

3Smart projekt – Felhasználói rugalmasság

Élő labor az E.ON-nál

Az utóbbi években ugrásszerűen megnövekedett azon felhasználók száma a villamos hálózaton, amelyek az általuk megtermelt megújuló energiaforrásból származó villamos energiát a közcélú hálózatra táplálják. Az időjárásfüggő energiaforrásokból nyert, és a felhasználó saját belső hálózatán részben felhasznált villamos energia azonban különféle problémákat okozhat az elosztóhálózaton (pl.: túlterhelés, feszültségnövekedés, aszimmetria). A 3Smart projekt, prosumerek (producer+consumer, egyszerre termelő és fogyasztó ügyfelek) energiatermelésének és fogyasztásának rugalmassá tételével igyekszik olyan energiamenedzsment-rendszert kialakítani, amelyben a fent említett hálózati problémák elkerülhetők, valamint megvalósul a fogyasztói és termelői csúcs- és völgyidőszakok kiegyenlítése. A hálózati engedélyesek a prosumerek termelés- és felhasználás rugalmasságát - flexibilitását - árkedvezményekkel jutalmaznák.

In recent years, the number of renewable energy sources on the network has increased dramatically. However, they can cause various disturbances on the network (for example: voltage increase and asymmetry). In the 3Smart project, the representatives of the member countries are trying to develop an energy management system, which can solve the above-mentioned network disturbances and balance the consumer and generator peak and low demand periods. The use of the flexibility of the prosumers would be rewarded by the Distribution system operator (DSO) with various discounts.

Kulcsszavak: 3Smart, E.ON, Demand Side Management, Flexibilitás, Danube Transnational Program, Energy Management System, Model Predictive Control

1. 3Smart PROJEKT

2017. januárjában 13 ország együttműködésével elindult az Európai Unió egyik legnagyobb jelentőségű programja, a Danube Transnational Program (DTP). A kezdeményezés uniós forrásból kívánja erősíteni a résztvevő közép-európai nemzetek stratégiai együttműködését. A program céljai között szerepel az országok közötti kooperáció szorosabbá fűzése az infrastrukturális fejlesztések területén, amelyen belül az egyik kiemelkedő célkitűzés, hogy a résztvevők az

energiahatékonyság és energiabiztonság növelése érdekében közös erőfeszítéseket tegyenek.

Partner neve	Ország	Típusa
University of Zagrad Faculty of Electrical Engineering and Computing	Horvátország	Vezető partner
Hrvatska elektroprivreda d.d.	Horvátország	ERDF partner
E 3, ENERGETIKA, EKOLOGIJA, EKONOMIJA d.o.o.	Szlovénia	ERDF partner
Municipality Idrija	Szlovénia	ERDF partner
Elektro Primorska d.d.	Szlovénia	ERDF partner
European Centre for Renewable Energy Güssing Ltd.	Ausztria	ERDF partner
Municipality of Strem	Ausztria	ERDF partner
Energy Güssing Ltf.	Ausztria	ERDF partner
University of Debrecen	Magyarország	ERDF partner
E.ON Tisztántúli Áramhálózati Zrt.	Magyarország	ERDF partner
University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering	Szerbia	IPA partner
JP Elektroprivreda Hrvatske Zajednice Herceg Bosne	Bosznia-Hercegovina	IPA partner
University of Mostar Faculty of Mechanical Engineering and Computing	Bosznia-Hercegovina	IPA partner
Croatian Energy Regulatory Agency	Horvátország	Társult stratégiai partner
Jozef Stefan Institute	Szlovénia	Társult stratégiai partner
Goriska Local Energy Agency	Szlovénia	Társult stratégiai partner
Regulatory Commission for Energy in Federation of Bosnia and Herzegovina	Bosznia-Hercegovina	Társult stratégiai partner
Hungarian Energy and Public Utility Regulatory Authority	Magyarország	Társult stratégiai partner

1. Táblázat. 3Smart partnerek listája

A Zágrábi Egyetem munkatársai dolgozták ki azt a pályázatot, amely egy olyan egységes szabályozási és technológiai keretrendszer elkészítését vállalja a Duna menti országokban, amely alkalmassá teszi az épület oldali energiamenedzsment-rendszert (BEMS, building energy management system) az elosztóhálózattal való intelligens együttműködésre. A horvát vezető partner elképzelése szerint az egyes smart technológiákkal felszerelt villamosenergia-hálózatok és fogyasztók kommunikálnak egymással, valamint automatikusan adatokat osztanak meg, melynek célja a rendelkezésre

álló energia lehető legnagyobb hatékonysággal történő felhasználása.

A projektben egy olyan hálózat oldali energiamenedzsment-rendszer (Grid-side EMS) kerül kidolgozásra, amelyben load flow számítás segítségével előre vetíthetők a lehetséges terhelési görbék. Ennek célja, hogy a felhasználói rugalmasságok (flexibilitások) felhasználása ütemezhetővé, tervezhetővé váljon, és ez segítsen a kereskedelmi, és hálózati egyensúly beállításában. Hálózat oldalról ez azt is jelenti, hogy jobban kihasználhatók a hálózati kapacitások.

Abban az esetben, ha az időjárásfüggő megújuló energiaforrások termelése miatt a pillanatnyi villamosenergia-ár lecsökken, a rugalmas felhasználók bizonyos készülékek bekapcsolásával profitálhatnak az energiaár különbségből. Energiatöbbletre például reagálhat úgy egy épület, hogy klímaberendezései segítségével túlhűti a helyiségeket, olyan mértékben, hogy ez még komfortcsökkenést ne okozzon. Abban az esetben pedig, amikor a pillanatnyi villamosenergia-ár növekszik, az épület átütemezi, és az olcsóbb villamosenergia-ár időszakra tolja el a fogyasztást ott, ahol ez lehetséges.

Ez a folyamat a dinamikus árazás előkészítése, amely nemcsak az adott fogyasztó, hanem a hálózati engedélyes (Distribution system operator, DSO) számára is előnyös, mivel számos hálózati probléma elkerülhető az egyenletesebb terheléssel (pl. szabványtalan feszültség, termikus túlterhelés, hálózatvesztés növekedés).

A projekt a következő célokat tűzte ki:

- Olyan energiamenedzsment kialakítása az épületeken belül, illetve az épület és az elosztó hálózat között, amely az egész Duna Régióra kiterjeszhető. Ez olyan moduláris energiamenedzsment-rendszerrel érhető el, amely összeköti az épületelemeket és a közcélú hálózatot is.
- 5 Duna Régió országban egy-egy épületben kell pilotként megvalósítani a rendszert, amellyel igazolható a moduláris energia menedzsment platform hatékonysága. Az országok különböző szabályozási kereteit össze kell hangolni, valamint meg kell vizsgálni az elérhető előnyöket hálózat és épület oldalról is.
- Támogatni a kifejlesztett moduláris energiamenedzsment-platform alkalmazásának terjedését. A pilotok során a rendszereket a jelenlegi technikai és szabályozási környezetben kell telepíteni. A tapasztalatok alapján stratégiát kell kialakítani a Duna régió országokra vonatkozóan az azonosított technikai vagy szabályozási akadályok elhárítására.

A projekt Debrecen mellett Zágrábban (Horvátország), Idrijában (Szlovénia), Stremben (Ausztria) és Tomislavgradban (Bosznia-Hercegovina) épített ki

pilothelyszíneket, ahol a megépített rendszereken lehet tesztelni a fejlesztett algoritmus hatását.

A kitűzött célok eléréséhez egy komplex rendszert kell kiépíteni, ami tartalmaz villamosenergia-termelő egységet, épület- és hálózat oldali okos készülékeket, szenzorokat, és egy közös informatikai és kommunikációs platformot, amelynek segítségével ezek a berendezések szinkronizáltak, dinamikus rendszerben működhetnek.

Növelte a feladat nehézségét, hogy azonos elvek alapján működő rendszert kellett kialakítani minden résztvevő partnernél úgy, hogy a résztvevő országoknak különböző a villamosenergia-szabályozási és infrastrukturális rendszere.

Az épületben elhelyezett szenzorok, mérők, villamos energiatermelő egységek, meteorológiai állomás által nyújtott adatokat az épület oldali (Building-side) energiamenedzsment-rendszer BEMS (Building Energy Management System) dolgozza fel. A mért értékek és becslések (Prediction & Estimation) alapján az MPC (Model Predictive Control) vezérlési parancsokat ad, ami az épület villamosenergia-felhasználásában a gazdasági optimumot úgy alakítja ki, hogy közben az épületben dolgozók komfortérzete ne sérüljön.

A gazdasági optimum számolásához árinformációkra van szükség, amik egy másik modulon, a hálózat oldali (Grid-side) energiamenedzsment-rendszeren keresztül érkeznek.

A hálózati engedélyes szempontjából kulcsfontosságú a hálózat oldali energiamenedzsment, amely két modult tartalmaz: a hosszú távú modul hálózatszámítási eredmények alapján számolja, hogy milyen terhelés eltolásra van szüksége a hálózatnak nagyobb időtávban (pl. évszakok, évek), a rövidtávú modul pedig meghatározza a konkrétan eltolandó fogyasztás mértékét, időpontját és időtartamát az épület másnapi menetrendje, és az időjárás adatok, előrejelzések ismeretében. A rövidtávú modul segítségével valósítható meg a fogyasztó oldali befolyásolás (DSM= Demand Side Management), amire Magyarországon még nincs gyakorlati tapasztalat.

A piaci árinformációk, a hálózati engedélyes igényei (terhelésetolás, ennek ára), illetve az épület saját viselkedése közösen határozza meg azt az optimális működést, amit az épület- és hálózat oldali energiamenedzsment-modulok közösen alakítanak ki.

Az eltolható teljesítmények ki-, vagy bekapcsolásával hálózat oldalon elkerülhetők, illetve simíthatók a terhelési csúcsok, kontrollálható a feszültség viszony, csökkenthető a műszaki hálózatvesztés.

A rendszer további előnye, hogy meglévő rendszerekre, épületekbe telepíthető, nem kell berendezéseket cserélni hozzá.

2. FLEXIBILITÁS

2.1 A flexibilitás fogalma

A flexibilitást, azaz a rugalmasságot nehéz egyértelműen definiálni, számtalan különböző

megfogalmazása lehet, mivel minden rendszerszereplő a saját feladatával kapcsolatban írja le a flexibilitást. A villamos energetikában a flexibilitás biztosítja a termelés és fogyasztás egyensúlyát. Eddig a flexibilitást a termelők szolgáltatták, ebbe a körbe léphetnek be a felhasználók. Felhasználó szempontjából a flexibilitás azt jelenti, hogy eldöntheti mikor fogyaszt, illetve termel. A felhasználó viselkedését általában saját „menetrendje” határozza meg a felhasználói flexibilitás dinamikus árképzéssel erősíthető.

Decentralizált villamosenergia-termelés esetén elengedhetetlen a megfelelő flexibilitás megléte, hiszen a növekvő számú időjárásfüggő energiaforrás által szolgáltatott villamos energia hatékonyan csak így integrálható a hálózatba.

Flexibilitás szempontjából nem elhanyagolható a hálózat üzemeltetők szerepe sem, mivel ők biztosítják a megfelelő hálózati kapacitást a rugalmas villamosenergia-szállításhoz. Számukra ez a jövő villamosenergia-rendszerének egyik kihívása, hiszen a szolgáltatás színvonalának elvárt emelkedése mellett, a megváltozott feltételek mellett kell működtetniük és fejleszteniük a hálózati elemeket.

A flexibilitás tehát a villamosenergia-rendszer rugalmassága, az a képesség, amely meghatározza, hogy nagymértékű gyorsan bekövetkező teljesítményváltozásra hogyan reagálnak a villamosenergia-rendszer elemei. A flexibilitással rendelkező szereplők fontos tulajdonsága, hogy a rendszerterhelés változásait milyen meredekséggel, gradienssel képesek lekövetni saját villamosenergia-igényük/termelésük szabályozásával. [1]

2.1 A flexibilitás forrása

A flexibilitásnak számos forrása lehet, termelői oldalról ezt az elmúlt évtizedben jellemzően a jól szabályozható gázturbinás erőművek biztosították. Ezek az erőművek nagy meredekséggel szabályozhatók. A flexibilitásba bevonhatók a gyors reagálású konvencionális vagy modern szénerőművek is, az atomerőművek azonban egyáltalán nem tudnak rugalmasságot szolgáltatni a villamosenergia-rendszernek.

Az elmúlt években az időjárásfüggő erőművek (nap-, szélerőmű) részaránya emelkedett, egyre inkább felmerül az igény, hogy ezeket az egységeket is bevonják a flexibilitás szolgáltatásba, vagy a flexibilitást a fogyasztó oldalon alakítsák ki. A fogyasztói oldali flexibilitásnál az a cél, hogy az időjárásfüggő erőművek által betáplált energiamennyiség ingadozásait a fogyasztók eltolható villamosenergia-igényükkel tompítsák. A flexibilitás tovább növelhető tárolókapacitások (pl. akkumulátorok, sűrített levegős-, és lendkerékes energiatárolók, illetve az elektromos járműpark) felhasználásával is.

Flexibilitás érhető el szomszédos hálózatrészből (zónából) a villamosenergia-hálózaton keresztül abban az esetben, ha a zónában rendelkezésre álló flexibilitás nem elég, vagy drágább, mint a másik hálózatrészben

rendelkezésre álló. Manapság az integrált nemzetközi energiapiac egyre jobban megkönnyíti a teljesítmény importot és exportot. A piac, mint egy referencia sín (slack bus) segíti a napi hálózati műveleteket, hogy a teljesítménymérleget be lehessen tartani és az egyes hálózati zónák teljesítményáramlási problémáit csökkenteni lehessen egy másik zóna flexibilitását felhasználva. A rendszer működéséhez szükség szerint lehet a szomszédos zónákból teljesítményt importálni és adott zónákból a nem kívánatos teljesítményt exportálni, amely sok esetben a legjobb és legolcsóbb megoldás, hogy növeljük a rendszer flexibilitását. A teljesítményáramlást azonban a zónák közötti határkeresztesző kapacitások korlátozhatják, Európában ezt; a hálózat ténylegesen rendelkezésre álló átviteli kapacitás értékkel (Net Transfer Capacity, NTC) jellemezzük.

A liberalizált villamosenergia-piacon a flexibilitás egy olyan energia termék, ami a kiegészítő szolgáltatásokban jelenik meg, mint például az intraday és a day-ahead termékek, valamint a primer, szekunder és tercier szabályozások. [2]

3. Smart FLEXIBILITÁS

A hálózat oldali energiamenedzsment hosszú távú modellje két (éves és többéves) tervezési modul határozza meg a flexibilitások elosztását.

Az éves tervezés modul minden hónap minden típusú napjának (hétköznap, szombat, vasárnap) load flow számításait veszi figyelembe. A hálózattervezési logika térinformatikai adatokból, mérésekből (nagy/középfeszültségű alállomások mérései, távmért fogyasztók mérései), terhelésbecslésekből (nagy/középfeszültségű alállomások hosszú távú terhelésbecslései, nagyfogyasztók fogyasztási szokásai) és a szabályozásokból tevődik össze. Ezek az adatok futnak be a hálózatszimulációs és modellező szoftverbe, amely elvégzi a szükséges számításokat.

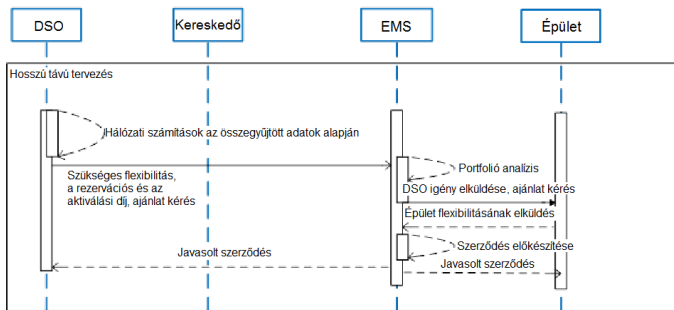
A többéves tervezés alapját korábbi, időszakok nagyszámú mérési adatai adják. A becsült értékek főleg a gazdasági fejlődéstől és a villamosenergia-igény változásától függenek: a fogyasztás nagysága arányos a gazdaság minőségi és mennyiségi változásaival. A hosszú távú tervezés modul a 10 évre előre mutató tervezés meghatározásához a rendszerirányító TSO (Transmission System Operator) fogyasztási szokások és terhelési csúcsok előjelzéseire támaszkodik.

A magyarországi pilothelyszínen, a termelt megújuló energiát – mivel az mindig kisebb, mint az épület fogyasztása – flexibilitásként nem lehet felhasználni. Csak az épület fogyasztása által biztosított flexibilitást lehet hasznosítani.

Ahhoz, hogy az épület terhelései eltolhatóvá váljanak, be kellett azonosítani a nagyobb villamos fogyasztókat. Az épületen belüli szenzorrendszerrel kellett biztosítani a kellő mennyiségű információt ahhoz, hogy a fogyasztás eltolás pontosan tervezhető, és végrehajtható legyen a felhasználó komfortérzetcsökkenése nélkül.

A terhelésetolás automatikusan, fejlett optimalizációs eljárásokkal, és az ezekkel kapcsolatban álló hálózat oldali szoftverekkel valósul meg.

3.1 A 3Smart flexibilitás foglalás működése



1. ábra. A flexibilitás foglalásának folyamata

A folyamat elején a DSO egy load flow számítását végez, mellyel megkapja a várható teljesítmény és feszültség viszonyokat a hálózaton. Az eredmény alapján dönt, hogy szükséges-e flexibilitást vásárolni.

Abban az esetben, ha szükséges flexibilitást lekötni, közli az igényét a felhasználóval, illetve a flexibilitás rendelkezésre tartásáért és annak aktív rendelkezésre bocsátásáért árat állapít meg.

Amikor a felhasználó – jelen esetben az épület oldali energiamedzszment-rendszer – megkapja ezt a kérést, kiszámítja, hogy mennyi flexibilitást tud rendelkezésre bocsátani a hálózatnak. Ezt az értéket visszajelzi a DSO-nak, innentől az épület a saját menetrendjei készítésénél bemenő paraméterként a flexibilitás biztosítását is figyelembe veszi.

3.2 3Smart flexibilitás Debrecenben

A debreceni pilothelyszínen megvalósított rendszer számos helyen egyszerűsítésre került az elméleti modellben leírthoz képest.

Egyik legnagyobb eltérés, hogy hálózat oldal irányból az „erős” táppont villamos paraméterei miatt a kis valószínűséggel alakult volna ki olyan helyzet amikor a DSO flexibilitást igényelne. A probléma kiküszöbölése érdekében a hálózat oldali modellben a maximális terhelhetőségi határ alacsonyabbra lett állítva, hogy a rendszer többször érzékeljen flexibilitás igényt.

A megvalósuló rendszerben szintén a DSO küldi a flexibilitás igényt, a hálózat oldali energiamedzszment-rendszerbe. Ebbe az egységbe érkeznek a HUPX (Hungarian Power Exchange) által küldött órás villamosenergia árak, amelyeket az épület is használ villamosenergia-fogyasztásának optimalizálásához.

Az épület oldali energiamedzszment-rendszer a kért igényre elküldi hálózat oldali energiamedzszment-rendszernek, hogy mennyi flexibilitást tud rendelkezésre bocsátani. Az energiamedzszment-rendszer ezt az értéket tovább küldi a DSO-nak. Ha a DSO elfogadja a flexibilitást a hálózat oldali energiamedzszment-rendszer elkészíti a szerződést a flexibilitást kérő és felajánló részére.

A rendszer által számított load flow annyiban különbözik a szokásos számítási módtól, hogy számol azokkal a fogyasztókkal, amely az egyes időszakokban felhasználja, vagy időben eltolva felhasználja, más időszakokban pedig termeli a villamos energiát.

A hálózat oldali modellezés pontosítása érdekében minél több felhasználó adatait kell rögzíteni a rendszerben. Mivel nem minden felhasználó rendelkezik smart mérővel, nem teljes lefedettségű a fogyasztói viselkedést tükröző mérési adat. Ennek kiküszöbölésére a méréssel nem rendelkező felhasználókhoz statisztikai elvek alapján meghatározott profilok lettek rendelve. 36 darab éves profil készült, amely modellezi a fogyasztói viselkedést. Egyes külföldi partnereknél nem kellett ezeket a profilokat használni, mivel megfelelő számú smart mérő állt rendelkezésre.

A számításokhoz a hálózat Neplan programban került modellezésre. A load flow számítás minden napra, 15 perces felbontásban készül.

A debreceni pilothelyszínen az épületben található mérőkön kívül az épületet ellátó transzformátorállomást táplálási irányból megelőző középfeszültségű kapcsolóberendezésbe, illetve az épület ellátását biztosító transzformátor kiefeszültségű kapcsaira is beépítésre került egy-egy villamos fogyasztásmérő berendezés, amely lehetővé teszi az épület oldali szabályozás hatásának hálózat oldali vizsgálatát.

A szükséges flexibilitás kiszámításához minden hónapra külön terhelési limitet lehet megadni, így minden hónapban ellenőrizhető, hogy a negyedórás átlagterheléshez képest hol található a limit. Ebből a különbségből lehet következtetni, hogy mennyi flexibilitásra van szükség.

A modul a konkrét mérési adatok és a profillal rendelkező felhasználók fogyasztási adatai alapján kilistázza, hogy a terhelés mikor lépi át a limitet és ezen pillanatok közül megkeresi a maximumot.

A hosszú távú (multiannual) modellezéséhez elkészített táblázat segítségével kiszámítható, hogy a DSO-nak mekkora összeget kell fordítania flexibilitás vásárlására, illetve mennyit érne ez az összeg alapkamatra lekötve. Ez alapján számítható, hogy egy adott beruházás, ami flexibilitás igénybevételével elkerülhető vagy elodázható (pl. kapacitásnövelés túlterhelt hálózati elem miatt) érdemes-e flexibilitás igénybevételével kiváltani.

A flexibilitás ára több tényezőtől áll össze: a flexibilitás aktiválásáért, és rendelkezésre állásért is fizetni kell. Az algoritmus úgy optimalizál, hogy az épületnek és a DSO-nak is előnyös legyen a flexibilitás megosztása.

A rezervációs árat (az ár, amit a vásárló még éppen hajlandó az adott termékért fizetni) következő képen számítja a modul:

Meghatározza az egész évre lekötött flexibilitás maximumát, és ennek árat elosztja a maximális fogyasztással.

A modul kimenete egy flexibilitás tábla, amely a szerződés alapjául szolgáló értékeket tartalmazza.

Abban az esetben, ha az épület nem tudja biztosítani a flexibilitást, amelyet a DSO lefoglalt, akkor az épületnek büntetést kell fizetnie, ennek mértékét a modul büntetés függvény alapján számítja.

A rövidtávú modul funkciói hasonlóak, azonban ez már a felhasználó másnapi menetrendjét, és időjárás előjelzési adatokat is figyelembe veszi, így pontosabban meg tudja határozni a következő napon vásárlandó teljesítményeket.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A rugalmasság kezelése a legtöbb országban szabályozási korlátokba ütközik, mert jelenleg ez a terület egyáltalán nem, vagy nem egységesen szabályozott.

ⁱ This work has been supported by Interreg Danube Transnational Programme through the project Smart Building

A projektben fejlesztett rendszer, eljárás kizárólag szimulációnak tekinthető, a valós alkalmazást lehetővé tevő piaci környezet jelenleg nem létezik. A projekt eredményei azonban hasznos információkat adhatnak az egyes piaci szereplőknek a műszakilag megvalósítható megoldásokról, kihívásokról, és információt nyújthatnak szabályozók számára is.

5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Pintér László**: *Flexibilitás a villamosenergia-piacon* Diplomaterv, Budapest 2018
- [2] **Andreas Ulbig, Göran Andersson**: *Analyzing Operational Flexibility of Electric Power System* Power System Laboratory, ETH Zurich, Switzerland 2014

– Smart Grid – Smart City (3Smart, <http://www.interreg-danube.eu/3smart>), grant DTP1-502-3.2-3Smart