

A mikro-CHP rendszerek képesek stratégiai szerepet betölteni szigetüzemi vészhelyzeti esetekben. Kutatásunk során feltártuk a lehetséges működési módokat, ezen módok közötti átmeneteket, valamint az átmenetek közben létrejövő villamossterhelés- és nyomatékváltozásokat. Meghatároztuk a rendszerkövetelményeket, hogy az képes legyen „black start” indításra. Végül felépítettük a modellt MATLAB Simulink rendszerben, melynek segítségével olyan szabályozást szeretnénk kialakítani, amely vezérli a mechanikai energiaforrást (Otto-motor), kompenzálja a működés során fellépő meddőenergia-igényeket (meddőkompenzálás), valamint vezérli a védelmi berendezéseket és a terheléseket.

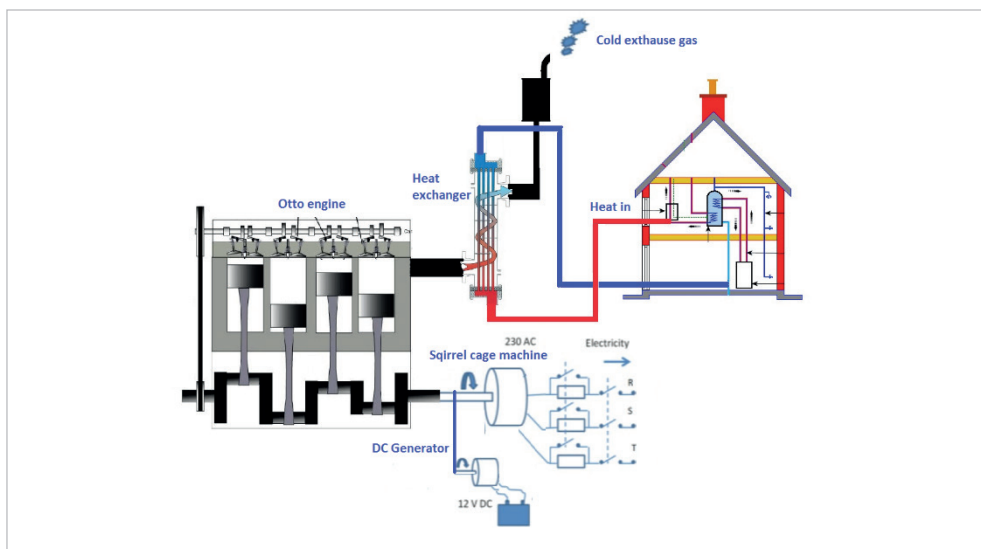
Kulcsszavak: mikro-CHP, szigetüzem, smart grid, microgrid, szigetüzemű szabályzás, Simulink szimuláció

Bevezetés

Napjainkban a megújuló energiát termelő egységek széles körben elterjedtek, és ezzel egyidejűleg megkezdődött az energiatermelő rendszerek decentralizálódása. Ezek a háztartási méretű kiserőművek főleg a nap és a szél energiáját használják villamos energia termelésére, ám többségük nem rendelkezik a rendszerirányítás szempontjából releváns vezérlőegységekkel. A megfelelő vezérlés hiányában ezek a berendezések komoly veszélyt jelenthetnek a villamosenergia-rendszerre és az ellátásbiztonságra. Mind a szél-, mind a napenergiát hasznosító erőművek kimeneti teljesítménye képes előre nem meghatározható módon drasztikusan változni, akár percekben belül is. Ezek az előre nem meghatározható változások jellemzően egy-egy körzeten belül fejtik ki negatív hatásukat (például lokális szélcsend, felhőátvonulás), így ezek a hatások teljesen lefedhetnek egy transzformátorkörzetet. A fenti tényezők együttállása esetén ezek a háztartási méretű kiserőművek komoly veszélyt jelenthetnek az ellátásbiztonságra. Kutatásunk fókusza a mikro-CHP rendszerek alkalmazhatósága áramkimaradás esetén.

A mikro-CHP rendszerek

A mikro-CHP rendszerek alapvetően háztartási méretűre miniaturizált kogenerációs erőművek, melyek lényege, hogy a hő- és villamos energiát is előállítunk a fűtőanyag elégetésakor. Jellemzően 1–10 kW-os villamos és 20–50 kW-os hőteljesítménnyel rendelkeznek, melynek előállítója tipikusan egy kis gáz- vagy Otto-motor. A hőteljesítmény kivétele hőcserélőkön keresztül valósul meg (motorhűtés és kipufogógáz), a villamos energia előállítása pedig a motor által előállított mechanikai energia felhasználásával egy generátoron keresztül történik. A keletkező mechanikai energiát a villamos energia előállításán kívül használhatjuk légkondicionálásra vagy ventilálásra is.



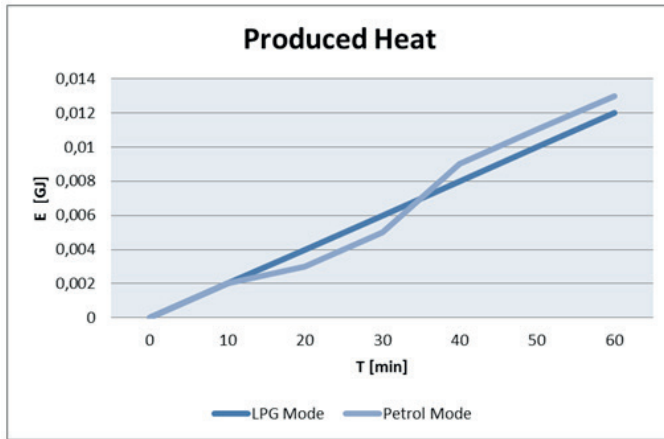
1. ábra: A mikro-CHP rendszer felépítése

A rendszer üzemanyaga lehet benzin, gázolaj, vezetékes földgáz, PB-gáz, LPG vagy akár hidrogén is (tűzelőanyag-cella).

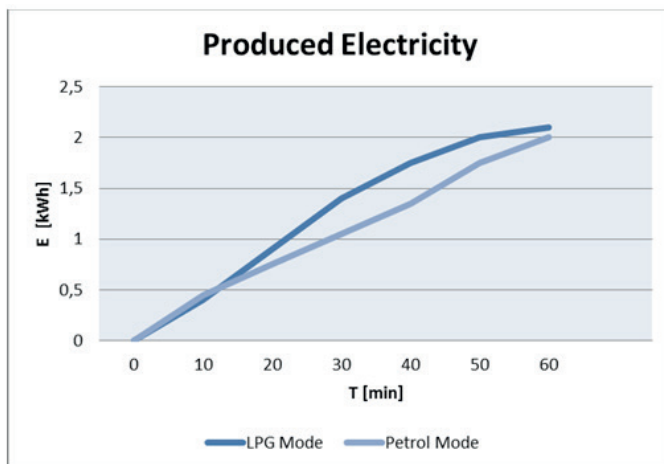
Hő- és villamosenergia-termelő képesség

A tesztrendszerünkön mind hő-, mind villamosenergia-termelő képességi méréseket végeztünk. A 2. ábrán látható, hogy az egyórás vizsgálati időszak alatt hogyan alakult a hő, a 3. ábrán pedig a villamos energia termelése. A méréseket mind benzin üzemmódban, mind pedig LPG üzemmódban elvégeztük. Szignifikáns különbséget a két üzemanyag használatakor nem tapasztaltunk. A mérés idején a tesztrendszer még nem rendelkezett

a kipufogógázt hasznosító hőcserélővel, így a mérési eredmények a tényleges hőtermelő képesség 30–40%-át mutatják. Méréseink igazolták, hogy a rendszer képes fedezni egy átlagos magyarországi háztartás teljes hőigényét (6–12 kW), azonban a termelt villamos energia mennyisége nem elegendő a teljes fogyasztás kielégítésére. A megtermelt 3–7 kW villamos energia elegendő viszont egy olyan vészhelyzeti degradált üzemállapot fenntartására, amely teljes mértékben fedezi a vészhelyzeti állapot villamosenergia-igényét. Ez a vészhelyzeti állapot a háztartás szempontjából kritikus fogyasztókat jelenti, mint például: melegvíz-keringető szivattyú, hűtőszekrény, világítás és néhány kommunikációs vonal (tévé, rádió).



2. ábra: A tesztrendszer által termelt hőmennyiség [2]



3. ábra: A tesztrendszer által termelt villamos energia [2]

Egy globális áramszünet hatásai

Áramkimaradások

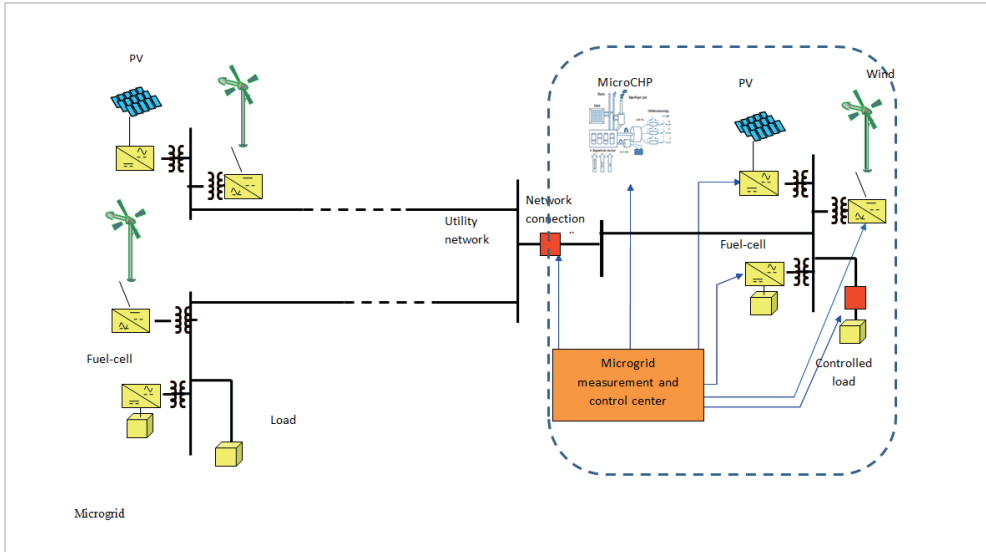
Egy globális, több napig tartó áramkimaradás súlyos hatással van az élet összes területére. A kritikus infrastruktúrák egy jelentős része rendelkezik hosszabb ideig, 2-3 napra elegendő másodlagos energiaforrással (például kórház, bányák), de legtöbbjük csak pár órányi üzemelésre elegendő tartalék energiával rendelkezik. Pár órával az áramszünet bekövetkezte után a telekommunikációs bázisállomások kikapcsolnak (ezt az időt tovább rövidíti az áramszünet okozta telekommunikációs terhelés növekedése), az üzemanyagotöltő állomásokon nem tudunk tankolni, leáll a tömegközlekedés egy része (vonat, metró, villamos, trolí), leáll a közlekedés irányítása (közlekedési jelzőlámpák), az üzletekben nem tudunk vásárolni, valamint lassan a közüzemi víz- és gázhálózatokban is csökkenni kezd a nyomás (mivel ezekben a rendszerekben villanymotorokkal tartják fent az üzemi nyomást). Ebben a helyzetben szinte az összes háztartás képtelen fedezni a hő- (nincs gáz, amit elégethetne, nincs villany, ami cirkuláltatná a meleg vizet a radiátorokban), a villamos-, valamint a melegvíz-igényt. A helyzetet tovább súlyosbíthatja, hogy a villamosenergia-hálózat télen kapja a legnagyobb fizikai és teljesítményterhelést (a nyári csúcs során csak teljesítményterhelés lép fel). Az eddigi legnagyobb villamos üzemzavar több mint 620 millió ember életét érintette 2 napon keresztül. [3]

A mikro-CHP rendszer üzemállapotai

Célunk egy olcsó és folyamatos üzemre képes, hő- és villamosenergia-ellátó berendezés létrehozása. A mikro-CHP rendszerek alkalmasak az üzemanyag átalakítására hő-, valamint villamos energiává. Vészhelyzet esetén a létrejövő elszigetelt kis hálózat (microgrid) az alábbi üzemállapotokat veheti fel:

1. táblázat: Üzemállapotok

Szám	Mód	Hálózati kapcsoló	Saját termelés
1	hálózati üzem	be	nincs
2	virtuális szigetüzem	be	van
3	áramkimaradás	be/ki	nincs
4	microgrid	ki	van



4. ábra: A microgrid koncepciója

2. táblázat: Átmenetek az üzemmódok között

Szám	Üzemmódváltás	Jelenlegi üzemmód	Jövőbeli üzemmód
1	Saját termelés indítása	1	2
2	Helyi üzemzavar	2	3
3	Globális üzemzavar	1	3
4	Helyi/globális black start	3	1
5	Szinkronizáció	4	2

Az üzemmódok szabályásai

A teljes vagy a szigetüzemű hálózat üzemeltetése során az alábbi szabályozási feladatokat kell megoldani:

- ♦ elektromos hibák elleni védelmek (pl. zárlat, túlterhelés),
- ♦ terhelés- és frekvenciaszabályozás,
- ♦ feszültség- és meddőszabályozás,
- ♦ főkapcsoló-vezérlés,
- ♦ energia- és üzemanyag-menedzsment, -optimalizáció.

Az üzemmódváltások alkalmával a mikro-CHP vezérlésünknek az alábbi feladatokat kell ellátnia:

- figyelni a terheléseket, az energiaáramlásokat és a frekvenciát,
- modellezni a hálózatot/hálózatokat,
- döntést hozni az üzemmód-változtatásokról,
- kezelni a tranzienseket.

Az összes üzemmódváltás előre meghatározott szekvencia szerint történik.

3. táblázat: Üzemmodváltási szekvenciák

Szám	Üzemmodváltás
1	Saját termelés indítása
	<ul style="list-style-type: none"> • mikro-CHP indítása zéró terheléssel • hálózati szinkronizáció
2	Helyi üzemzavar
	<ul style="list-style-type: none"> • váltás microgrid üzemmódra • termelés/terhelés szabályozása
3	Globális üzemzavar
	<ul style="list-style-type: none"> • lokális/globális termelés • külső ellátás megszűnése • helyi termelés túlterhelése a lokális/globális hálózat által • termelés leállítás
4	Helyi black start
	<ul style="list-style-type: none"> • mikro-CHP indítása zéró terheléssel • helyi terhelés felépítése lépésenként, frekvenciaszabályozással
5	Globális black start
	TSO utasítások alapján
6	Szinkronizáció
	<ul style="list-style-type: none"> • frekvencia beállítása energia-egyensúly alapján • feszültség abszolút értékének ellenőrzése • fázisszög ellenőrzése

A mikro-CHP black startja

Üzemanyag-ellátási módok

Vezetékes földgáz üzemmódnál az üzemanyagváltás csak abban az esetben szükséges, amennyiben a villamos hálózati üzemzavar hosszabb ideig tart. A közüzemi gázvezetékekben a nyomás csak az áramszünetet követő 1-2 órán belül kezd csökkenni, ami a rendszer leállításához vezet. Tekintettel arra, hogy az üzemzavar elhárításának időpontjáról az esetek többségében nincs információnk, a villamos üzemzavar bekövezte után 1-2 óráig vételezhetünk még a közüzemi gázhálózatról működési problémák nélkül. Az átlagos áramkimaradás hosszának indexe (SAIDI, System Average Interruption Duration Index) átlagban 1,5 óra [4], így az üzemanyagforrás változtatása nélkül jó eséllyel sikerül üzemeltetni a mikro-CHP rendszerünket a rendszerhiba elhárításáig. Hosszabb üzemszünet esetén azonban szükséges átállnunk palackozott PB-gázos üzemmódra. A palackozott PB-gáz összetétele hasonló a vezetékes földgázéhoz, azonban a két üzemmód közötti váltásnál be kell tartanunk az összes MSZ szerinti biztonsági előírást.

Amennyiben a mikro-CHP rendszerünk alkalmas benzin/LPG üzemanyagok befogadására, úgy a hidegindítást minden esetben benzin üzemmódban kell kezdenünk. Ha a rendszerünk elérte a 60 °C hőfokot, úgy átválthatunk LPG üzemmódra. Ez a hőmérséklet szükséges az LPG-rendszer reduktorának felmelegítésére, hogy a cseppfolyós gáz a nyomáscsökkenés okozta lehűlés következtében ne fagyjon meg.

Black start

Hálózati kimaradás esetén két eset lehetséges. Ha a rendszerünk nem működött a kimaradás pillanatában, úgy leválasztjuk a hálózatról. Amennyiben a rendszerünk üzemelt a meghibásodás alatt, úgy nagy valószínűséggel a transzformátorkörzetünk túlterhelte a rendszert, és az már leállt (ebben az esetben is szükséges a leválasztás). A mikro-CHP rendszerünk típusától függően többféle módszer is létezik a black startra, azonban az indítás előtt mindenképpen le kell választanunk a rendszerről a külső hálózatot és az összes belső terhelést, valamint fel kell állítani a degradált üzemállapotot, melyet a villamosenergia-termelő egység teljesítményének megfelelően alakítottunk ki. Esetünkben az Otto-motorba épített önindító és a hozzá tartozó, DC 12V-os akkumulátor volt a rendszerindító. A rendszer indítása után be kell kapcsolni a szigetüzemű kontrollert vagy manuálisan kell beállítani a rendszer szükséges paramétereit (feszültség, frekvencia, meddőszabályozás). Amennyiben nem rendelkezünk szabályozó automatikával, úgy minden egyes terhelésváltozásnál felül kell vizsgálni a hálózati paramétereiket, és – ha szükséges – közbe kell avatkozni. Mivel ebben az üzemmódban nem csatlakozunk a hálózathoz,

így célszerű valamilyen jelzőberendezés telepítése, amely a hálózati hiba megszűnését jelzi, hogy a visszakapcsolást el lehessen végezni.

Terhelésszabályozás

A szigetüzemű működés során csupán egy degradált üzemállapot kiszolgálására van lehetőségünk, mivel a mikro-CHP rendszerünk villamosenergia-termelő képessége korlátozott. A generátorunk teljesítményének megfelelően tehát ki kell választanunk azokat a berendezéseket, amelyet üzemeltetni szeretnénk hálózati kimaradás esetén is. Általában a megtermelt energiamennyiség elegendő az összes vészhelyzeti és alapszintű berendezés működtetéséhez, úgymint vészvilágítás, fűtésrendszerek vízpumpái, légkondicionáló, hűtőszekrény, kommunikációs berendezések és töltők, világítás stb. Mivel ezek a terhelések nem konstans módon terhelik a szigetüzemű hálózatunkat, ezért szigetüzemű controller berendezést kell alkalmaznunk, amely szabványos értékek között tartja a frekvencia- és feszültségértékeket, valamint megoldja a meddő energia kompenzálását. Szabályozás nélkül nem lehetséges fenntartani az energia egyensúlyát, ami a fogyasztó berendezések hibás működéséhez, rosszabb esetben meghibásodásához, de akár tűz keletkezéséhez is vezethet. A nagy frekvencia- és feszültségingadozás elkerülése érdekében a rendszerünket ajánlatos úgy tervezni, hogy egyszerre csak maximum 0,5 kW terhelésváltozás következessen be.

A gázüzemanyag összetétele

A földgázt általában bányásszák, a levegőnél könnyebb, légköri nyomáson gáz halmazállapotú. Közel tiszta égést lehet vele elérni (ideális égetési körülmények között). Tipikus összetevői: metán (CH_4) 97%, etán (C_2H_6) 0,919%, propán (C_3H_8) 0,363%, bután (C_4H_{10}) 0,162%, CO_2 0,527%, O_2 0-0,08%, N_2 0,936%. [5] Az égéstermékek között nincs korom vagy hamu, csak minimális CO és SO_2 .

A propán-bután gáz (PB-gáz) a kőolaj- és földgáz-kitermelés mellékterméke, maximálisan 40% propán- (C_3H_8) és maximum 60% butángáz (C_4H_{10}) tartalommal. Mivel ez a gáz könnyen cseppfolyósítható, így a telepített gázhálózatoktól távol is felhasználható palackozott formában. A PB-gáz a levegőnél nehezebb szagtalan gáz, így a cseppfolyósító eljárás során szagosító anyagot is kevernek a palackba, melynek segítségével már 1:250-es gázkoncentráció esetén is érezzük a szivárgást.

Sziget üzemű szabályozások

Feszültség szabályozás

Amennyiben a nagy villamos hálózat szabályozó hatása nem áll rendelkezésre, a szabályzást saját eszközökkel kell megoldanunk. Túlterhelés esetén feszültségcsökkenés lép fel, ami a fogyasztók hibás működéséhez vezethet, amennyiben viszont túltermelés lép fel, úgy a megnövekedett feszültség a berendezések meghibásodását, végső esetben tüzet is okozhat. Az európai szabvány hálózati feszültség kisfeszültségű hálózatok esetén 230 V +10 és -6%-os toleranciával. Ez meghatározza a szabályzónk működési tartományát is, amelynek 216,2 V és 253 V között kell tartania a szigetüzemű hálózatunk feszültségét. Ez a közel 40 V-os sáv igen nagy tűnhet, azonban ha egy nagyobb hálózati fogyasztó (1-1,5 kW) kapcsol ki/be, úgy az komoly változásokat képes okozni az összes hálózati paraméter esetében.

A meddő energia kompenzálása

A meddő energia kompenzálásának kérdését is meg kell oldani mind sziget, mind hálózati üzemmód esetén. Tesztjeink során kompenzálás nélkül hálózati üzem esetében a rendszerünk meddőenergia-igénye magas volt, mely energiát a hálózathoz vételeztük. Sziget üzemmódban azonban nem volt meddő energiaforrásunk, amely kielégítette volna az aszinkron gép igényeit, így a generátorban a mágneses tér összeomlott, és alkalmatlaná vált az energiatermelésre. A probléma megoldására összesen $3 \times 200 \mu\text{F}$ értékű kapacitástelepet építettünk be, amely több lépcsőben képes akár 10 kVAr meddő teljesítmény előállítására háromfázisú, 50 Hz-es hálózaton.

Mikro-CHP a microgridben

Microgrid, sziget üzemmód

Sziget üzemmód esetén külön kell választanunk az egytermelő és a többtermelő eseteket. Mindkét esetben szükséges megoldanunk a szabályozásokat, azonban míg az egytermelő rendszer esetében elegendő egy helyi szabályozó, úgy a többtermelő rendszer esetében szinkronizált szabályozó rendszer implementálása szükséges. Minél nagyobb szerepet játszanak a helyi generátorok az energiaigények kielégítésében, annál kritikusabb az egyes vezérlők működésének pontossága.

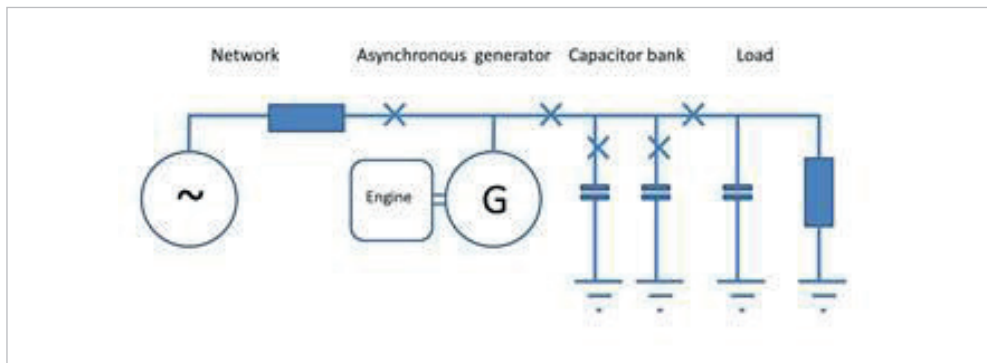
Az egytermelős szabályozó feladatai:

- stabilitás,
- terhelésváltozások szabályozása,
- start/stop/túlfutás stb.

Az egytermelős microgrid dinamikus modellje

Bemeneti adatok:

- sziget üzemi teljesítmény, 50 kW,
- a gép forgó tömegének pillanatnyi tehetetlensége (kgm²),
- frekvencia, fordulatszám.



5. ábra: A szimulált hálózat

A szimulációt a MATLAB Simulink szoftverének segítségével végeztük el. Első lépésben a különböző üzemmódváltásokat ellenőriztük, amihez valós mért adatok is rendelkezésre álltak:

- sziget üzemi átállás,
- hirtelen nyomatékváltozás sziget üzemben,
- hirtelen terhelésváltozás sziget üzemben.

A szimuláció kezdeti adatai:

$$P_{\text{nominal}} = M_n \times \omega_n$$

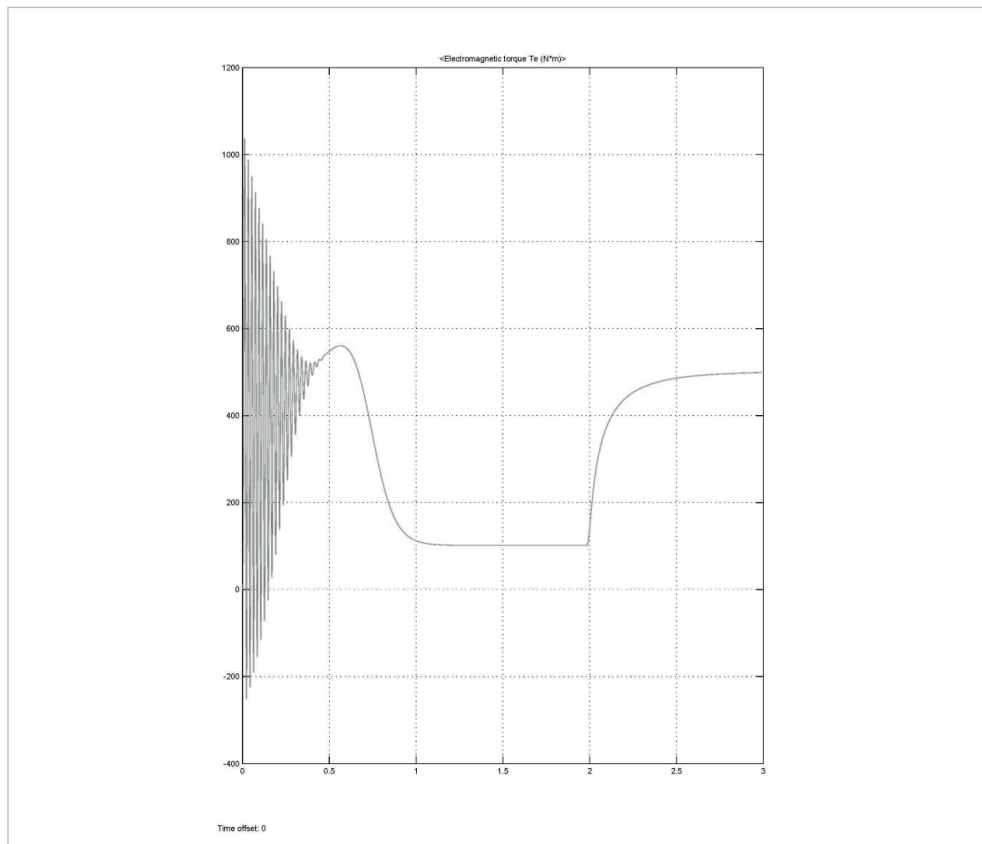
$$P_{\text{nominal}} = 5000 \text{ [W]}$$

$$M_{\text{nominal}} = 31,8 \text{ [Nm]}$$

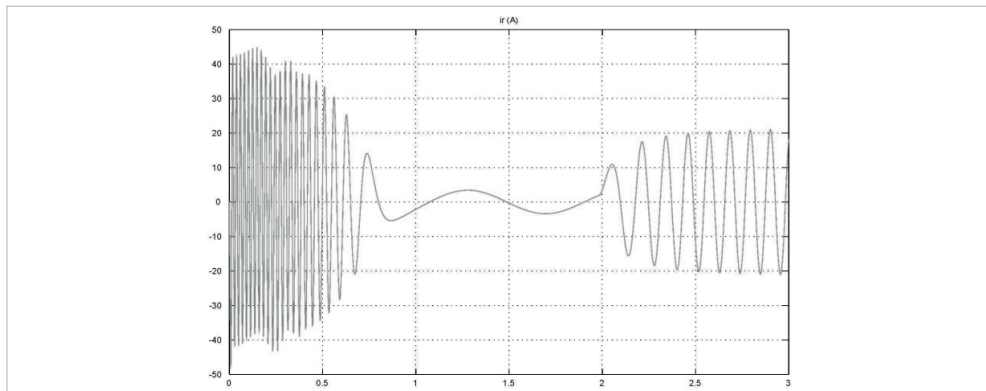
$$n = 1500 \text{ [1/min]}$$

$$\omega_{\text{nominal}} = 2\pi \times n/60 = 157$$

$$P_{\text{nominal}} = I_{\text{phase}} \times 3^{-1} \times U_{\text{phase nominal}}$$
$$P_{\text{nominal}} = 5000 \text{ [W]}$$
$$I_{\text{phase}} = 12,71 \text{ [A]}$$
$$U_{\text{phase nominal}} = 230 \text{ [V]}$$



6. ábra: Nyomaték az indítás és a terhelésváltozás után



7. ábra: Áram a nyomatékváltozás közben

Az mCHP rendszerek következő generációja

A japán Panasonic cég egy új fejlesztését, a protoncsere-membrános tüzelőanyag-cellát (proton exchange membrane fuel cell) alkalmazza az új, Viessmann céggel közösen létrehozott mCHP rendszerében. Bár a technológiát eredetileg közlekedési eszközökbe tervezték, most rájöttek, hogy az alacsonyabb működési hőmérsékleti és nyomásértékek miatt (20–100 C°) a technológia kitűnően használható mCHP rendszerekben is. További nagy előnye, hogy sokkal jobb öregedési mutatókkal rendelkezik, mint a „hagyományos”, alkáli tüzelőanyag-cellás rendszerek. [11]

Az ene.field csoport elkötelezett alkalmazója a legújabb fejlesztéseken alapuló energetikai megoldásoknak, és célként tűzte ki, hogy 2019-ig 1000 db tüzelőanyag-cellás mCHP berendezést telepít háztartásokhoz. A pilot projektben elsősorban kis fűtőteljesítményű (0,5–5 kW) eszközöket építenek be. [12]

Konklúzió

A mikro-CHP berendezések központi szerepet láthatnának el vészhelyzeti hő- és villamosenergia-termelés szükségessége esetén. Tárgyaltuk a rendszer összes lehetséges üzemállapotát, valamint megvizsgáltuk a lehetséges terhelés-, nyomaték- és villamosparaméter-változásokat mind hálózati, mind sziget üzemben. Végül megépítettük a rendszer modelljét MATLAB Simulink segítségével. A továbbiakban szándékozunk szimulációs környezetben létrehozni egy olyan vezérlőegységet, amely képes mind a mechanikai (motor), mind a villamos, mind pedig a kapcsolók paramétereit kontrollálni, és szükség esetén beavatkozni.

Irodalomjegyzék

- [1] www.energysolutionscenter.org/gas_solutions/micro_chp_mchp.aspxmicro grid
- [2] Péter Kádár – Márk Karacsi: *Stand-alone island mode operation of microCHP device*. IEEE 5th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources, EXPRES 2013, Subotica, Serbia March 2013, 22–23.
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_major_power_outages
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/SAIDI>
- [5] <http://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%B6ldg%C3%A1z>
- [6] Péter Kádár: *Low cost microCHP unit*. 9th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Subotica, Serbia, September 8–10, 2011.
- [7] Péter Kádár: *Performance measurements of car engine based MicroCHP test device*. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12), Santiago de Compostela (Spain), 28th to 30th March, 2012.
- [8] Péter Kádár – Márk Karacsi: *Stand alone island mode operation of microCHP device*. EXPRES 2013, 22. March, 2013 Subotica, Serbia.
- [9] Péter Kádár: *Making the power system intelligent*. ICREPQ'08 International Conference on Renewable Energy and Power Quality, Santander, Spain, March 12–14, 2008.
- [10] Tiberiu Tudorache – Cristian Roman: The Numerical Modeling of Transient Regimes of Diesel Generator Sets. *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 7, No. 2, 2010, 39–53.
- [11] <http://fuelcelltoday.com/news-archive/2013/september/panasonic-and-viessmann-to-launch-fuel-cell-system-in-germany-in-april-2014>
- [12] www.fch.europa.eu/project/european-wide-field-trials-residential-fuel-cell-micro-chp

Emergency Heat and Power Supply with mCHPdevice in Global Blackout

KÁDÁR PÉTER – KARACSI MÁRK

MicroCHP devices can have an important role in case of stand-alone emergency supply mode. We investigated the possible operational modes and the transitions between the network – island mode and also the load and driving torque change. We also defined the requirements for black start capability. Finally, we simulated the dynamic changes by MATLAB Simulink. By the simulation we are going to develop a control box that controls the mechanical power source (engine), the reactive power compensator, the breakers and the load too.

Keywords: microCHP, island mode, Smart Grid, Micro Grid, Island mode control, Simulink simulation