hangolja, optimalizálja. A kezdeményezések célja, hogy a lakossági fogyasztók aktívan részt vehessenek a villamosenergia-piacon, valamint a szabályozási folyamatokban. A piacon való részvétel feltételei még tisztázatlanok, viszont a szabályozásban való részvételhez már léteznek működő rendszerek. Ilyen például a vezérelhető hőtároló, vagy az időszaktól függő árszabású tarifa. A legtöbb projekt fókuszában a megújuló energia és az energiaszegény területek felzárkóztatása van. Az időjárásfüggő megújulók még nem okoznak jelentősebb problémát a villamosenergia hálózaton, azonban ahogy nő a hálózaton a részarányuk, úgy csökken a rendszerbiztonság és a stabilitás. Ahhoz, hogy egy rugalmas, megbízható villamosenergiarendszert működtethessünk, a megújuló energiaforrások alkalmazása mellé energiatárolók alkalmazása szükséges. Ahhoz, hogy az energiaközösség közel az optimumban működjön, a benne található fogyasztók, termelők és energiatárolók között folyamatos kommunikációra van szükség, valamint egy olyan vezérlőrendszerre, ami szükség esetén szabályozni tudja ezeket a hálózati elemeket. Dolgozatomban áttekintem az energiaközösségek aktuális gyakorlatát és egy magyarországi település kiefeszültségű transzformátorkörzetének felépítése után sztochasztikus elemzéssel megvizsgálom a lehetséges hálózati üzemállapotokat a növekedő HMKE kapacitások fényében.

Abstract

The national and international responses and commitments to climate change are fundamentally reshaping electricity generation. The key element of the plans is renewable energy production, which in Hungary is mainly solar power plants and small power plants, of which the number of residential-sized ones is growing rapidly. In its Clean Energy Package, the European Union has created new electricity market participants, some of which still exist only in a legal context, as concepts, preparing the electricity system for future changes. One of these new concepts is the energy community, whose task is to coordinate and optimise the management of local consumption and production. These initiatives aim to enable residential consumers to actively participate in the electricity market and in regulatory processes. The conditions for participation in the market are still unclear, but there are already systems in place for participation in regulation. For example, controllable thermal storage or time-of-day tariffs. The focus of most projects is on renewable energy and catching up energy-poor areas. Weather-dependent renewables are not yet a major problem for the electricity grid, but as their share in the grid increases, system security and stability decreases. In order to operate a flexible and reliable electricity system, the use of renewables needs to be supported by energy storage. For the energy network to operate close to its optimum, there needs to be continuous communication between the consumers, producers and energy storage facilities within it, and a control system that can regulate these network elements when necessary. In my study, I will review the current practice of energy communities and after building a low-voltage transformer network in a Hungarian settlement, I will investigate the possible network operating states in the light of increasing residential-sized capacities by stochastic analysis.

1 Bevezetés

Az Európai Unió klíma- és energiapolitikájának évek óta meghatározó jelszava a fenntarthatóság. Rövid-, közép- és hosszú távúterveiket is rendszeresen felülvizsgálják és egyre nagyobb, szigorúbb célkitűzéseket tesznek a 2050-re tervezett klímasemlegesség eléréséhez. A tervek nagy része az energiaszektorra érinti, ennek az egyik kulcseleme a megújuló energiatermelésen alapul. Az [1] forrásban követni lehet az európai országok nemzeti energia- és klímapolitikai célkitűzéseit (National Energy and Climate Plans – NECPs), valamint a már elért mérföldköveket. A tervek megvalósításához az NECPs-en belül négy kategóriára bontották a 2030-ra elérendő célokat. Ezek az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának csökkentése, megújuló energiaforrások minimális részesedése legalább 32% legyen, villamosenergia-összeköttetések növelése, illetve az energiahatékonyság legalább 32,5%-os növelése.

Dolgozatom fókuszában az energiaközösségek állnak, amik a villamosenergia hálózaton több tevékenységet is végezhetnek. Ilyenek a villamosenergia fogyasztás és -termelés, villamosenergia piaci kereskedelem és megosztás, valamint szóba jöhetnek rugalmassági szolgáltatások, mint a keresletoldali válasz (Demand-Response) és az energiatárolás. [2]

A téma elméleti áttekintőjét követően bemutatom egy valós adatok alapján felépített kisméretű hálózaton végzett vizsgálataimat, ahol a fogyasztói viselkedést és a HMKE kapacitások növekedésével foglalkoztam. Ezt követően sztochasztikus vizsgálatokat is végzek, hogy a lakossági fogyasztók leképezése jobban közelítse a valóságot, azaz ne adott profil által vegyenek fel teljesítményt, hanem véletlenszerűen.

Motivációt jelentett számomra, hogy a kutatási terület még szinte érintetlen, és többnyire közösségi naperőművek építését jelenti. Emellett a hálózat rugalmasságának megőrzéséhez nem tartom megfelelő megoldásnak a háztartási méretű kiserőművek telepítésének korlátozását, vagy például az ebbe befektetők eltántorítását.

2 Energiaközösségek áttekintése

Ebben a fejezetben áttekintem az energiaközösségeket érintő szabályokat, definíciókat és sajátosságait, ezt követően pedig a villamosenergetikai részüket érintő szakirodalmak releváns tartalmát mutatom be. Emellett definiálom a saját energiaközösség modelletemet is.

2.1 Energiaközösség definiálása

Mivel az energiaközösség még viszonylag új fogalomként létezik és többnyire csak jogi vonatkozása van, így a tevékenységük alapján definiálják őket. Magyarországon az energiaközösség fogalmkörébe tartoznak a termelők, fogyasztók és termelő-fogyasztók, és céljuk a gazdasági előnyök mellett a rugalmassági szolgáltatások nyújtása is [14]. Az energiaközösségek célja, hogy társadalmi, gazdasági és környezetvédelmi előnyöket biztosítsanak résztvevőknek. Az uniós meghatározás által hivatalosan megkülönböztethetünk Polgári Energiaközösséget (Citizen Energy Community) és Megújuló-Energiaközösséget (Renewable Energy Community). Energiaközösség létrehozásának egy másik módja pedig az energetikai szövetkezet létrehozása lehet. A közösség a többlet energiával segíthet az energiaszegény háztartások felzárkózásában, illetve egyéb szolgáltatásokat nyújthatnak. A horvát Zöld Energia Szövetkezet (ZEZ) például munkanélkülieknek tart energetikai tanácsadói képzést, akiket ezt követően a helyi önkormányzatok foglalkoztatnak és az adott közösség szegényebb háztartásainak segítenek energetikai szemléletformálással. [3]

2.1.1 Polgári Energiaközösség

A közösség célja, hogy előtérbe helyezze a tagjaik, érdekelt felek megfizethető, megújuló forrásból származó energiaellátását. Előremozdítják az energiahatékonyságot, lehetővé teszik a lakossági fogyasztók villamosenergia piaci részvételét és segítenek az energiaszegénységgel szemben. A fogyasztók önkéntesen léphetnek be a helyi közösségbe és fogyasztói jogaik elvesztése nélkül hagyhatják azt el. Az energiaközösségen belüli döntéshozatal azon szereplők kezében van, akik nem folytatnak kereskedelmi tevékenységet és fő gazdasági tevékenységük nem az

energetikai ágazatban van. A megújuló-energiaközösséggel szemben nincs kikötés az energiatermelés forrására, megújuló és fosszilis alapú is lehet [4].

2.1.2 Megújuló-energiaközösség

A megújulóenergia-közösség definícióját az Európai Parlament 2018-ban hozta létre. A közösség tagjai jogosultak a megújulóenergia termelésre, fogyasztásra, valamint kereskedelmi tevékenységekre. Az Európai Unió tagállamainak támogatnia kell a megújuló-energiaközösségek fejlődését és a megújuló energiaforrások alkalmazását mind a villamosenergia, mind pedig a hőszektorban. A közösségnek függetlennek kell maradnia a tagjaitól, illetve a hagyományos piaci szereplőktől, akik tagként vagy részvényesként veszik ki a részüket az energiaközösségben. [5]

2.1.3 Energetikai szövetkezet

Az energiaszövetkezet az energiaközösségek egyik leggyakoribb jogi formája, emellett léteznek még korlátolt felelősségű társaságok, alapítványok, nonprofit szervezetek stb. A szövetkezet tagjai közösen birtokolják és kezelik a megújulóenergia kötődésű projekteket, amelyeket befektetés formájában tudnak támogatni. A korábbival ellentétben itt a döntéshozás demokratikus, mindenkinek egy szavazata van. A projekt bevételeit a szövetkezet szabályai szerint osztják el. [3]

2.2 Energiaközösségek a gyakorlatban

A villamosenergetikai gyakorlat szempontjából az energiaközösségeket a mikrogridekhez lehet hasonlítani, ezért a következőkben a mikrogridek szabályozásáról lesz szó. A mikrogrid egy olyan kiefeszültségű hálózatrész, ami a hagyományos elemeken túl tartalmaz elosztott energiatermelőket, energiátárolókat és szabályozható fogyasztókat. A mikrogrideket folyamatosan igyekeznek fejleszteni, újabb funkciókkal ellátni. Az egyik ilyen mikrogrid változat az aktív elosztóhálózat (Active Distribution System – ADS), ami teljesítmény menedzsmenttel és a lokális termelők és energiátárolók feletti felügyelettel is rendelkezik. Egy további vizsgálati szempont a szigetüzemi működés. Szándékos szigetüzem előfordulhat tervezett karbantartáskor vagy akkor, amikor a táphálózaton nem megfelelőek a villamosenergia minőségi mutatói. Szándékolatlan szigetüzem hálózati hiba fellépésekor jelentkezhet, ezt a mikrogridnek tudnia kell érzékelni, és a megfelelő védelmi funkcióknak be kell kapcsolnia. [6]

2.2.1 Fejlődési lehetőségek

A legfőbb feladat, hogy a nagy mértékben megújulókból álló elosztott energiatermelés előnyei mellett a negatív hatások a lehető legkisebb mértékben jussanak érvényre. Ahhoz, hogy az előnyöket maximalizálni tudjuk, fejleszteni kell a villamosenergia rendszer jelenlegi struktúráját. Ehhez több különböző módszert is lehet találni különböző szakirodalmakban.

A menetrendkészítésnél a kereslet-kínálat bizonytalansága miatt érdemes lehet egy megfelelően méretezett tartalék meghatározása. A villamosenergia piac fejlesztése is célszerű lépés lehet, hogy az időszakosan termelő szereplők is versenyképesek legyenek, illetve érdemes létrehozni olyan szabályozási rendszert, ami a megújuló energiatermelőkbe való befektetésre ösztönzi. Megoldandó probléma, hogy a mikrogrid fogyasztói, termelői és tárolói kommunikációs rendszerrel legyenek összekötve és a fogyasztási adatok megfelelő biztonsági rendszerrel legyenek kezelve. Keresletoldali szabályozás bevezetése fogyasztók számára ösztönző feltételekkel, hogy szükség esetén ők is részt vehessenek a szabályozásban. [7]

2.2.2 Védelem és irányítástechnika

A mikrogrid védelmi- és irányítástechnikai rendszerének figyelembe kell vennie a következő tulajdonságokat [7]:

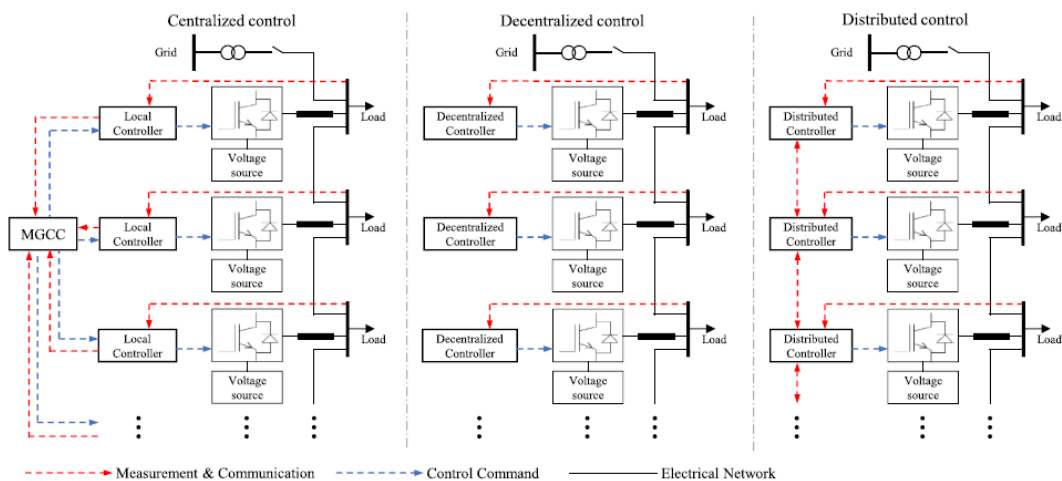
- Kétirányú teljesítményáramlás: A kisméretű hálózaton a megnövekedett elosztott termelői kapacitás miatt a közepesfeszültségű hálózat irányába áramolhat a teljesítmény. Ez főként szigetüzem előállásakor kap jelentőséget, a kis/közepesfeszültségű transzformátorok egyszerű túláramvédelmére nem lesz hatással, mivel ott nem alkalmaznak irányelemet.
- Stabilitási problémák: A főként napelemes termelők miatt feszültség fluktuáció léphet fel, illetve szigetüzemben megbomlik a teljesítményegyensúly.
- Modelllezés: Az átviteli hálózat modellezéséhez használt időben közel állandó fogyasztás itt nem állja meg a helyét, bonyolultabb modellezési eljárásokra van szükség.

- Alacsony inercia: Szinkrongenerátorok hiányában a rendszer inerciája alacsony, ami hirtelen frekvenciaváltozásokhoz vezet. Ennek egy potenciális megoldása az inverterek megfelelő vezérlése lehet.
- Bizonytalanság: A mikrogrid megbízható és gazdaságos üzeméhez szabályoznunk kell tudni a hálózaton található termelőegységeket. Emellett ezek a termelőegységek általában napelemes kiserőművek, tehát a dinamikusan változó lakossági fogyasztók profilja mellett az időjárásfüggő termelési profil is bizonytalanságokkal terhelt.

2.2.3 Szabályozási módszerek

A mikrogrid szabályzásának felvázolásához a [8] forrást vettem alapul, ebben szigetüzemű rendszerek szabályzásáról esik szó. A mikrogrid szabályzását általában központilag végzik (Microgrid Central Controller – MGCC), a szabályzási hurok három lépésből áll. Az első a helyi elosztott energiatermelő üzemelési állapotának figyelése és információ szolgáltatás a központi szabályzónak. Második lépésben a központi szabályzó az összegyűjtött adatokból optimális munkapontot számol és ezt az információt továbbítja az elosztott termelők szabályozójának. Harmadik lépésben az egyes termelők szabályzói megkapják a központi utasítást és végrehajtják azt [8]. A szigetüzemű mikrogrid esetén három különböző típusú szabályozási rendszert lehet elkülöníteni (centralizált, decentralizált és elosztott szabályozás; 1. ábra), azonban ezek mindegyike ugyanazt a hierarchikus szabályozási struktúrát követi. Ez pedig három rétegből áll:

- 1) Primer szabályozás: Legmagasabb prioritású, a teljesítmény egyensúly fenntartása, a teljesítmény szétosztása és a szinkronizáció a fő feladata. Időtartománya 0-1 s.
- 2) Szekunder szabályozás: A frekvencia és a feszültség szabályozásáért és helyreállításáért felel. Időtartománya 2-10 s.
- 3) Tercier szabályozás: Gazdaságos teljesítmény kiosztás és az energiátárolók menedzsmentje a feladata. Időtartománya 5-15 min. [8]



1. ábra: Különböző szigetüzemű mikrogrid szabályzási típusok [8]

2.2.3.1 Decentralizált szabályzás

A mikrogrid szabályzás decentralizált megközelítését főként a primer szabályozás építőelemeként alkalmazzák, mivel azonnal reagál a hálózati zavarokra és gyorsan stabilizálja a rendszert. A főként inverteres elosztott energiatermelőket tartalmazó hálózatrészen a legelterjedtebb szabályozási séma a droop control (esés szabályozás) [9]. Hirtelen fogyasztásnövekedés hatására a mikrogrid termelőegységei megnövelik a kiadott hatásos teljesítményt, hogy megtartsák a termelés-fogyasztás egyensúlyt. Ezt követően kapcsol be a droop szabályzó, hogy beállítsa a rendszer frekvenciáját és fokozatosan változtassa a fázisszögeket. Ehhez hasonlóan meddőteljesítmény egyensúly megbomlásakor a droop szabályzó a feszültség nagyságát fogja változtatni [10]. A villamosenergia rendszerben a primer szabályozást nagy inerciájú szinkrongenerátorokkal stabilan lehet megvalósítani, azonban egy kizárólag inverteres energiatermelőket tartalmazó mikrogrid nem rendelkezik inerciával, így kis hatásosteljesítmény zavarok is okozhatnak ugrásszerű szabályzási választ. A probléma megoldására a [11] forrásban a virtuális szinkrongenerátorokat alkalmazzák. Ennek célja, hogy a szinkrongépekhez dinamikájához közelítő egyenletekkel valósítsák meg a droop szabályzást. [8]

A szekunder szabályzás célja frekvencia és a feszültség normál üzemi állapotának helyreállítása. A decentralizált szekunder szabályzó frekvencia és feszültség adatokat gyűjt, majd a névlegestől való eltérést egy droop szabályzónak továbbítja. [8]

A tercier szabályzás célja a gazdasági optimum keresése. Mivel minden egyedi termelési és fogyasztási állapothoz más optimum tartozik, így az elosztott energiatermelő közötti kommunikációs csatorna elengedhetetlen. [8]

2.2.3.2 Elosztott szabályzás

A mikrogrid elosztott szabályzása miatt az elosztott termelők képesek önálló döntéshozatalra a lokális mérési adatok és a termelőegységek közötti kommunikáció alapján. A kommunikáció miatt azonban a döntéshozatali idő lassabb lesz, mint a decentralizált esetben. A kommunikáció alapú szabályzásban nem alkalmaznak droop alapú szabályzást. A droop szabályzáshoz hasonlóan a droop-mentes szabályzás is a helyi inverteres csatlakozású termelőkhöz kötött. Droop szabályzás esetén, ha hálózati zavar lép fel, a közeli termelőegységek azonnali választ adnak, hogy fenntartsák a teljesítményegyensúlyt. Droop-mentes szabályzáskor viszont a szomszédos termelők informálják egymást a saját állapotukról. A droop-mentes primer szabályzással elérhető mikrogrid hatásos- és meddőteljesítmény egyensúlya, és a stabilitás is. [8]

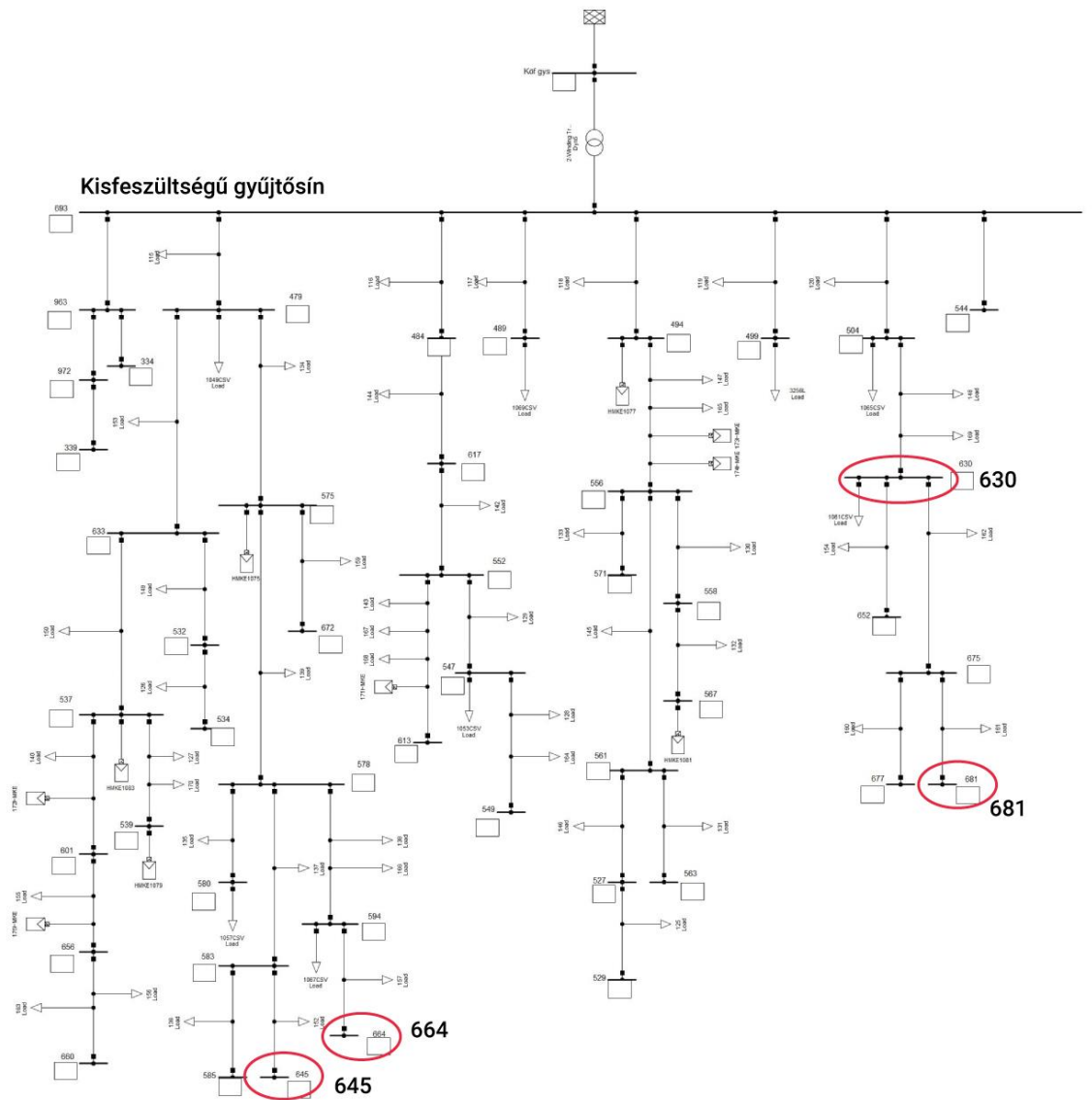
Mivel a mikrogrid minden elosztott termelőegysége megkapja a hálózati frekvencia és feszültség adatokat, így ezt hasznosítják a szekunder szabályozás bemeneteinek. Így a szabályzásban résztvevő összes termelő azonos ütemben módosíthatja a névlegestől eltérő frekvenciát és feszültséget. Ha a mikrogriden belül nem megfelelő a kommunikáció, akkor azokon a csatlakozási pontokon és környékükön kell nagyobb hozzájárulás a termelőegységek részéről, ahol nagyobb a névlegestől való frekvencia és/vagy feszültség eltérés. [8]

Tercier szabályzáskor a mikrogrid központi szabályzó nem vesz részt a folyamatban. A mikrogrid energiatermelői kapcsolatba lépnek egymással és egy megadott költségfüggvény szerint változtatják a kiadott teljesítményüket. A szabályzás során figyelembe kell venni a termelőkön kívül az energiátárolókat és a vezérelhető fogyasztókat is. Minden termelőegységre definiálható egy termelési ár. A hálózati zavar helyrehozása után a magasabb termelési költségű egységeket olcsóbbak váltják fel. Az elosztott szabályozást általában csak közvetlenül szomszédos egységek közötti kommunikációra építik, hogy lecsökkentsék a reakcióidőt, és az ehhez szükséges számításokat. [8]

2.3 Energiaközösség modell alkotása

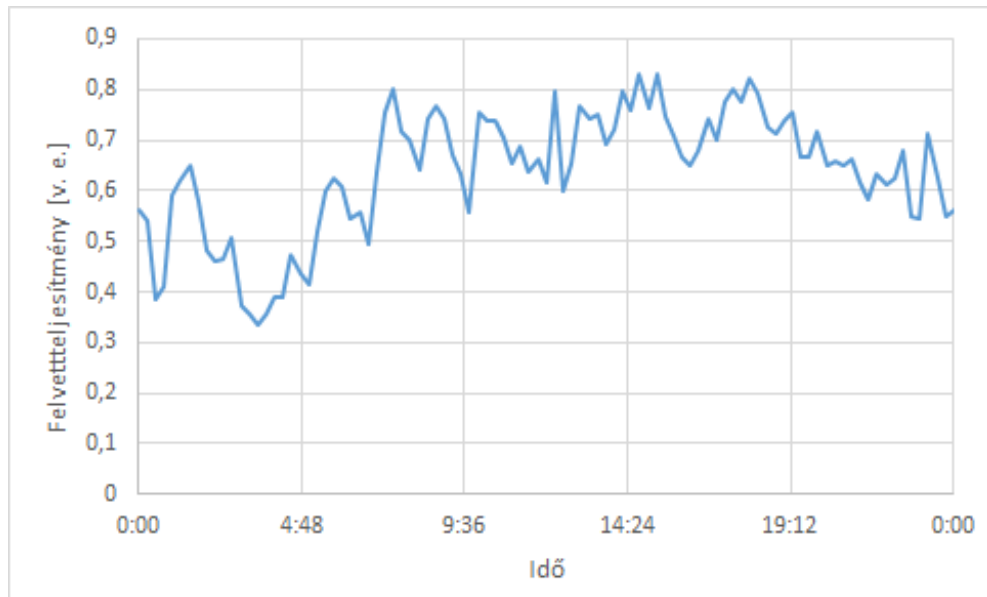
Sajátenergiaközösségnek egy teljes kisfeszültségű transzformátorkörzetet képeztem le. A körzet összes fogyasztója, termelője és egy később hozzáadott energiatároló képezi a közösséget. A célom az volt, hogy a sztochasztikus fogyasztói viselkedés és az időjárásfüggő megújuló energiatermelők figyelembevételével menetrendet állítsak elő a körzetre. Szigetüzemű működést nem vizsgáltam, mivel Magyarországon nincs engedélyezve. A hálózatmodell felépítéséhez szükséges adatokat az MVM Émász Áramhálózati Kft.-től kaptam. A kapott információkból így fel tudtam építeni Berkenye község kisfeszültségű hálózatát. Ahol csak lehetett pontosan vittem tovább a paramétereket, igyekeztem minél kevesebb egyszerűsítéssel dolgozni. A fogyasztási adatok 2018. 02. 06. 12:00-tól 2018. 02. 14. 12:00-ig vannak felvéve 1 perces felbontással. A hálózatmodellt a DIGSILENT PowerFactory szoftverben építettem fel. Mivel a háztartási méretű kiserőművek száma rohamosan nő, ezért a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) hivatalos weblapján utánanéztem, hogy 2018 és 2021 év vége között milyen mértékben változott a csatlakoztatott HMKE kapacitás ebben a régióban [12]. Mind teljesítményben, mind pedig csatlakozási számban meghaladta a 3,5-szeres növekedést, így az eredeti esethez képest ilyen arányban növeltem meg a teljes beépített HMKE teljesítményt. A megnövekedett kapacitást új kiserőművi csatlakozásokként vettem fel, ugyanis kevésbé számít gyakorinak az, hogy egy lakossági fogyasztó a már meglévő kiserőművét bővíti.

A hálózatra csatlakozó fogyasztók az eredeti tervekben koncentráltan lettek modellezve, így én is így vettem fel őket. Így összesen 57 db fogyasztó és 22 db napelemes kiserőmű csatlakozik a hálózatra. A teljes HMKE névleges kapacitás 119,5 kW. A kész hálózatmodell a 2. ábrán látszik, a transzformátor kisfeszültségű gyűjtősínjére itt még nincs csatlakoztatva az energiatároló. A később vizsgált csomópontokat külön jelöltem.



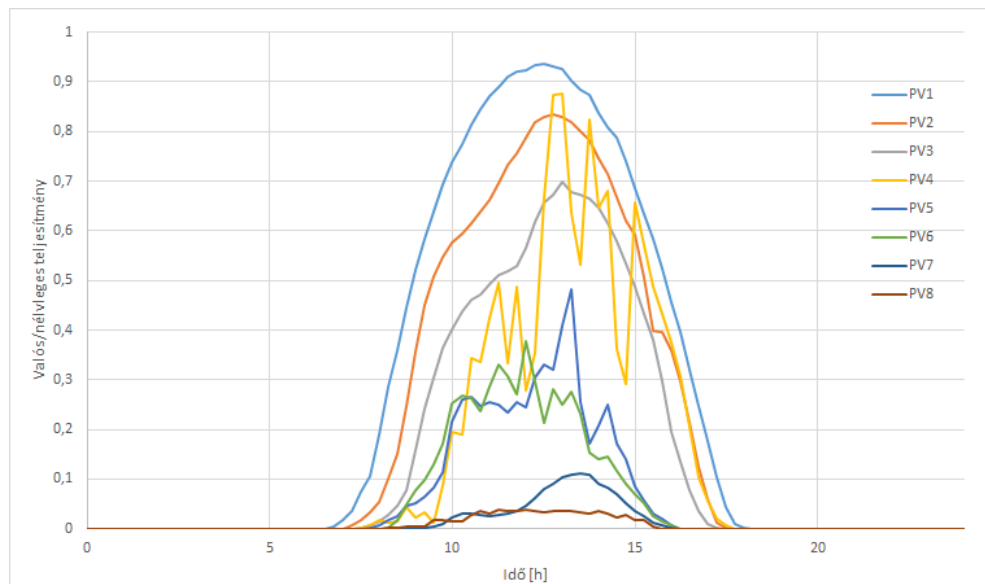
2. ábra: Felépített hálózatmodell

A kapott adatokban szerepelt a transzformátor egyes fázisainak árammérése perces felbontásban. Ezekből kiválasztottam 12 napot, és leosztottam őket a transzformátor névleges áramával, hogy viszonylagos egységekben tudjak tovább számolni. A fogyasztói profilok meghatározásához ezeket a viszonylagos egységű, egyperces mérési adatokat negyedórakra átlagoltam. Összesen tehát 12 különböző fogyasztási profilt hoztam létre, ebből az egyik a 3. ábrán látható.



3. ábra: Fogyasztói profil

A napelemek termelési profiljánál 9 db egyedi profilt hoztam létre valós termelési adatok alapján. Ezek a profilok kellőképp eltérőek ahhoz, hogy a jellemző időjárási körülményekhez választani lehessen belőlük egyet. A 4. ábrán láthatók a létrehozott profilok, a kilencedik azért nincs rajta, mert az a csupa nullákból álló profil.



4. ábra: Napelem termelési profilok

A modell alkotása közben információ hiányában elhanyagoltam az egyes HMKE berendezések dőlésszögét. Emellett, mivel Berkenye egy kisebb területű település, azzal a feltétellel rendeltem hozzá a profilokat a napelemekhez, hogy a lokális időjárás a teljes településen homogénnek vehető, tehát mindegyik napelem ugyanazt a profilt kapta.

3 Hálózati szimulációk

Ebben a fejezetben bemutatom, hogy milyen szimulációkat végeztem, milyen paraméterek változását figyeltem meg és felvázolom a következtetéseimet is. Először megvizsgáltam, hogy milyen alapvető állapotok jelentkezhetnek a hálózaton, azt követően pedig bonyolultabb, sztochasztikus szimulációkat végeztem.

3.1 Alapszimulációk

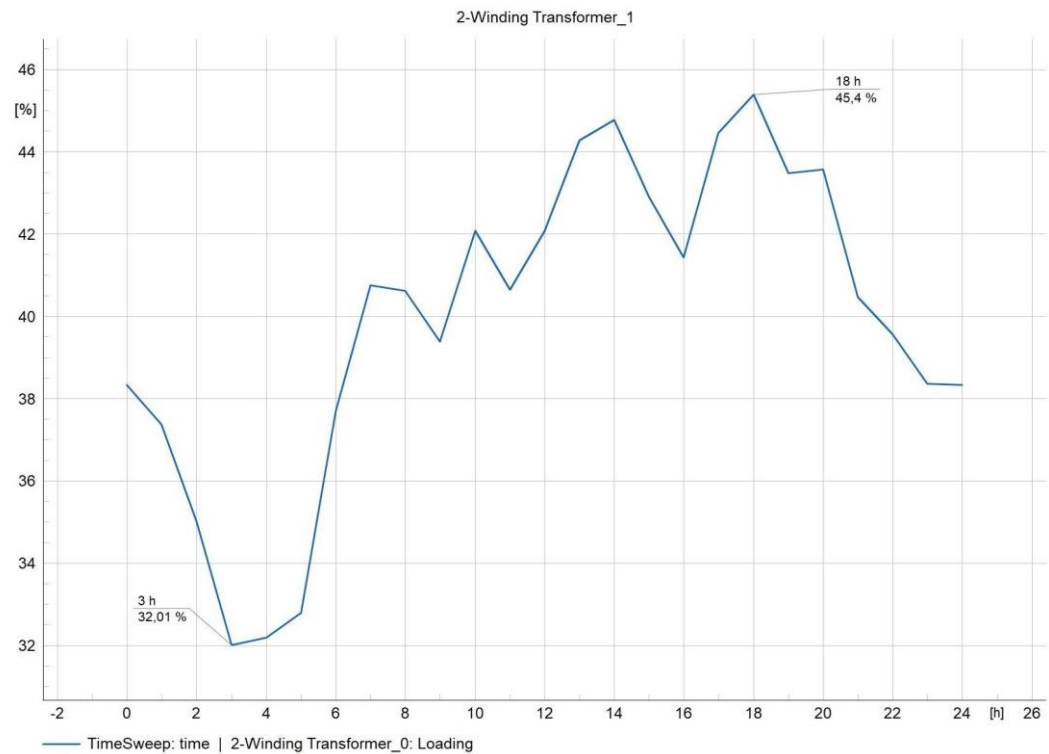
Ebben a fejezetben három egyszerűbb, egynapos futtatást mutatok be, amelyeket a TimeSweep beépített script segítségével valósítottam meg. Ezek az esetek azért egyszerűbbek, mivel a fogyasztóknak egy adott fogyasztási profilt állítottam, ami minden esetben azonos, mondhatni egy adott napra lettek elvégezve a szimulációk. Az ezeket követő vizsgálatok sztochasztikus jellegűek lesznek, a fogyasztói profilok a futtatás elején véletlenszerűen vesznek fel teljesítményt.

3.1.1 HMKE betáplálás nélküli eset

Ebben a szimulációban csak a fogyasztók vannak bekapcsolva, a HMKE-eket kikapcsoltam. Azért ezt a helyzetet választottam alapesetnek, mert itt kizárólag a hagyományos termelés-fogyasztás van csak figyelembevéve. Minden későbbi, fokozatosan komplexebb esetet tudok majd ehhez az alaphelyzethez viszonyítani. Az alap szimulációk esetében a fogyasztói profilok változatlanok. Ez azt jelenti, hogy ugyanarra a napra megvizsgálom, hogy milyen hatása van a kisfeszültségű napelemes betáplálásnak. Ezen belül két paramétert tudok változtatni. Az egyik a napelemek termelési profilja, amit az adott időjárás határoz meg, a másik pedig az adott hálózatra csatlakozó HMKE-k összteljesítménye.

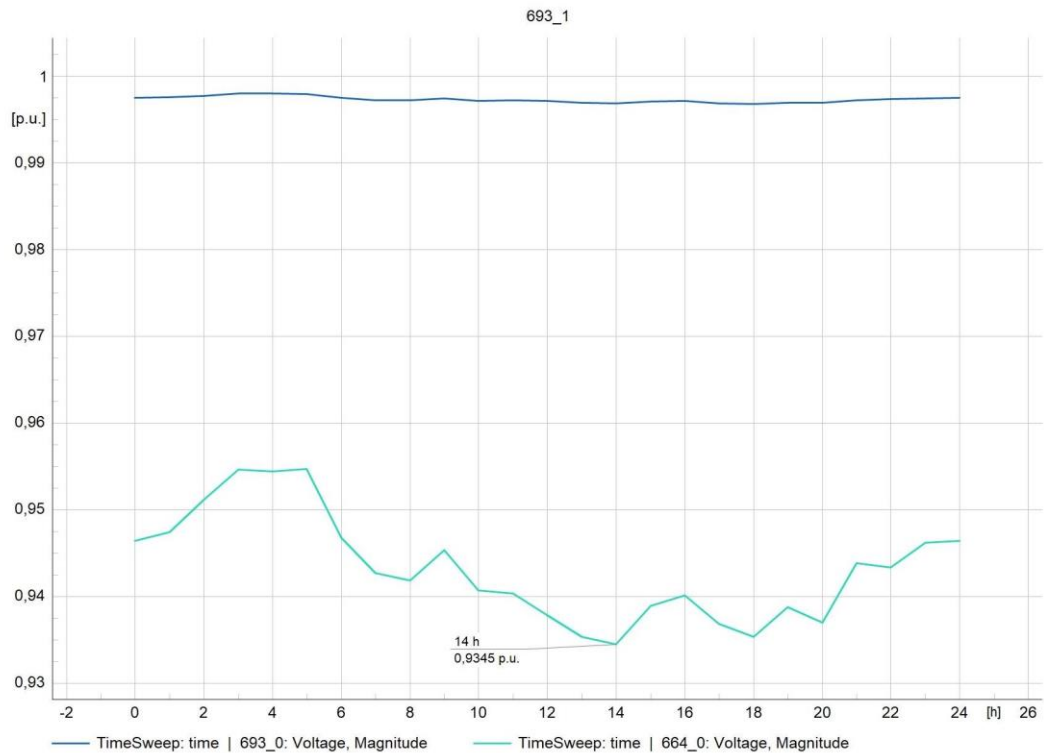
A főbb vizsgált és összehasonlított paraméterek a következők. A köf/kif transzformátor terheltsége (load) százalékos értékben, a transzformátor kisfeszültségű gyűjtősínjén mérhető feszültség viszonylagos egységben (693-as számú gyűjtősín), valamint az alapfuttatással meghatározott legnagyobb feszültségesést elszenvedett csomópont feszültsége szintén viszonylagos egységben (664-es gyűjtősín). A két feszültséget azonos diagramon fogom ábrázolni. Ezen kívül a különböző szimulációk energia (MWh) dimenziójú adatait az esetek bemutatása után táblázatos formában

összegzem. Ezek a táphálózathól felvett energia, a termelt- és fogyasztott energia, valamint a hálózati veszteségek.



5. ábra: A transzformátor terhelése alapesetben

A transzformátor terhelési diagramjáról először csak az általános fogyasztói viselkedés figyelhető meg. A fogyasztási csúcspont délután jelentkezik 18 órakor, a legkisebb terhelés pedig a völgyidőszakban, hajnali 3 órakor van. A transzformátor terhelése 40% körül mozog.



6. ábra: Gyűjtősin feszültségek alapesetben

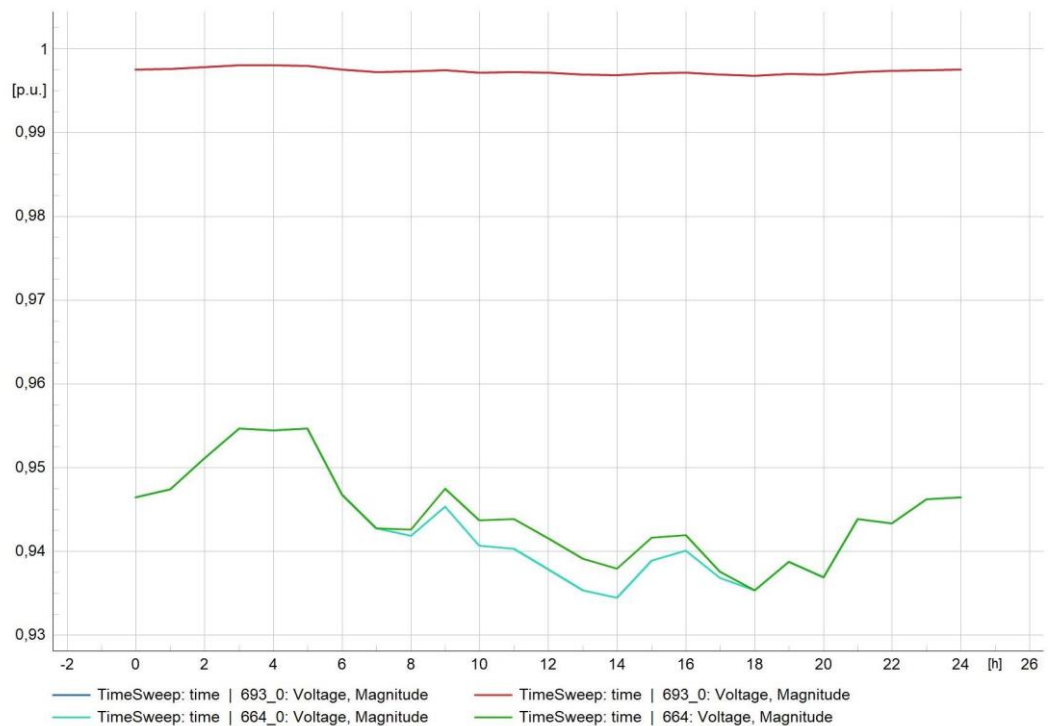
Ahogy az ábrán látszik a transzformátor kiefeszültségű gyűjtősinjén a feszültség nagyon közel van a névleges értékhez. A legnagyobb feszültségesést elszenvedő gyűjtősinen ugyan határértéksértés nem történik, de a feszültségfüggő fogyasztók teljesítményfelvételére hatással van.

3.1.2 HMKE betáplálás eredeti esetben

Az alapeset felvételéhez kikapcsolt HMKE betáplálást visszakapcsoltam. A kapott adatok 2018-as mérési eredmények, így azóta a hálózatra csatlakozó kiserőművek száma megnövekedhetett, ezt a következő szimulációban fogom vizsgálni. A szimuláció futtatásához az 1-es számú napelem termelési profilt alkalmaztam, amelynél a panelek termelésében nincsenek még kisebb fluktuációk sem. Az előző esethez hasonlóan a számítási eredmények a következő ábrákon láthatók.



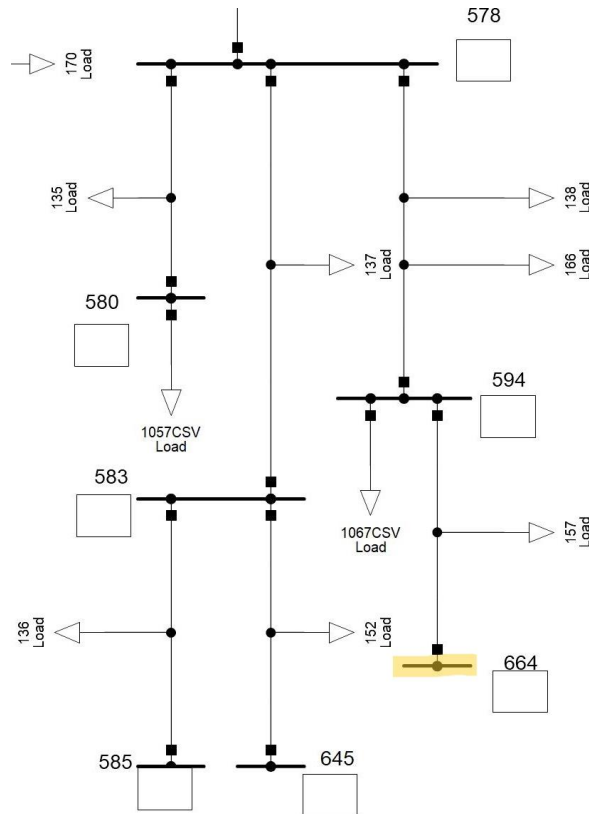
7. ábra: A transzformátor terhelési görbéje eredeti HMKE betáplálás mellett



8. ábra: Feszültségek eredeti HMKE betáplálás mellett

Az ábrák értelmezésekor a kék szín jelöli az eredeti állapotot, a piros pedig a hozzá tartozó újat. A feszültségek esetében a világos kékhez az új értéket a zöld szín jelzi. A körzeti transzformátor terhelése a nap közben jelentősen lecsökkent. Ezzel

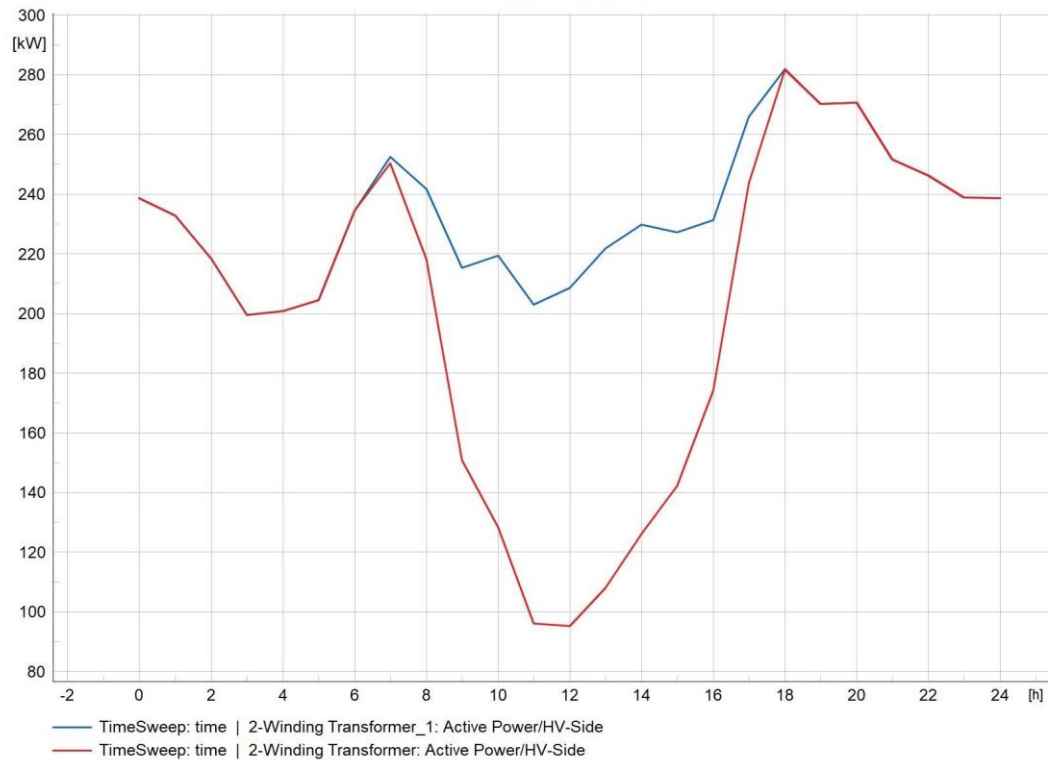
szemben a hálózati feszültség a két mért ponton alig változott. Ehhez meg kell jegyezni, hogy a 664-es csomópont teljes leágazásán nem található HMKE, így nincs lokális betáplálás. A futtatás során a napelemes kiserőművek teljes névleges teljesítménye 47,9 kW volt, ami az egy napos vizsgálati idő alatt 349 kWh energiát termelt, a hálózati veszteséget pedig 17 kWh-val csökkentette.



9. ábra: A vizsgált csomópont környezete

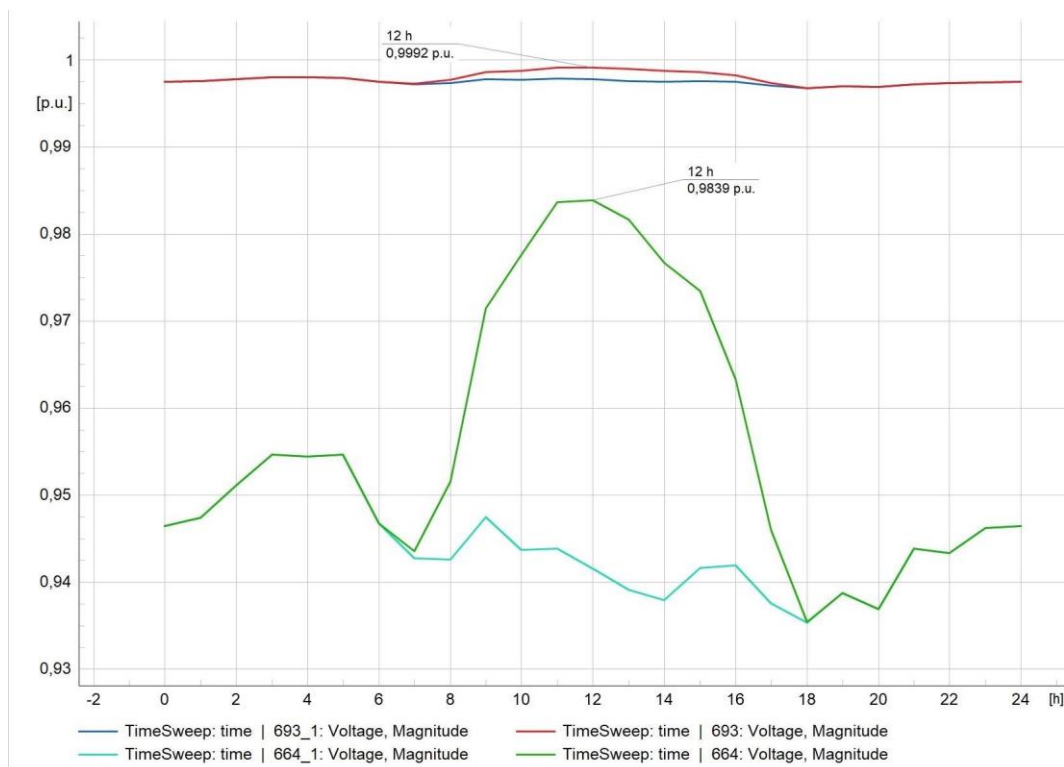
3.1.3 HMKE betáplálás melletti eset

Mivel eredeti esetben a csatlakozó HMKE kapacitás jóval kisebb mértékű, mint a 2021 év végére aktualizált, és a hálózati hatása is sokkal kisebb jelentőséggel bírt. Mivel nem tudtam, hogy az energiaáramlás szempontjából mekkora változást fog jelenteni a megnövekedett termelés, ezért a transzformátor terhelése helyett a középfeszültségű oldalon keresztüláramló teljesítményt jelenítettem meg. A kisértékű oldalon ellentétesen van felvéve a termelt és a fogyasztott teljesítmény iránya, tehát a diagram vízszintesen tükrözve lenne. Ha teljesítményáramlás változás történne, a teljesítmény negatív értékeket venne fel. A terhelés diagramján azonban nem negatív értéket venne fel, hanem az újra növekedni kezdene.



10. ábra: A transzformátor teljesítményfelvétele megnövelt HMKE kapacitás esetén

A megnövekedett HMKE kapacitás miatt jelentősen lecsökkent nap közben a transzformátoron átáramló teljesítmény, így annak terhelése is. Mint látható, teljesítményirány megfordulásról még ebben az esetben sincs szó, akkor az ábrán a negatív tartományba lépne a görbe. A következő ábrán a feszültségeket mutatom be.



11. ábra: Feszültségek alakulása megnövelt HMKE betáplálás esetén

A 664-es számú gyűjtősínen jelentősen javul a feszültségminőség a HMKE betáplálás hatására. A kisfeszültségű gyűjtősínen, közel a közepfeszültségű táphálózathoz a feszültségemelkedés elhanyagolható. A hálózat többi csomópontján mérhető feszültségek sem sértenek határértéket egyik esetben sem.

Az egyszerűbb szimulációk energiaegyensúlyát a következő táblázatba gyűjtöttem össze. Mivel ezek az esetek változatlan fogyasztási profillal készültek, ezért a fogyasztott energia nem változik.

Szimuláció	Külső betáplálás	Termelt energia	Fogyasztás	Veszteség
Alap	5969,57 kWh	0 kWh	5844,22 kWh	125,65 kWh
HMKE eredeti	5603,99 kWh	349,44 kWh	5844,22 kWh	109,44 kWh
HMKE megnövelt	4821,19 kWh	1107,31 kWh	5844,22 kWh	84,43 kWh

1. táblázat: A hálózatmodell energiamérlege a különböző esetekben

3.2 Sztochasztikus szimulációk

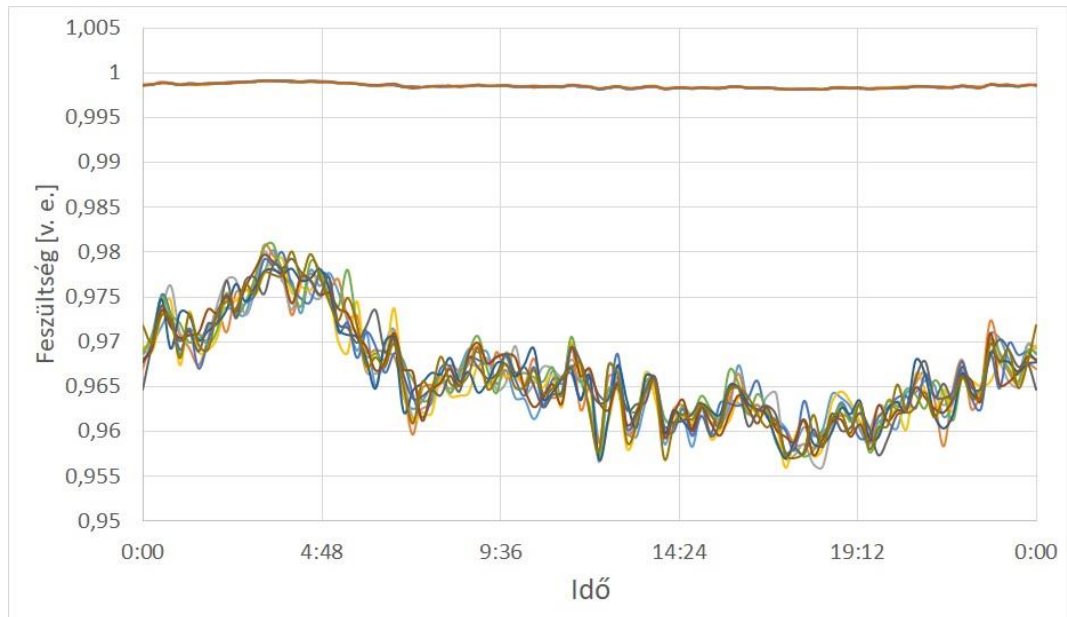
Ebben a fejezetben mutatom be azon futtatási eredményeimet, amelyeket sztochasztikus elemzés során kaptam. Ehhez létre kellett hoznom egy szkriptet, amit a DIgSILENT PowerFactory saját programozási nyelvén, DPL-ben írtam. A szkript egyes részei a függelékek között találhatóak. A sztochasztikus elemzés célja, hogy egyszerre

több esetet vizsgálhassak a villamosenergia rendszeren, dinamikus modellt állíthassak fel. Innentől kezdve a fogyasztói profilokban való változások miatt a következő eredmények nem hasonlíthatók az eddigi eredményekhez!

Első lépésben a fogyasztók véletlenszerű teljesítményfelvételét akartam megoldani. A szkript először beolvas egy külső fájlból viszonylagos egységben megadott fogyasztási profilekat, mint az eredeti esetben, csak most egy mátrixban tárolja ezeket az idősoros értékeket. A mátrix 12 sorból, azaz profilból és 96 oszlopból, azaz negyedórából áll. Ez után egy vektorba elmenti az összes fogyasztó névleges teljesítményét, amit minden futtatás alkalmával meg fog változtatni. Erre azért van szükség, hogy a futtatások végén vissza tudjuk állítani az eredeti teljesítményeket. A szkript 96 load flow futtatást végez el, ezzel egy teljes napot szimulálva. Minden futtatáskor a mátrix megfelelő oszlopából választ értéket. Ezt követően egy random generátor függvényvel normál eloszlást alkalmazva a szkript választ egy számot 1-től 12-ig, ez lesz a kiválasztott érték, amit az adott load flow futtatásra kap egy adott fogyasztó. A mátrixból kivett értékkel megszorozza a fogyasztó névleges teljesítményét, és arra a negyedóra az a fogyasztó ekkora teljesítményt vesz fel. Miután feltöltötte az összes fogyasztót, elindul a load flow futtatás. Ennek az eredményeit külön mátrixokba mentettem ki, hogy diagramokon tegyem őket értelmezhetővé. A futtatás végén az eredeti fogyasztói teljesítményeket tartalmazó vektorból a szkript visszaállítja a fogyasztók teljesítményét, különben egy 0 és 1 közötti számmal megszorozott érték maradna az eredeti teljesítményből, és néhány futtatás után elfogyna. A következő negyedórában a szkript újra véletlenszerűen választ a mátrix sorai közül, nem az előző esetben kiválasztott profilt választja ismét. Ebből kiszámolható, hogy összesen 12^{96} db különböző fogyasztói profil állhat elő. A 96 negyedóra lefuttatása után a szkript véget ér és az eredmények elérhetőek.

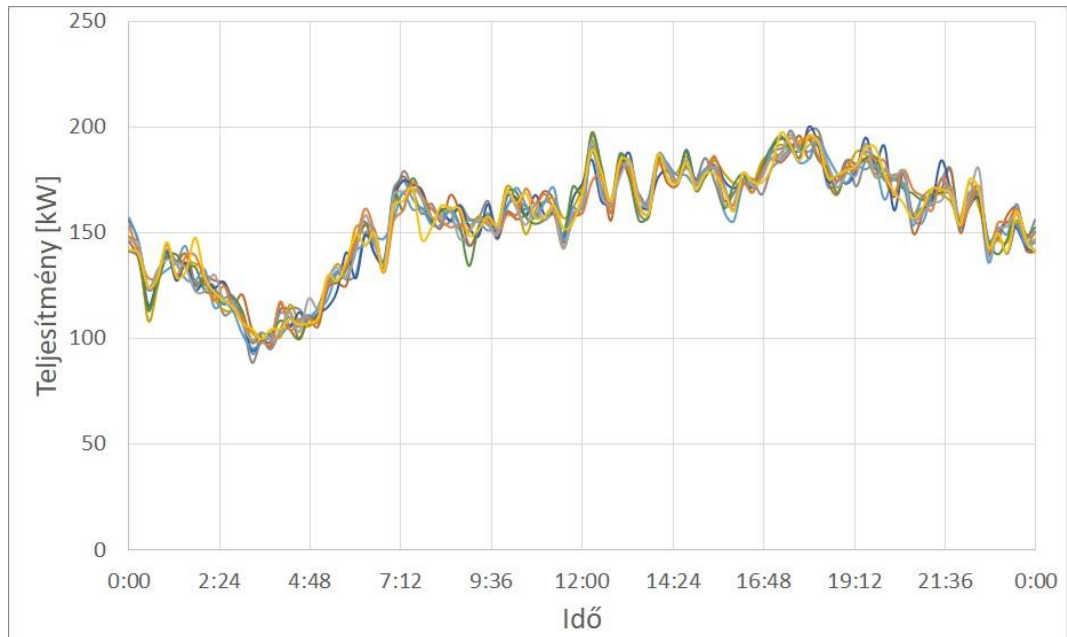
3.2.1 Sztochasztikus elemzés alapesetben

Mivel a sztochasztikus elemzés célja az, hogy egyszerre több lehetséges állapotot vizsgáljak, ezért a szkript tízszer végzi el a 96 negyedóra számításait, így egy futtatással tíz különböző, véletlenszerű eset eredményeit kapom. A szkript eredményei a következő ábrákon látszanak.



12. ábra: Feszültségek sztochasztikus alapesetben

A 12. ábrán a továbbra is a transzformátor kisfeszültségű gyűjtősínjén mérhető feszültség és a 664-es csomóponton mérhető feszültségek látszanak, a közel állandó értékű a transzformátor gyűjtősínje. A különbség az eddigiekhez képest, hogy egyszerre tíz különböző véletlenszerű esetet látunk. A gyűjtősínen az esetek közötti különbség lényegében elhanyagolható, konstans értéket tart. Amennyiben egyedül a kisfeszültségű gyűjtősín van megjelenítve, és jobban látszanak a különbségek, akkor az mondható el, hogy a legmagasabb és legalacsonyabb viszonylagos egységben mért feszültségek közötti különbség kb. 0,001.



13. ábra: A transzformátor teljesítménye sztochasztikus alapesetben

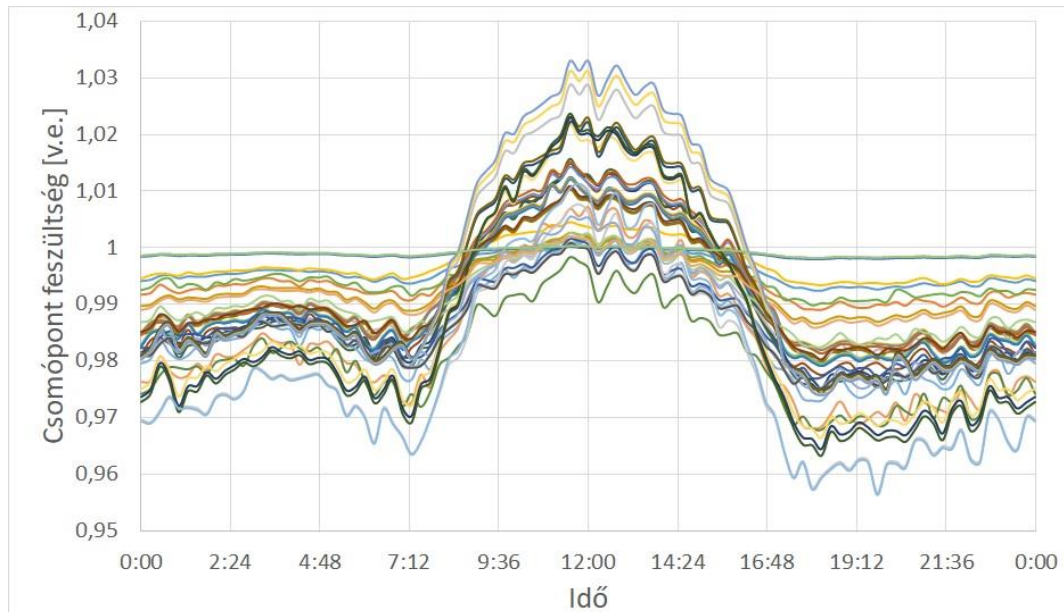
Mivel nem alkalmaztam sok különböző eredeti profilt, a tíz különböző eset eredményei sem lesznek lényegesen eltérőek, ami egy kifestültségű hálózat modellezésekor nem is jelent feltétlenül problémát. A lényeg, hogy megmutassam azt, hogy a tápláló hálózatból érkező teljesítményben körülbelül mekkora eltérések lehetnek az egyes negyedórákban. A felvett teljesítmény maximuma 200, 65 kW, minimuma 88,85 kW, átlaga pedig 156,02 kW.

3.2.2 Sztochasztikus elemzés HMKE betáplálással

Ismét bekapcsoltam a napelemes termelőket, és a szkriptben is felvettem a napelemek termelési profiljait. Ezeket a profilokat szintén egy mátrix tárolja. Úgy döntöttem, hogy a szkript lefuttatásakor mind a tíz esetben azonos profilt kapjanak a napelemek, amik a fogyasztókkal ellentétben megtartják a választott profilt, amit a szkript a számítások előtt véletlenszerűen választ ki.

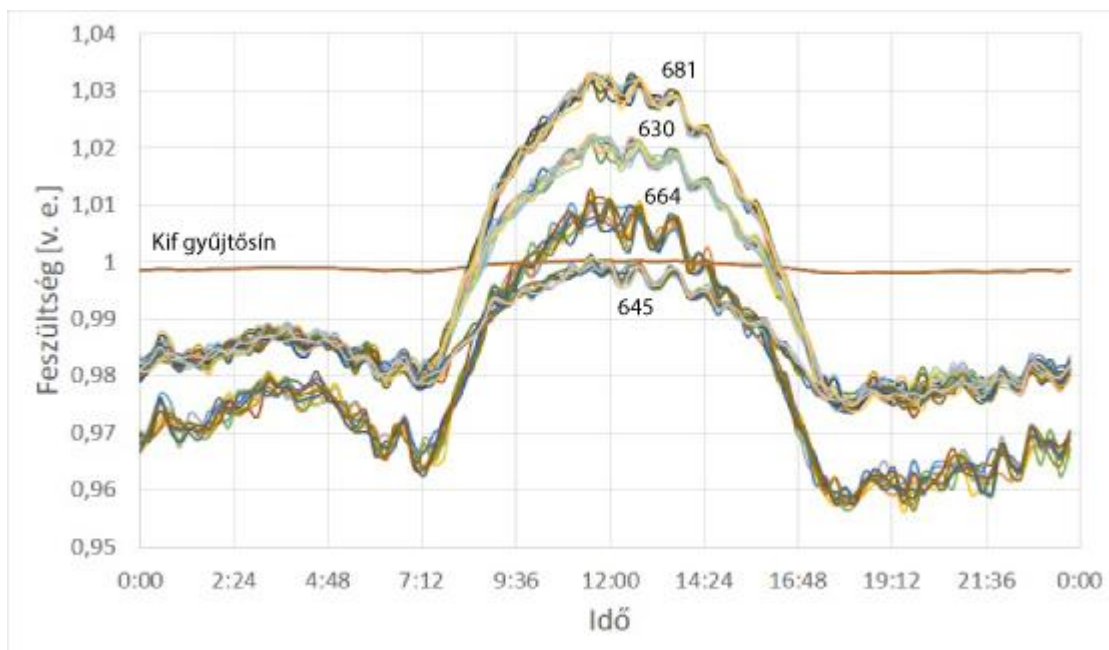
A napelemes termelés miatt érdekesebbé vált, hogy a hálózat egyes csomópontjain milyen feszültségek jelennek meg. Például az eredetileg legalacsonyabb feszültségű csomópont nap közben, a napelemek csúcstermelésekor már nem a legalacsonyabb feszültségű. Emellett érdekes lehet még a legmagasabb feszültségű pont is. A bemutatott diagramok továbbra is az első, azaz tiszta égbolt melletti napelem termelési profil mellett készültek. Először kiírtam az utolsó szimuláció összes

csomópont idősoros feszültségértékét, hogy megnézzem hol és hogyan változik a feszültség a nap folyamán.



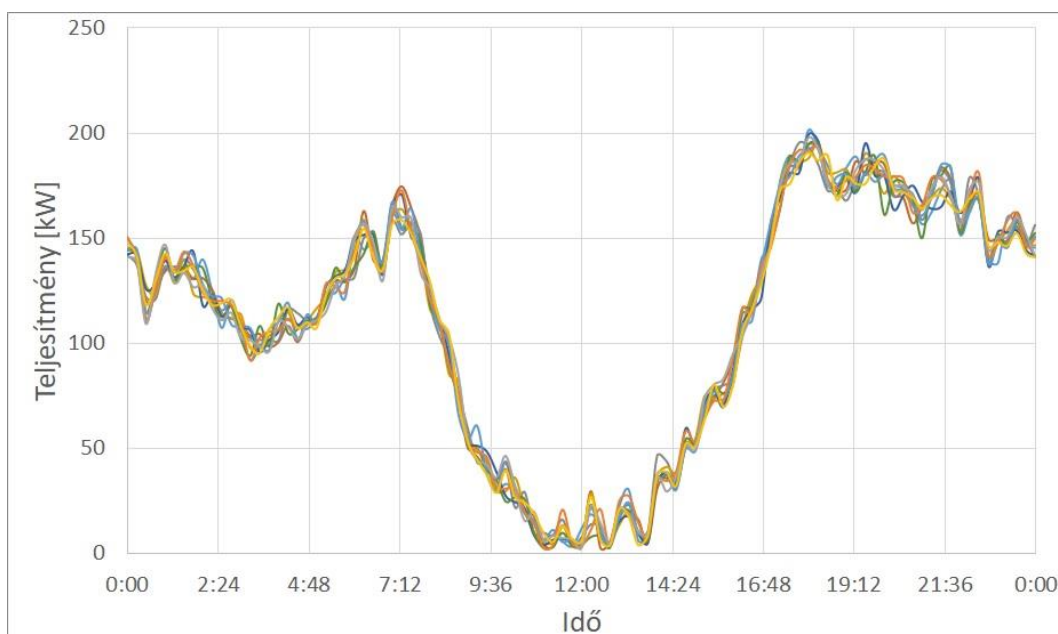
14. ábra: Csomóponti feszültségek

A 14. ábrán látható diagram alapján meghatároztam azokat a csomópontokat, amelyekre érdemes odafigyelni. Az egyik az előforduló legmagasabb feszültségű csomópont (681), a másik pedig az a csomópont, ahol a napelemek csúcstermelésekor a legalacsonyabb a feszültség. A legalacsonyabb feszültségemelkedés a táptranszformátorhoz legközelebbi csatlakozásoknál figyelhető meg. A legnagyobb változások pedig a legtávolabbiaknál.



15. ábra: Vizsgált csomóponti feszültségek alakulása

A legnagyobb feszültségérték 1,03 v. e. körül van, tehát határérték sértéstől nem kell tartani. A 645-ös csomópont feszültségét azért tartottam jelentősnek, hogy feltüntessem, mert ott mérhető nap közben a legalacsonyabb feszültség szint, és ha megfigyeljük, a 630-as csomópont görbáját, akkor azt vesszük észre, hogy a napelemek termelésén kívül szinte megegyezik a kép csomópont feszültsége. A 2. ábrán pedig látszik, hogy a hálózaton mind a két csomópont végponti helyen van. A transzformátoron átáramló teljesítmény a 16. ábrán látszik.

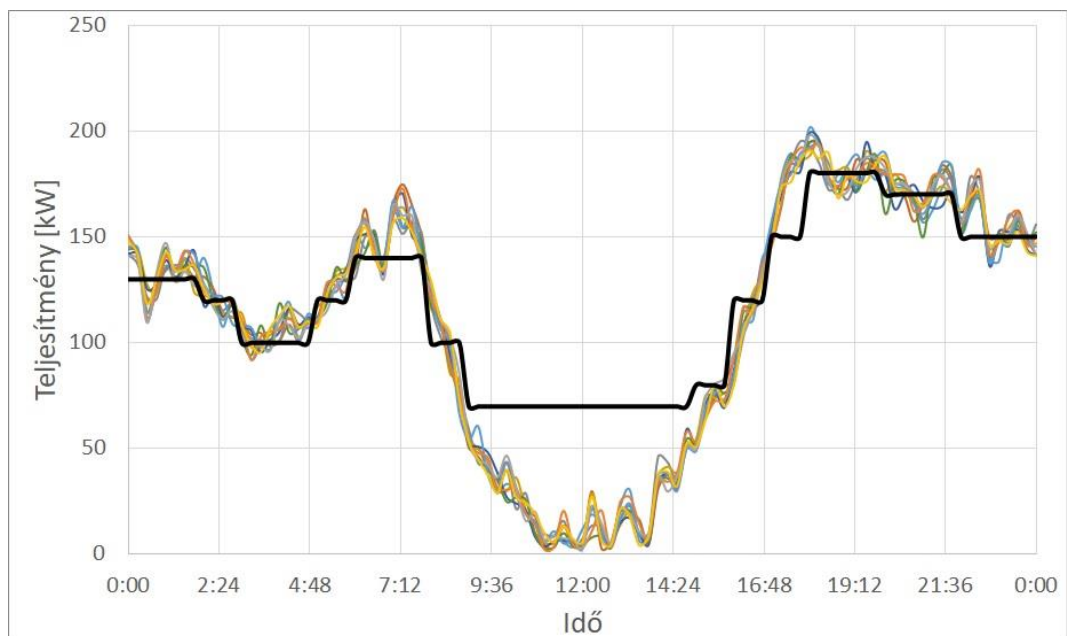


16. ábra: Transzformátor teljesítménye HMKE betáplálás esetén

Ahogy korábban is említettem, a fogyasztók teljesítményfelvételében nincsenek számottevő eltérések, így a tíz különböző esetben sincs látványos eltérés. A transzformátor teljesítménye nem vesz fel negatív értéket, tehát teljesítményirány változásról továbbra sem beszélhetünk, de a 0 teljesítményt nagyon megközelíti. A transzformátor minimális teljesítménye 2,06 kW, tehát akár további egy háztartási méretű kiserőmű csatlakoztatása okozhatna irányváltást a teljesítményben. Hogy ezt megakadályozzuk, megoldást kell találnunk a megújuló energiatermelők időjárásfüggő termelésére. Erre az egyik legcélszerűbb megoldás az energiatároló.

3.2.3 Energiatároló alkalmazása

Az energiatároló felvételekor több egyszerűsítéssel is éltem. A hálózaton a körzeti transzformátor kisfeszültségű gyűjtősinjére helyeztem el, és 500 kVA névleges teljesítményt adtam neki. Nem figyeltem az energiatároló töltöttségi szintjét, egyedül a közép feszültségű hálózathoz felvett teljesítményt szerettem volna szabályozni vele. A napelemes termelés melletti transzformátor teljesítményéből (16. ábra) indultam ki. Meghatároztam egy célfüggvényt, menetrendet, amit a tároló teljesítmény felvételével vagy leadásával tudok elérni. Ez a következő ábrán látható vastag fekete vonallal.

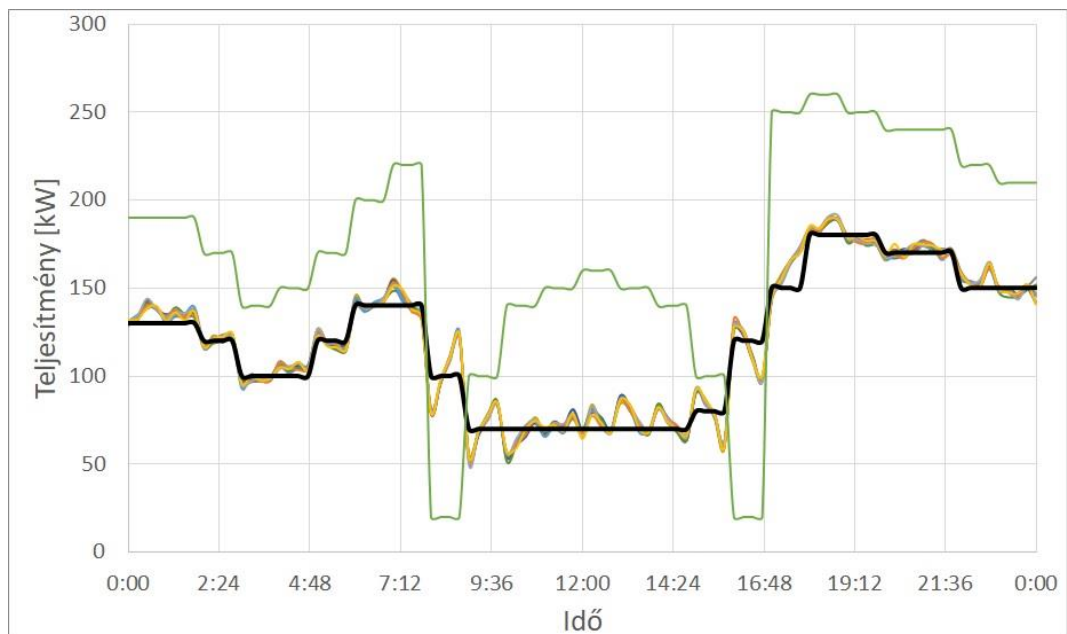


17. ábra: Célfüggvény meghatározása

A napelemek csúcstermelési időszakában azt szeretném, hogy az energiatároló többlet teljesítményt jelentsen a kisfeszültségű körzetben, véletlenül se legyen teljesítményirány változás. Ebben az időszakban tehát feltöltöm a tárolót. Az ezen kívüli

időszakban szabályozási célja van a tárolónak, hogy egyenletesebb legyen a teljesítményfelvétele a körzetnek, azaz az energiaközösségnek.

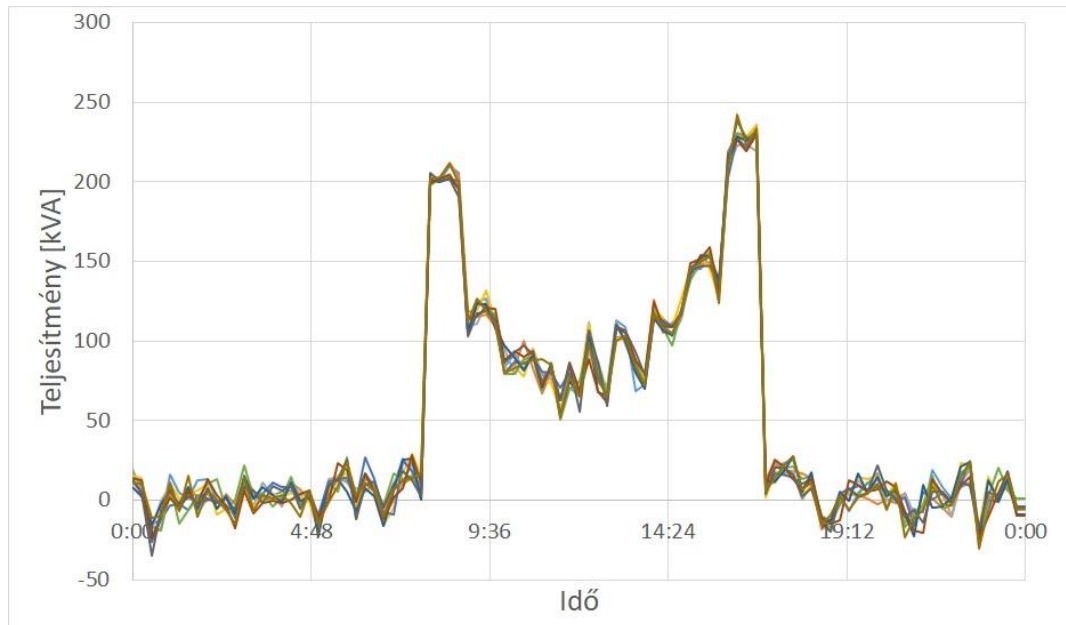
Mivel a transzformátor teljesítménye csak a load flow futtatása után elérhető adat, így a véletlenszerű teljesítménnyel ellátott fogyasztók összteljesítményét vettem alapul az energiatároló menetrendjéhez. Ebből még le kellett vonni a várható napelem termelést is, különben nem a megfelelő értékre fog szabályozni. A hálózati veszteséget is le kellene vonni, azonban az nem kifejezetten jelentős és az is csak a futtatás után elérhető adat. Fontos megjegyezni, hogy az energiatároló szabályozási menetrendje nem azonos a 17. ábrán látható fekete vonallal, az a transzformátoron keresztül áramló teljesítmény célfüggvénye. A tároló szabályozó görbéje a következő ábrán látható zöld színű görbével.



18. ábra: Transzformátor teljesítménye energiatároló alkalmazása mellett

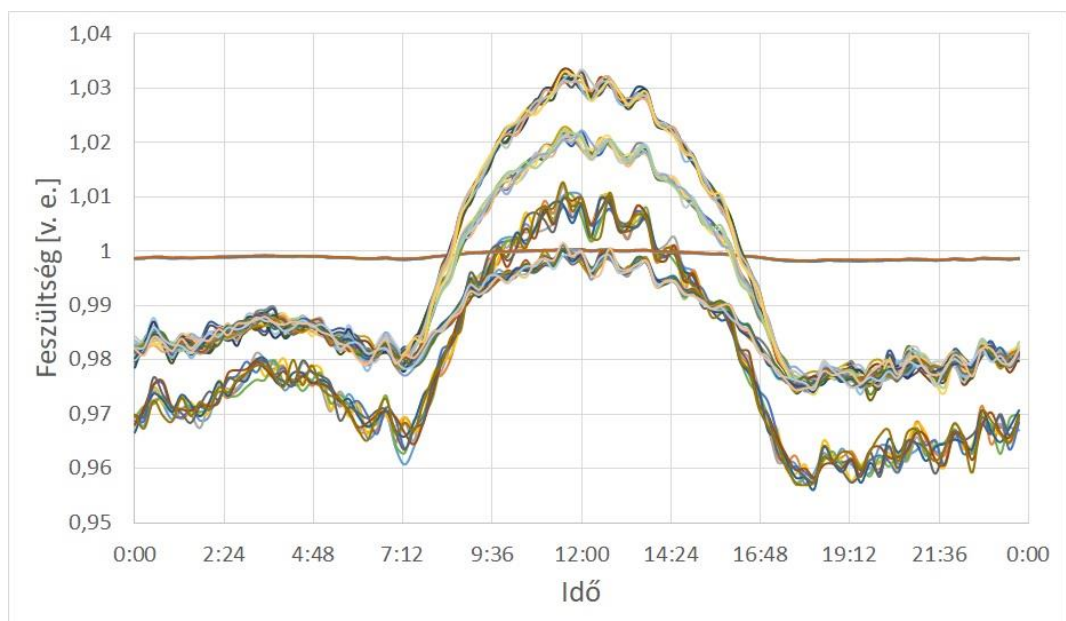
Az energiatároló szabályozása során nem negyedórákat, hanem órák intervallumokat vettem alapul. Ez azt jelenti, hogy egy teljes órára próbálja konstans értékre beállítani a transzformátor teljesítményét. A napelemes csúcstermelésen kívüli időszakban sokkal közelebb kerültek egymáshoz a tíz különböző eset görbéi, mind igyekszik rásimulni a kijelölt célfüggvényre. Később célszerűnek látom negyedórás felbontásúra állítani az energiatároló szabályozását, ez főként a csúcstermelési időszakban bír nagyobb jelentőséggel, és kifejezetten annak is az első és utolsó órájában, amikor rövid idő alatt nagyot változik a betáplált energia. Az energiatároló alkalmazásával így igazából a tercier mikrogrid szabályozáshoz hasonló logikát

szerettem volna előállítani. A tároló teljesítményének lefolyása a következő ábrán látszik.



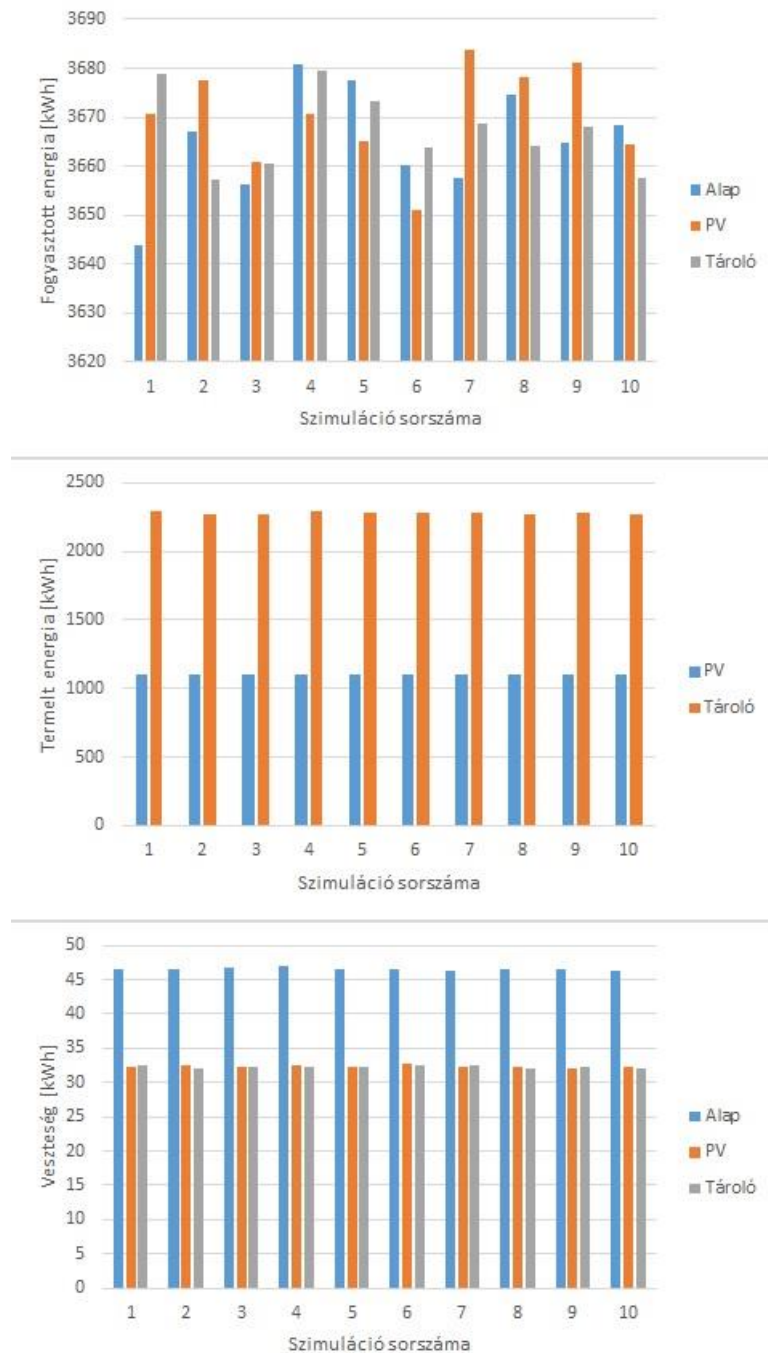
19. ábra: Energiatároló teljesítménye

Az ábráról egyértelműen kiderül, hogy az energiatároló szinte kizárólag tárolásra, és nem betáplálásra fordítja a teljesítményét. A csúcstermelési időszakon kívül van aktívabb szabályozási funkciója. Az energiatároló szabályzásának a hálózati feszültségekre szinte semmilyen hatása nem volt.



20. ábra: Feszültségek energiatároló mellett

Az alapeset, a napelemek betáplálása melletti és az energiátárolóval ellátott eset energiamérlegeit a következő diagramokon mutatom be.



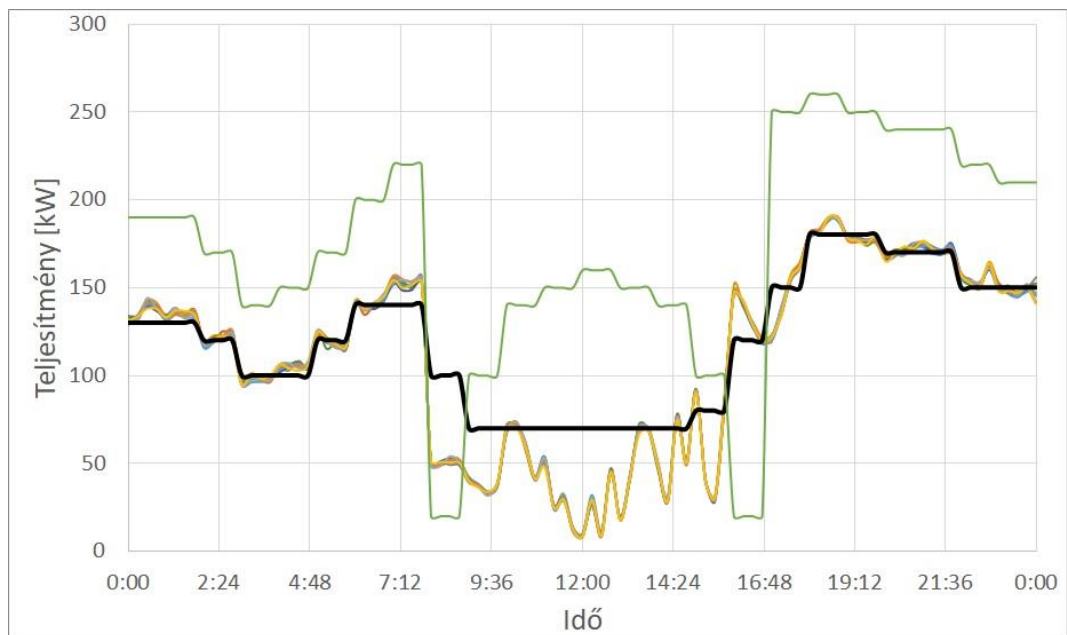
21. ábra: A sztochasztikus szimulációk energiaegyensúlya

A fogyasztott energia igazából csak tájékoztató jellegű, nem lehet a különböző eseteket összehasonlítani, mivel minden esetben véletlenszerű volt a teljesítményfelvétel. Azt azonban érdemes megfigyelni, hogy például az alapesetben a különböző teljesítményfelvételek mellé szinte azonos hálózati veszteség tartozik. A

termelt energia diagramba az alapesetet azért nem tettem bele, mivel ott nincs energiatermelés. A termelt energia az energiatárolós esetben azért jelentősen nagyobb, mint a sima napelemes esetben, mivel a tároló teljesítményét is hozzáveszi a számítás, ami torz eredményt ad. További érdekesség, hogy a napelemes és energiatárolós eset veszteségei között csak minimális különbség van, az is valószínűleg a véletlenszerű fogyasztási adatok miatt. Ez annak köszönhető, hogy a tároló a transzformátor kisméretű gyűjtősínjére csatlakozik. Ha a tárolót, mint tápforrást vesszük, akkor pont ugyanott található, mint az eredeti tápforrás, a körzeti transzformátor. Tehát, ha az energiatárolót máshová helyezem, akkor valamennyivel változni fog a hálózati veszteség és ezzel együtt a csatlakozási pont feszültsége és annak környezetéé is.

3.2.4 Energiatároló nem optimális esetben

Utolsó szimulációnak megvizsgáltam, hogy ha a napelemes termelés nem a tiszta égboltú esetet követi, akkor az energiatároló mennyire tudja a célfüggvényt tartani. Ehhez a 4. ábra 4-es napelem profilját használtam.



22. ábra: Energiatároló szabályozása nem optimális esetben

Az ábrából egyértelmű, hogy az energiatároló vezérlési logikája meg nem tökéletes, van mit rajta finomítani. Ennek a szimulációnak csak ennyi volt a célja, hogy megmutassam, van még hová fejleszteni a megírt szkriptet, és a benne található logikai vezérlést.

4 Összegzés

A dolgozatomban áttekintettem az energiaközösségek jelenlegi helyzetét, a mikrogridek szabályozását és valós adatok alapján saját modellt alkottam, hogy ezen vizsgálatokat végezhessenek. A vizsgálataim két fő részre különíthetők el, az egy bizonyos hálózati állapot szimulációjára és a sztochasztikus elemzésre. Az egyszerű hálózatelemzési módszerek segítenek feltérképezni az adott hálózat jellemző viselkedését, feszültség- és teljesítményáramlás viszonyait. A sztochasztikus elemzést ugyan bonyolultabb volt megalkotni, de egyszerre sokkal több eredményt ad, mint a korábbi elemzési módszer.

A kisfeszültségű hálózatra csatlakozó kiserőművek tekintetében arra a következtetésre jutottam, hogy határérték sértés nélkül még bőven lehet újabb kapacitásokkal számolni. Energiatárolók alkalmazása mellett pedig még a megforduló teljesítményáramlás irány sem okozna problémát. A közép- és nagyfeszültségű táphálózatról persze nem célszerű a leválás, de a kiserőművekkel és energiatárolóval ellátott hálózatrész akár hálózati veszteségektől is megszabadíthatja a villamosenergia rendszert. A lakosság fogyasztókra hárított energiátároló beépítést nem tartom megfelelő ötletnek, mivel ez jócskán meghosszabbítja a háztartási méretű kiserőművek telepítésének megtérülési idejét. Ehelyett egy kisfeszültségű transzformátorkörzetre egy nagyobb energiátároló méretezését jobb megoldásnak látom, amit ösztönző szabályrendszer mellett közösségi finanszírozással belátható időn belül megtérülő befektetésnek találok.

A témám folytatásában finomítani fogom az energiátároló vezérlési logikáját, és jobban elmélyedek az energiátárolók szakmai irodalmában. Ezt követően meg szeretném vizsgálni, hogy a mikrogrid szabályozási rendszerek közül melyiket hogyan tudnám felhasználni az energiaközösség modellemben. Végül pedig egy gazdasági ösztönző rendszer kidolgozásával szeretnék foglalkozni.

Irodalomjegyzék

- [1] Energy Community and National Energy and Climate Plans, <https://www.energy-community.org/regionalinitiatives/NECP.html>, megnyitva 2022. 10. 02.
- [2] Európai Bizottság hivatalos weboldala, Energy communities, https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-communities_en, megnyitva 2022. 10. 03.
- [3] Empowering sustainable energy engagement with society, <https://www.powerfund.eu/collective-energy-initiatives/conceptualising-energy-communities>, megnyitva 2022. 10. 03.
- [4] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2019/944 Irányelve (2019. június 5.) a villamos energia belépő piacára vonatkozó közös szabályokról és a 2012/27/EU irányelv módosításáról (átdolgozás) (EGT-vonatkozású szöveg)
- [5] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/2001 Irányelve (2018. december 11.) a megújuló energiaforrásokból előállított energia használatának előremozdításáról (átdolgozás) (EGT-vonatkozású szöveg)
- [6] Trends in Microgrid Control; IEEE-PES Task Force on Microgrid Control; Daniel E. Olivares, Ali Mehrizi-Sani, Amir H. Etemadi, Claudio A. Cañizares, Reza Iravani, Mehrdad Kazerani, Amir H. Hajimiragha, Oriol Gomis-Bellmunt, Maryam Saeedifard, Rodrigo Palma-Behnke, Guillermo A. Jiménez-Estévez and Nikos D. Hatziargyriou; 2014. július
- [7] Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities; J.A. Peças Lopes, N. Hatziargyriou, J. Mutale, P. Djapic, N. Jenkins; 2007
- [8] A review of decentralized and distributed control approaches for islanded microgrids: Novel designs, current trends, and emerging challenges; Kunyu Zuo, Lei Wu; 2022
- [9] Modeling, Analysis and Testing of Autonomous Operation of an Inverter-Based Microgrid; Nagaraju Pogaku, Milan Prodanovic and Timothy C. Green; 2007
- [10] Stability Evaluation of Interconnected Multi-Inverter Microgrids Through Critical Clusters; Iraklis P. Nikolakakos, Hatem H. Zeineldin, Mohamed Shawky El-Moursi, Nikos D. Hatziargyriou; 2015
- [11] Frequency Stability of Synchronous Machines and Grid-Forming Power Converters; Ali Tayyebi, Dominic Groß, Adolfo Anta, Friederich Kupzog and Florian Dörfler; 2020
- [12] Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal hivatalos weboldala: Nem engedélyköteles kiserőművek és háztartási méretű kiserőművek adatai,

<http://www.mekh.hu/nem-engedelykoteles-kiseromuvek-es-haztartasi-meretu-kiseromuvek-adatai>, megnyitva 2022. 10. 18.

- [13] A new dawn for energy storage: An interdisciplinary legal and techno-economic analysis of the new EU legal framework; David Parra, Romain Mauger; 2022
- [14] Az energiaközösségek menthetik meg a magyarokat az energiaválságtól?; <https://www.portfolio.hu/uzlet/20220808/az-energiakozossegek-menthetik-meg-a-magyarokat-az-energiavalsagtol-558341#>; megnyitva 2022. 10. 31.

Függelék

```
!Eredeti teljesítmények betöltése mátrixba
i = 1;
for (oLoad=sLoads.First(); oLoad; oLoad = sLoads.Next() ){
    oLoad.GetVal(s, 'slini');
    OgLoad.Set(i, 1, s);
    i += 1;
}
OgLoad.Save();

!Eredeti napelem teljesítmények kimentése
i = 1;
for (oGen=sGens.First(); oGen; oGen = sGens.Next() ){
    oGen.GetVal(s, 'sgini');
    OgPvMx.Set(i, 1, s);
    i += 1;
}
OgPvMx.Save();

!Random HMKE termelési profil választása
RndSetup(1, 0, 0, 0);
pvRow = PvMx.GetNumberOfRows(); !Napelem profilok száma
pvRand = RndUnifInt(1, pvRow, 0); !Random választ egy termelési profilt
pvRand = 4;

!Fogyasztók profillal való feltöltése
fogyasztas = 0;
for(oLoad = sLoads.First(); oLoad; oLoad = sLoads.Next()){
    a = RndUnifInt(1, row, 0);
    oLoad.GetVal(1, 'slini');
    mx = LoadMx.Get(a, b);
    n = mx*1;
    oLoad.SetVal(n, 'slini');
    fogyasztas += n;
}
MxFogy.Set(sim, b, fogyasztas);

!Napelemek profillal való feltöltése
for (oGen = sGens.FirstFilt('PV*.ElmGenstat'); oGen; oGen =
sGens.NextFilt() ){
oGen.GetVal(1, 'sgini');
mx = PvMx.Get(pvRand, b);
n = mx*1;
oGen.SetVal(n, 'sgini');
pvpow += n;
}
MxPvIn.Set(sim, b, pvpow);

!Energiatároló vezérlés
i = 1;
for (j=0; j < 96; j += 4 ){
    if (j < b <= j+4){
        cel = AimMx.Get(1, i);
        cel = cel*0.001;
        MxCel.Set(sim, b, cel);
        stored = abs(cel - fogyasztas);
    }
}
```

```

oStorage.SetVal(stored, 'sgini');
if (cel < fogyasztas) {
    z = 1;
    oStorage.SetVal(z, 'cosgini');
}
else {
    z = -1;
    oStorage.SetVal(z, 'cosgini');
}
MxCos.Set(sim, b, z);
}
i+=1;
}

```

!Legnagyobb feszültségű csomópont megkeresése

```

i = 1;
if (sim=10){
    for(oBus=sBus.First(); oBus; oBus=sBus.Next()){
        fesz = oBus.m:u;
        BusVoltageMx.Set(i, b, fesz);
        i += 1;
    }
}

```

!Fogyasztók teljesítményének visszaállítása eredeti értékre

```

i=1;
for (oLoad=sLoads.First(); oLoad; oLoad = sLoads.Next() ){
    s = OgLoad.Get(i, 1);
    oLoad.SetVal(s, 'slini');
    i += 1;
}

```

!Napelemek teljesítményének visszaállítása eredeti értékre

```

i = 1;
for (oGen=sGens.FirstFilt('PV*.ElmGenstat'); oGen; oGen=sGens.NextFilt()){
    s = OgPvMx.Get(i, 1);
    oGen.SetVal(s, 'sgini');
    i += 1;
}

```