

## Szigetüzem szimulációja elosztó hálózatokon

Az elosztott megújuló energiatermelők elterjedése (Distributed Energy Resources, DER-ek) miatt újra kell gondolni a kiesések kezelését az elosztó hálózatokon. A jelenlegi hálózatiirányítási gyakorlat ugyanis nem teszi lehetővé az önállóan is működőképes elosztott energiatermelők bevonását az üzemzavarok hatásainak enyhítésébe, mivel zárlatok és feszültségletörések esetén a DER-eknek automatikusan le kell válniuk a közép-feszültségű hálózatról az üzemzavar elhárításáig. Így az üzemzavar során táplálás nélkül maradt fogyasztók sem láthatók el a DER-ek segítségével. Azonban a köf/kif hálózat egyes részein a DER-eket jó fel lehetne használni a kritikus fogyasztók folyamatos ellátására és ily módon a SAIDI mutató csökkentésére. Jelen cikkben a nagy kiterjedésű hálózatok vizsgálatára alkalmas szimulátor (Network Training Simulator – NTS) segítségével a közép-feszültségű hálózatokon kialakuló szigetek működését vizsgáló szimulációk eredményeit foglaltuk össze, melyek modellezik a közép-feszültségű elosztó hálózatot az oda csatlakozó mikrogridekkel, energiátárolókkal és megújuló energiatermelőkkel együtt. A szimuláció legfontosabb célja az volt, hogy meghatározza a szigetüzemi működés műszaki követelményeit, a közép-feszültségű üzem-helyreállítás és az elosztott termelők közötti együttműködést, valamint a hagyományos elosztó hálózati üzemirányításnak (Distribution Management System – DMS), az ezután létrejövő aktív hálózatiirányításnak (Active Network Management – ANM) és a mikrogrid vezérlőknek az új üzem-helyreállítási stratégia érdekében szükséges összehangolt működését.

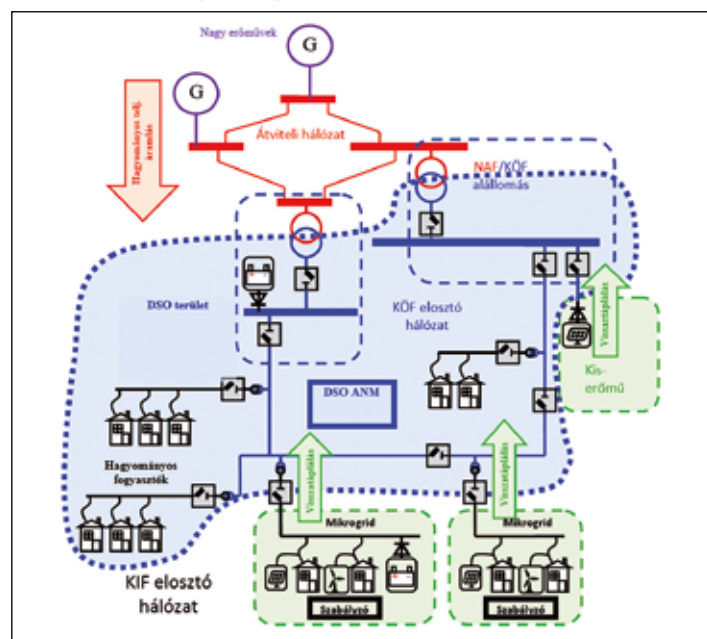
By spreading the renewable distributed energy resources (DERs) the operation of distribution networks during outages must be re-considered. Actual network operation regulations do not support the utilization of autonomous capabilities of microgrids and DERs under disturbances, as in the case of voltage problems and short circuits of MV lines distributed generation units must be switched off until the clearing of the fault. Thus, supplying local consumers during outages of the distribution network by islanding is not possible. However, by maintaining the service in a part of the MV/LV network critical consumers should not be interrupted, and SAIDI indices also could be decreased. Actual paper describes simulation studies investigating different operational modes, including islanding in a large scale Network Training Simulator (NTS), modelling a MV network with connected microgrids, storage units and renewable generating units. The main objective of the simulation is to define the technical requirements of islanding, the necessary co-ordination between MV restoration and distributed generation, the needed control system actions performed by Distribution Management System (DMS), Active Network Management (ANM) and microgrid regulators in order to develop new restoration strategies.

## BEVEZETÉS

Az esettanulmányokat egy már működő és a közép-feszültségű hálózatot is modellező, továbbfejlesztett hálózati tréning-szimulátorral (NTS) készítettük ([1]). A hálózati modellben mikrogriddek (beleértve az akkumulátort, megújuló energiatermelőket, mikrogrid szabályzót is), elosztó hálózati akkumulátorok és a kiserőművek közvetlenül a közép-feszültségű gyűjtősínre kapcsolódnak, továbbá az NTS kiegészül ANM funkciókkal is.

Az NTS-ben hagyományos fogyasztói területek és önszabályozó mikrogriddek kapcsolódhatnak a sugaras elosztó hálózatra (ld. az 1. ábrát). Ily módon többféle üzemmód és sziget elrendezés tanulmányozható, mint pl.:

- Különböző mikrogrid szabályzási módok (pl. maximális zöld energia kihasználás)
  - Mikrogrid leválása a közép-feszültségű közcélú hálózatról
  - Közép-feszültségű vonal kikapcsolódása
  - Egy nagyobb főelosztó hálózatrész és az oda kapcsolódó 120/köf állomások kiesése
- Szigetüzem kialakításával és fenntartásával kapcsolatban az alábbi új szempontok és követelmények vizsgálандók:
- Életképes szigetek felismerése vagy létrehozása fogyasztói korlátozással, hálózat szekcionalizálással
  - A sziget teljesítmény-frekvencia és feszültség szabályozása
  - Szigetüzemi minőségi mutatók teljesítése (feszültség, frekvencia)
  - A védelmi rendszer átparaméterezése szigetüzemben
  - A szigetüzem hatása a hálózati veszteségre
  - Munkabiztonság kérdései a köf hálózat helyreállítása során az aktív szigetek szomszédságában
  - A szükséges ANM beavatkozások, valamint az ANM és a mikrogrid szabályzók együttműködése



1. ábra Irodaházak építése – Budapest, Váci út

Mindezeket az egyes esettanulmányok leírása során részletesebben is kifejti, majd külön fejezetet szentelünk a szigetüzem specialitásainak.

## A SZIMULÁCIÓS KÖRNYEZET

A szimuláció fő célja az elosztott energiatermelőkkel és mikrogridekkel kiegészített kiterjedt elosztó hálózat üzemének vizsgálata volt. A hálózat és a hálózati elemek paramétereinek

időbeli változását kváziszacioner állapotokkal modelleztük, amelyet a diszkrét állapotváltozók részletes szimulációjával egészítettünk ki. Ez a megközelítés megfelelő volt a vizsgálatokhoz. A tréning-szimulációhoz hasonlóan villamos és elektro-mechanikus tranziensek modellezésére nem volt szükség.

Az NTS-t főként diszpécseri tréningek során használják, emiatt – az analóg mérések (áram, feszültség, teljesítmény) számítása mellett – az olyan diszkrét technológiai események fejlett modellezésére, ill. szimulációjára is alkalmas, mint a védelmek-automatikák és a kapcsolókészülékek működése. Ezeket az NTS szinkron sorrendi hálózatokként modellezi. Minden készülék modell típus egy általános készülékmodellel alapul, amelynek kimenetei csak a bemenetekről és a belső állapotváltozóktól függenek. A kimenetek és a bemenetek között a készülék belső algoritmus (azaz logikája) teremt kapcsolatot, amely logikailag képezi le a valódi eszköz működését. Az eszközök a ki- és bemeneteiken keresztül összekapcsolódhatnak. A szimulációs motor (Discrete Time Simulation Module – DTSM) futtatja a készülékek belső algoritmusait és a készülék portok értékeit szétterjeszti a szinkron sorrendi hálózatban. Ily módon bármilyen összetett rendszer működése szimulálható.

Az alábbi fontosabb szimulációs modelleket a [2] szakirodalom részletezi:

- A középfeszültségű hálózatok speciális áramlásszámítása (szétcsatolt, fázisonkénti modellezés [3], [4])
- A szigetek egy pontos frekvenciamodellezése
- Időben diszkrét szimulációs modellezés (DTSM)
- Megújuló energiatermelők modellje (szél és nap erőművi egységek a primer energia hordozó villamos teljesítménnyel konvertálásával, biogáz motor/generátor)
- Akkumulátor és inverter egység
- A termelés és a fogyasztás változása (napi profil)

A többi szimulátor funkció bemutatása (pl. forgatókönyvkezelés) és a modellek részletezése meghaladja jelen cikk terjedelmi kereteit.

## SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

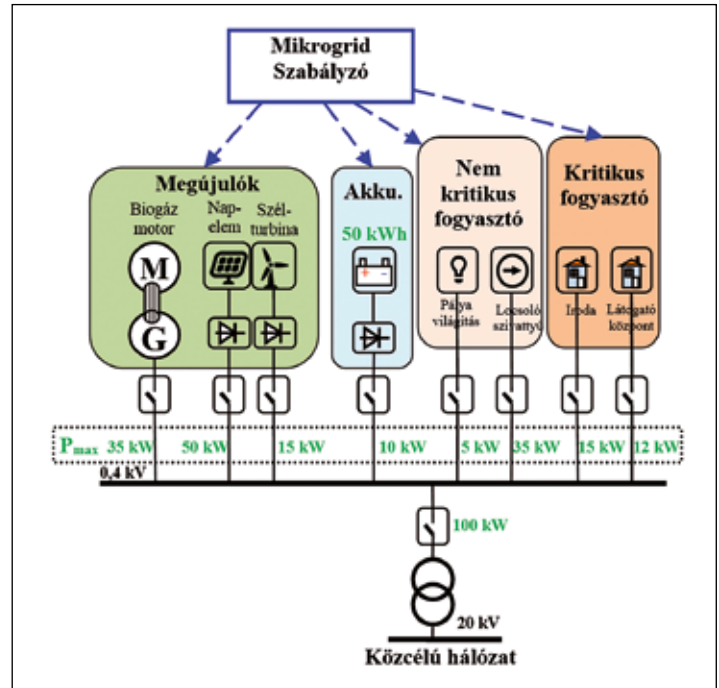
### 1. Esettanulmány: A mikrogridben a zöld energia maximális kihasználása

Ez az esettanulmány egy, a középfeszültségű elosztó hálózatra csatlakozó mikrogridet vizsgál (párhuzamos üzemben, ld. a 2. ábrát). A szabályozási stratégia a zöldenergia maximális felhasználása és a mikrogrid és a nyilvános hálózat közötti energiacsere minimalizálása.

#### Esetleírás

Egy napsütéses, szeles napon a nap- és a szél erőmű majdnem teljes teljesítménnyel üzemel. A biogáz motor-generátor egységet csak a locsolás idejére a szivattyú táplálására kapcsolják be (4.30 és 7.00 óra között). Reggel az akkumulátor töltöttsége alacsony, mivel az éjszaka a fogyasztók lemerítették. A fogyasztói igények kisebbek, mint amennyit a megújuló termelnek, így a főlösleges zöld energiával tölteni lehet az akkumulátort. Kora reggel és késő délután nagy teljesítményű szivattyúkkal locsolják a gyepet. Mivel reggel az akkumulátor még le van merülve és a napelemek, ill. a szél erőmű teljesítménye sem elég a szivattyú táplálására, a mikrogrid szabályzó elindítja a biogáz motor-generátor egységet. A generátor annyi energiát termel, hogy locsolás közben még az akkumulátort is tölteni tudja.

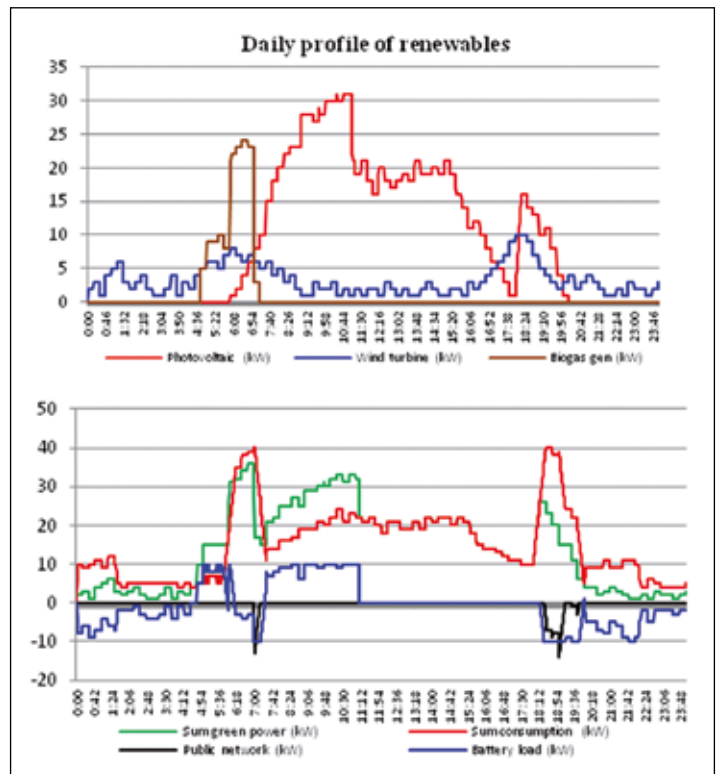
Délig a megújuló energiatermelők teljesen feltöltik az akkumulátort. Késő délután a locsolószivattyúk energiaigényét az akkumulátor fedezi, így nincs szükség a biogáz motor-generátor egység indítására.



2. ábra

### Az 1. eset értékelése

A termelők, az akkumulátor és a köf/kif betáplálási pont napi teljesítménygörbéit a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra

Ezen látható, hogy a szabályozási stratégiát követve a közcélú hálózatról csak a locsolási időszakban kellett egy nagyon rövid ideig energiát vételezni. Egyébként a mikrogrid önálló volt, azaz a nap nagy részében szigetüzemben is üzemeltethető volna. A teljesítményegyensúly azonban csak az egyik szempont. Szigetüzemben azonban számos egyéb probléma is felmerül, melyet kezelni kell (ld. a „A szigetüzem specialitásai” fejezetet).

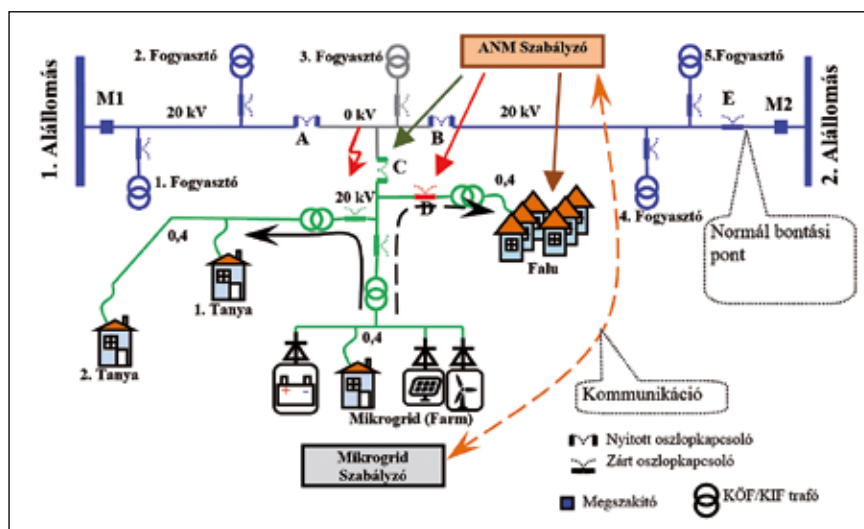
Délután a fogyasztás lecsökkenése miatt a zöldenergia termelést is le kell szabályoznia a mikrogridnek, mivel szabályozási stratégiát követve a közcélú hálózatba sem táplálhatja vissza a fölösleget (ld. az „Összes zöld teljesítmény” görbét).

## 2. esettanulmány: A mikrogrid lecsökkenti a nem szolgáltatott energiát egy köf vonal kiesésekor

### Esetleírás

A vizsgált hálózatot a 4. ábra mutatja.

Az időjárás napos és szeles, ezért a Mikrogrid napelemei és a szélérőműve termelnek. Kezdetben az akkumulátor majdnem teljesen fel van töltve. Az 1-5 Fogyasztókat, a Mikrogridet, a Falut és a két Tanyát (1,2) az 1. Alállomásból látják el. A normál bontási pontot jelölő 'E' jelű kivételével valamennyi oszlopkapcsoló be van kapcsolva.



4. ábra

### Esemény

Az A és B jelű oszlopkapcsoló határolta szakaszon egy tartós rövidzárlat lép fel.

### Üzem-helyreállítás

A diszpécser már megtalálta és leválasztotta a hibás vezeték szakaszt. Az 1. és 2. Fogyasztót visszakapcsolta az 1. Alállomásra. A 4. és 5. Fogyasztókat az 'E' jelű oszlopkapcsolóval átkapcsolta a 2. Alállomásra. Csak a Falu, a Mikrogrid, a két Tanya és a 3. Fogyasztó maradt ellátatlanul.

### Lehetőség a fogyasztók kiesési idejének rövidítésére

A Mikrogrid kedvező helyzetben van, mivel elégséges termelői és akkumulátorkapacitással rendelkezik. Hosszú ideig képes ellátni önmagát villamos energiával.

A 3. Fogyasztó helyzete a legrosszabb, mivel a hibahely éppen az ő vezeték szakaszán van. A hiba kijavításáig nem lehet ellátni. Szerencsére a két Tanya, a Mikrogrid és a Falu a 'C' jelű oszlopkapcsolóval leválasztható a hibás hálózatrészről. Az ANM kommunikál a Mikrogrid szabályzójával és információt szerez arról, hogy a Mikrogrid termelése és az akkumulátorában tárolt energiája más fogyasztók ellátására is elegendő. (A további megfontolásokat ld. a „A szigetüzem specialitásai” c. fejezetben.)

Az ANM először kikapcsolja a kevésbé érzékeny fogyasztókat (pl. a vízmelegítőket, hőtárolós kályhákat) a Faluban és esetleg a két Tanyán is, és csak az érzékeny fogyasztók maradnak bekapcsolva. Az ANM (vagy a diszpécser) a 'C' jelű oszlopkapcsolóval leválasztja ezt a hálózatrészt. A Mikrogrid a közcélú hálózaton keresztül táplálja meg a Falut és a két Ta-

nyát (ld. a 4. ábrát). Mivel a Falu fogyasztása sokkal nagyobb, mint a Mikrogrid termelő kapacitása, ezért az akkumulátor gyorsan merül lefelé. A Mikrogrid tulajdonosai eredetileg ugyan elsősorban az önellátás biztosítása érdekében investáltak a megújuló termelők és az akkumulátor telepítésébe, de kedvező körülmények között a Mikrogrid a többlet teljesítményét felajánlhatja más fogyasztóknak. Azonban ha az akkumulátor töltöttségi szintje egy megadott érték alá csökken, ezt a kooperációt meg kell szüntetni. A Mikrogrid szabályzója figyelmeztető jelzést küld az ANM-nek, amikor a töltöttségi szint megközelíti ezt a megadott határértéket. Az ANM méri a fogyasztói teljesítményeket és így ki tudja számolni, hogyan csökkentse le a Mikrogrid külső fogyasztását. Mivel a Falu fogyasztása tovább már nem csökkenthető, az ANM kikapcsolja a 'D' jelű oszlopkapcsolót.

Példánkban a Farmok fogyasztása sokkal kisebb, mint a Mikrogrid termelése, ezért ezeket tartósan el lehet látni, miközben még a Mikrogrid akkumulátora is tölthető.

Amikor a nap lemegy és a szél is elcsendesedik, a Mikrogrid energiatermelése is lecsökken és a fogyasztói igényeket az akkumulátorral kell kiszolgálni. A 'kooperációs' határérték elérésekor a Mikrogrid leválik a közcélú hálózatról, így a Farmok ellátatlanul maradnak. A Mikrogrid a továbbiakban szigetként üzemel. Kedvező körülmények között a Mikrogrid képes ellátni magát a teljes kiesés idejére.

### A 2. eset értékelése

Az 5. ábra azt az esetet mutatja, amikor a kiesés csak 4 óra hosszat tart (9-13 óra között). Szerencsére az akkumulátor a kiesés kezdetekor majdnem teljesen fel van töltve. A betápláló transzformátor és az inverter átviteli teljesítménye elegendő a külső fogyasztók táplálására.

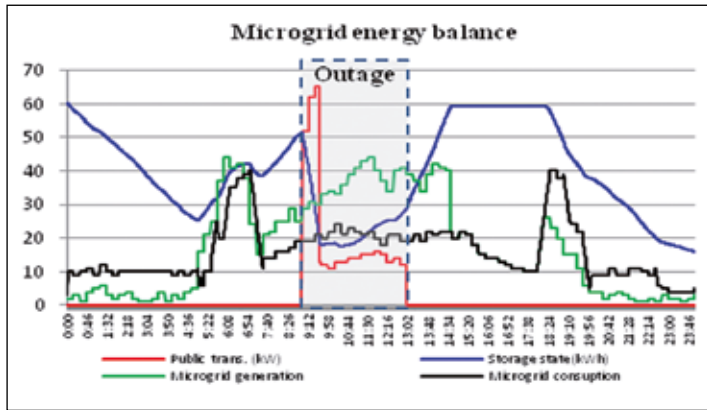
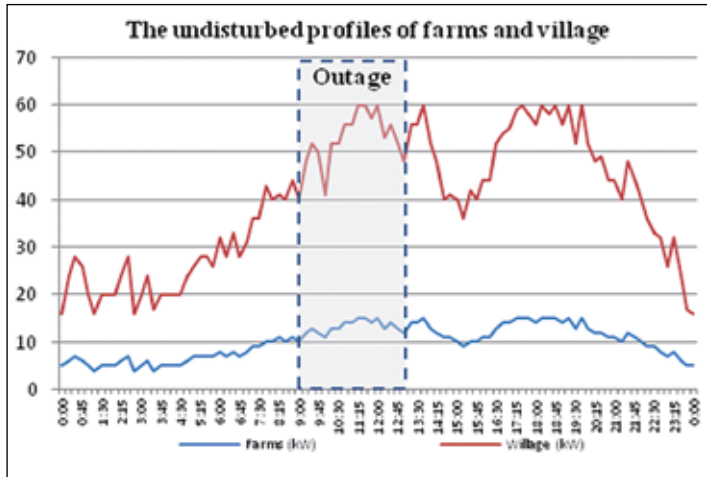
Ámde a Falu fogyasztása viszonylag nagy a Mikrogrid akkumulátorkapacitásához viszonyítva, így annak töltöttsége rohamosan csökken. Ezt az üzemmódot csak mintegy 40 percig lehet fenntartani. Amikor az akkumulátor töltése a kritikus szint alá csökken, az ANM szabályzó lekapcsolja a Falut. Ezt követően a megújuló energia termelők képesek ellátni a Tanyákat, a Mikrogrid saját fogyasztóit, és lassan még az akkumulátort is feltöltik.

Ez a helyzet még javítható, ha a kiesés alatt a biogáz motor-generátor egységet is bekapcsolják. Ily módon az akkumulátor töltöttségi szintje végig a 'kooperációs' szint fölé tartható.

A szimuláció tapasztalatai azt mutatják, hogy az akkumulátor kritikus töltöttségi szintje környékén a Falu nem látható el folyamatosan még viszonylag nagy töltési-kisütési hiszterézis esetén sem, és az ANM ki-be fogja kapcsolgatni a Falut, ami komolyabb zavart okozhat a fogyasztóknál, mint a folyamatos áramszünet.

### További vizsgálatok: Nagyfeszültségű távvezetékek és nagy/köf alállomások kiesése

A továbbiakban egy kiterjedt főelosztó hálózati üzemzavar hatásait vizsgáltuk meg a 6. ábrán vázolt esetre.



5. ábra

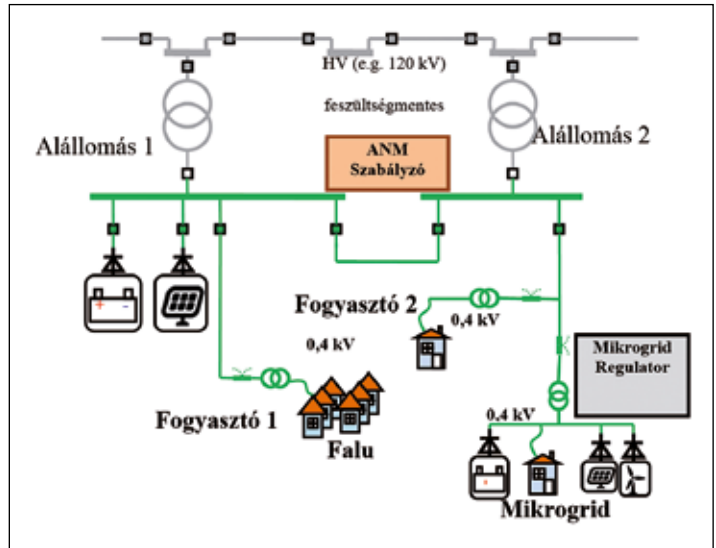
**Esetleírás**

A 120 kV-os kiesés érinti az 1 és 2 Alállomásokat is, így az ezen alállomásokból induló elosztó hálózati vezetékek betáplálása is megszűnik. Az Alállomás 1 középfeszültségű gyűjtősínjéhez egy nagy kapacitású akkumulátor telep és egy jelentősebb teljesítményű kis erőmű is csatlakozik. Ezek kapacitása még az Alállomás 2-ből táplált fogyasztók ellátására is elegendő (Fogyasztó 2). Azonban ezt a fogyasztót egy hosszú középfeszültségű vezetéken tudják csak ellátni, amelyen jelentős feszültség esik, így a Fogyasztó 2 csatlakozási pontján a feszültség túl alacsony lenne. A Fogyasztó 2 vezetékének végéhez kapcsolódó Mikrogrid azonban meddő teljesítményt betáplálva képes ezen alacsony feszültség megemelésére. Ily módon a Fogyasztó 2-t mindaddig megfelelő minőségű villamos energiával lehet ellátni, amíg a Mikrogrid képes elegendő meddő teljesítményt szolgáltatni.

**A SZIGETÜZEM SPECIALITÁSAI**

Néhány szigetüzemmel kapcsolatos szempont túlmutat a szimuláció konkrét eredményein. Ezekről ejtünk szót ebben a fejezetben.

Szigetüzemben a teljesítményáramlási kép, az áramlási irányok, a betáplálások, a zárlati áramok teljesen megváltoznak, és erre a helyzetre a védelmeket, automatikákat, irányítás-technikát és a távközlést is fel kell készíteni. A kiefeszültségű hálózat átviteli kapacitását, az irányokat és az időzítéseket szintén hozzá kell igazítani az új helyzethez, sőt esetenként fel kell ismerni a szigetüzemi szituációt is a védelmek megfelelő koordinációjához, ami a jövőben az ANM egyik valósidejű funkciója lehet. A szigeten belül fellépő zárlatok szelektív háritása érdekében előfordulhat, hogy új védelmeket kell



6. ábra

beépíteni (pl. a mikrogridnek betáplálásainál), vagy át kell alakítani a meglévő védelmi zónákat.

Egy másik fontos szempont a rendszer stabilitása. Szigetüzemben ez drasztikusan lecsökken a kis darabszámú fogyasztó és termelő egység miatt. Ezen túlmenően növeli a stabilitási problémákat, hogy a fogyasztók jelentős részének teljesítménye nem, vagy csak kis mértékben függ a frekvencia változásától. Ebből eredően a teljesítményegyensúlyt vagy a termelők, a fogyasztók és a szabályozó közötti közvetlen kommunikációval, vagy pedig a villamos készülékek frekvenciától, ill. feszültségtől függő karakterisztikájának (egyfajta primer szabályozás) kialakításával, vagy esetleg ezen két módszer ötvözésével lehet megőrizni.

A szabályozás különböző szintjeit össze kell kötni egymással. Pl. a mikrogridnek szabályozása függ az ANM-től kapott külső jelzésektől, de ugyanakkor az ANM működését is befolyásolja a mikrogridnek aktuális állapota (pl. az akkumulátor töltöttségi szintje). Ez az együttműködés számos paramétert érint, és feltétlenül valósidejűnek kell lennie. Emellett az ANM-nek a mikrogriden kívüli fogyasztást, termelést és tároló kapacitást is figyelembe kell vennie és szabályoznia is kell azokat. Az ANM feladata a lehetőségek folyamatos értékelése és ezek alapján életképes szigetek kialakítása fogyasztói korlátozásokkal, a hálózatrészek szétválasztásával és a korlátok folyamatos figyelésével. Ebben nagy támogatást nyújthat a lehetséges üzemállapotokat előrejelző funkció.

A fenti követelményeknek megfelelően létrehozott rendszer további előnye a nagyobb rugalmasság és a jobb szabályozhatóság. A nagyobb rugalmasságot a normál üzemben is jól ki lehet aknázni. Pl. fel lehet ajánlani teljesítményegyensúly szabályozási kapacitást, feszültség szabályozási vagy üzem-helyreállítás támogatási szolgáltatásokat a rendszerirányító számára.

Alaposan át kell gondolni a munkabiztonsági szempontokat is, hiszen szigetüzemben már nem csak a nagy/középfeszültségű transzformátorok táplálhatnak be a köf hálózatba. A balesetek megelőzése érdekében a személyzetet a lehető legjobban fel kell készíteni a feszültség alatti karbantartásra. A munkaterületet minden lehetséges betáplálástól le kell választani (ld. a 4. ábrán az A, B és C jelű oszlopkapcsolókat), és nem elég csak a megszokott „fő” betáplálási irányokat (csak az A és B jelűeket) kikapcsolni.

Másrészt az alkalmazott mutatókat is újra kell értékelni. Pl. a SAIDI és a SAIFI mutatók számítási módját a kiesés ideje

alatt részben ellátott fogyasztók esetében, a vészhelyzeti szigetüzemi ellátás előírt minőségi mutatóit vagy a szigetüzem hatását a hálózati veszteség számítására. Az esettanulmányok alapján a műszaki feltételek és szempontok jól vizsgálhatók, de a valós hálózaton az üzemviteli szabályozás megfelelő fejlesztése nélkül a szimulációban vázolt lehetőségek nem aknázhatók ki.

A hibaokok megszűnése után az üzemirányító rendszer elemeinek (ANM, DMS, mikrogrid szabályozók) összehangolt működésével kell a szigeteket a normál üzemre visszaállítani.

## ÖSSZEGRZÉS

A bemutatott szimulációs környezet a későbbiekben alkalmas lesz az elosztóhálózatok megváltozott üzemirányítási elveinek részletes tanulmányozására, és az új üzemirányítási rend kialakításának támogatására.

Az esettanulmányokból jól látszik, hogy az üzemzavarok közben létrehozott és elosztott energiatermelőkkel támogatott szigetüzemi működés koncepciója ígéretes, bár számos előfeltétele van. Az ANM-nek a hálózatrészek szétválasztásával és fogyasztói korlátozással létre kell tudni hoznia életképes szigeteket. A védelmi rendszert úgy kell átalakítani, hogy a szigetüzem közben fellépő belső zárlatokat is megfelelően tisztázza, még ha eközben az áramlási irányok teljesen meg is fordulnak. E mellett nagyobb kiterjedésű szigetekben az ANM-nek megfelelő meddő szabályozással az alacsony feszültségű hálózatrészek ellátásáról is gondoskodnia kell. A műszaki szempontokon túl újra kell gondolni az üzemviteli szabályokat, a minőségi és rendelkezésre állási mutatókat (SAIDI, SAIFI) is.

## IRODALOMJEGYZÉK:

- [1] **R. Gaál, A. Kovács**, 2015, "Training simulation models and architectures in power system operation and control", DEMSEE'15 10th International Conference on Deregulated Electricity Market Issues in South Eastern Europe Conference Proceedings, 24-25 September 2015, Budapest, Hungary
- [2] **R. Gaál, A. Kovács**, 2018, "Full-scope simulation of grid-connected microgrids", CIGRÉ Session 2018 Conference Proceedings, Paris, France
- [3] **J. Csatár, G. Dobos, R. Gaál**, 2017, "Tréningsszimulátorok hálózatszámítási módszerei", Elektrotechnika, Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 2017 október, 16-20 old.
- [4] **K. Vínóth Kumar, M.P. Selvan**, 2008, "A Simplified Approach for Load Flow Analysis of Radial Distribution Network", International Journal of Computer and Information Engineering
- [5] **R. Gaál, A. Kovács, J. Csatár**, 2019, "Simulation of islanding in distribution networks", CIRED 25th Conference on Electricity Distribution, Madrid, Spain, France



**Gaál Róbert**

Product Manager  
Astron Informatikai Kft.  
gaal@astron.hu



**dr. Kovács Attila**

ügyvezető igazgató  
c. egyetemi docens, BMGE  
kovacs@astron.hu

**SIEMENS**  
Ingenuity for life

**Legyen Ön az első, aki a biztonságot választja!**

Az ívhiba érzékelő eszközök (AFDD-k) megbízhatóan védik az emberi életet és az épületeket egyaránt az elektromos meghibásodás okozta tüzesetektől.

Az IEC 60364-4-42 szabvány kiadásával az ívhiba érzékelők telepítése egész Európában erősen ajánlottá vált. Az 5SV6 ívhiba érzékelő az első az IEC piacon (2012) a megelőző tűzvédelem szolgálatában. Az innovatív SIARC észlelési technológiának köszönhetően ez az egyetlen olyan védelmi eszköz, amely párhuzamos és soros ívhibákat egyaránt észlel.

Az ívhiba érzékelők a teljes védelmi koncepció részeként fedetik az eddig észlelt biztonsági rést.

Átfogó portfólió a megelőző tűzvédelem számára

Jobb a biztonságot választani!

siemens.com/afdd