

Pécsi Tudományegyetem
Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar
Villamos Hálózatok Tanszék

A tömegvezérlési rendszerek ismertetése és a bennük rejlő elosztó hálózati rugalmasság vizsgálata

Készítette: Kőhegyi Nikolett
Évfolyam: 2022
Belső konzulens: Dr. Kvasznicza Zoltán
Beosztása: Egyetemi docens
Külső konzulens: Papp Péter
Beosztása: E.ON hálózati stratégiai kiemelt szakértő

Pécs

2024

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	3
2.	A tömegvezérlési rendszerek	5
2.1.	Hangfrekvenciás központi vezérlés	5
2.2.	Rádiófrekvenciás központi vezérlés	5
2.3.	A tömegvezérlési rendszerek előnyei és hátrányai	6
1.	Pontosság	6
2.	Címezhetőség	7
3.	Fenntartási költség	7
4.	Megbízhatóság (jel vétel)	7
2.4.	A tömegvezérlési rendszerek hálózatra gyakorolt hatásai	7
2.5.	Tarifarendszerek	8
2.6.	A tömegvezérlésre alkalmas eszközök	9
2.7.	Payback hatás	10
2.8.	A tömegvezérlés költségekre gyakorolt hatása	11
2.9.	A vezérlés tervezésénél elérendő célok	11
2.10.	Portugáliai vezérlés bemutatása	12
2.11.	Az evolúciós algoritmus	13
2.12.	Magyarországi tömegvezérlés bemutatása	13
2.13.	Kapcsolási tábla tervezése	14
3.	Alkalmazott módszerek	16
3.1.	Hőmodell	16
3.2.	Optimalizált kapcsolási tábla	18
4.	Eredmények	21
4.1.	Hőmodell	21
4.2.	Optimalizált kapcsolási tábla	22
5.	Értékelés és következtetések	23
6.	Összefoglalás	24
7.	Köszönetnyilvánítás	26
8.	Irodalomjegyzék	27
9.	Ábrajegyzék	28
10.	Hallgatói nyilatkozat	29

1. Bevezetés

A villamosenergia termelés-fogyasztás egyensúly fenntartása fontos a hálózat fenntarthatóságának szempontjából. Ennek egyik fő oka, hogy a villamos energia egyik paramétere, a frekvencia is ettől függ. Hazánkban 50 Hz-es a hálózat, amelynek a hibahatára $50 \text{ Hz} \pm 1\%$ a hét 99,5% -ában és $50\text{Hz} +4\% / -6\%$ az idő 100% -ában [1]. Ennek a fenntartásáért a TSO (Transmission system operator, átviteli rendszerirányító) felel, ami Magyarországon a MAVIR (Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság). Az alap erőműveink termelését (pl. atomerőmű) szabályozni időigényes és nem gazdaságos, ezért a TSO a gyorsan beindítható és szabályozható erőművektől (például gázerőmű) vásárol energiát, hogy fenntarthassa a termelés-fogyasztás egyensúlyát, azonban ez sem gazdaságos, hiszen ezen erőművek által előállított energia drága. Az egyensúly fenntartása érdekében egyfajta megoldás lehet a villamos energia tárolása. Azonban ez csak nagyméretű és kis hatásfokú energiatárolókkal lehetséges, így ez a megoldás sem jöhet szóba, hanem szükséges alternatív megoldások keresése.

Az egyensúly fenntartását a napelemes erőművek időszakos termelése és a változó villamosenergia igények is megnehezítik. A napelemes erőművek megújuló energiaforrásból állítanak elő energiát emiatt termelésük kiszámíthatatlanabb a tradicionális forgógépes erőművekkel ellentétben, ezért ezeket jelenleg nem szabályozzuk, hanem a megtermelt energiát helyben igyekezünk felhasználni. Ehhez az egyik kézenfekvő lehetőség a fogyasztók szabályozása. A legegyszerűbb alkalmazott módszer a fogyasztók bizonyos eszközeinek éjszakai működtetése volt. Ezek az eszközök leggyakrabban a bojlerok, hőtárolós fűtések esetleg más hőtárolós fogyasztók. A kezdetekben erre a célra egy külön vezérlőszál kiépítésére kényszerültek az elosztók, viszont a technológia fejlődésével megjelentek a körvezérlő rendszerek (RKV, HKV) amelyek már nem igényeltek külön vezérlő szálát. Az átalakult fogyasztói szokások és a villamos energia előállításához szükséges primer energiahordozók arányának változása miatt, egyre nagyobb az igény a szabályozható kapacitásokra és már nem csak a TSO, hanem a DSO (Distribution Network Operator, elosztóhálózat-üzemeltető) oldaláról is. Ugyanis az elosztóhálózat paramétereinek szabványos keretek között való tartását is

megnehezíti az elosztott energiatermelés, amelyben a régóta alkalmazott vezérlő rendszereink is segítségre lehetnek.

A dolgozatom célja, hogy megvizsgáljam a rendelkezésre álló adatok alapján a körvezérlő rendszerekben rejlő lehetőségeket, arra vonatkozóan, hogy milyen hatást tudunk elérni az elosztó hálózat terhelésének kiegyenlítésével kapcsolatban. Emellett a dolgozatomban a vezérelt módon vételező fogyasztói szokásokat fogom kielemezni.

A dolgozatomban egy az E.ON által készített hőmodellt fogok validálni. Ez a modell azt vizsgálja, hogy a vezérelt fogyasztók negyedórás időintervallumokban a bekapcsolási idő függvényében mekkora teljesítményt vesznek fel a hálózathoz. Azonban az eredeti hőmodell KÖF (középfeszültségű) vonali mérések alapján készült, ezzel viszont a vezérlések által okozott terhelés külön nem mérhető. Ennek kiküszöbölésére egy minta területen felszerelt smart mérők adatait használtam, amivel már külön a vezérlések által okozott terhelést is meg tudtam állapítani.

Az előbb említett hőmodell segítségével egy optimalizált kapcsolási tábla megalkotása a célom, amellyel a hálózat terhelés- ezáltal feszültség ingadozása is mérsékelhető. Egy EXCEL modell segítségével szimulálom, hogy adott bekapcsolási, valamint kikapcsolási idők hogyan befolyásolják a hálózati terhelést. Ezt egy úgy valósítom meg, hogy egy táblázatban vezetem, hogy egy adott kapcsolási csoport hányadik negyedórája vételez, majd ehhez az értékekhez hozzárendelek egy a hőmodell által megállapított értéket.

2. A tömegvezérlési rendszerek

A dolgozatomat a hangfrekvenciás központi vezérlések (HKV) és a rádiófrekvenciás központi vezérlések (RKV) működésének bemutatásával, valamint előnyeinek és hátrányainak összegzésével kezdem a témában megjelent szakirodalmak alapján. [2]

A két központi vezérlés közös múltja Franciaországban kezdődött 1893-ban, amikor bevezettek a tarifarendszereket. Majd Svájcban elkezdtek 1897-től a tarifavezérlések központi helyről való irányítását. A villamos hálózat kezdetekor az elektronika területe még gyerekcipőben járt, ezért nagy kihívást jelentett a különböző vezérlő jelek szuperponálása a hálózati frekvenciára, így megoldásként egy külön vezérlő szálát építettek ki.

2.1. Hangfrekvenciás központi vezérlés

Az elektronika fejlődésével lehetővé vált egy a hálózati frekvenciánál magasabb frekvencián működő rendszer kialakítása, ami átviteli médiumként az elosztóhálózatot használja. Itt váltak ketté a központi vezérlések és jelent meg a hangfrekvenciás központi vezérlés, melynek rövidítése HKV, angol megnevezése a „Ripple Control System”.

A HKV-k, ahogy a nevükben is szerepel a hangfrekvenciás sávot használják, ennek a sávnak is az alacsonyabb tartományát. Magyarországon erre a célra a 183,1/3Hz-et és a 216,2/3 Hz-et alkalmazzák. A frekvencia választásnak az az oka, hogy a transzformátorok 50Hz-re vannak méretezve, ezért nagyfrekvencián már jelentős a csillapításuk.

A hangfrekvenciás rendszerekben alapvetően táviratok formájában kapják meg a parancsokat a vevőkészülékek, amiket szükséges legalább óránként kiküldeni. A táviratok tartalmazzák magát a kapcsolás formáját (KI/BE) illetve a megcímzett vevők csoportazonosítóját.

2.2. Rádiófrekvenciás központi vezérlés

A kettéválás során alakult ki a rádiófrekvenciás központi vezérlés. Ennek megvalósításával először a rádió feltalálásakor kezdtek foglalkozni, azonban a technika

korláta miatt nem tudták alkalmazni. Ezután az 1980-as évek végén kezdtek el újra foglalkozni vele, de a magas költségek miatt ez pilot projekt szintjén megállt.

Az 1990-es években vették elő újra, amikor a német energiarendszert egyesítették, mivel sok különböző HKV berendezés volt felszerelve az országban. Az eszközök kicserélése nagyon költséges lett volna, ezért más megoldást kerestek.

Ebben az időszakban az internet és a műholdas kommunikáció miatt a hosszúhullámú rádióadók feleslegessé váltak, így ezekhez könnyen hozzá tudtak férni. Innentől kezdve használták a rádiófrekvenciás központi vezérléseket. Magyarországon erre a célra 135.6 kHz-et alkalmaznak, amelyet a Lakihegyi adótoronyból sugároznak [3].

Az RKV berendezések egyik nagy előnye, hogy teljesen önállóan kapcsolnak az eltárolt kapcsolási időpontok alapján. Meg tudják különböztetni a hétköznapiakat, a hétvégeket és az ünnep- és speciális napokat. A közvilágítási vevők tartalmazzak egy közvilágítási naptárat, amelyben minden naphoz hozzá van rendelve egy ki- és egy bekapcsolási időpont, amely alapján kapcsolják a lámpákat.

A vevőkészülékek a „mindig az utolsó parancs elvét” követik, ami azt jelenti, hogyha a készülék egy ki- vagy bekapcsoló parancsot kap, az csak addig áll fent, amíg a szoftver a tárolt program alapján nem ad ki más parancsot. Ha mi szeretnénk irányítani a működésüket, akkor le kell tiltanunk a kapcsolási menetrendet.

2.3. A tömegvezérlési rendszerek előnyei és hátrányai

1. Pontosság

Amíg a HKV-k működése távirat vezérelt, ami nem igényli a belső óraművének pontos működését, addig ezzel szemben az RKV-k saját beprogramozott kapcsolási rendjük szerint vezérelnek, ami megköveteli a belső óraművük pontosságát vagy idősinkron jelet. A HKV vevők táviratok hiányában autonóm üzemmódba lépnek, ami azt jelenti, hogy egy előre beégetett program szerint kezdenek el működni, amíg nem kapnak új táviratot. Ebben az esetben a belső óraművük alapján vezérelnek, ezért pontatlanabb lehet a vezérlés. Az RKV rendszerben ilyen pontatlanság csak akkor fordulhat elő, ha az RKV vevő nem kap idősinkron jelet hosszabb ideig.

2. Címezhetőség

Mindkét vezérlési rendszerben lehetőség van vezérlési csoportok definiálására, amivel a vezérelt terhelést el tudjuk osztani. Az RKV rendszerekben ezeknek a csoportoknak a definiálását nem köti a hálózati topológia, míg a HKV rendszerben a vezérlési csoportok legnagyobb felbontása az egy állomás által ellátott villamos hálózat.

3. Fenntartási költség

Fenntarthatósági szempontból a két rendszer nagy különbsége, hogy amíg a HKV-knál úgymond elegendő az adóállomásokat létesíteni és karbantartani, addig az RKV-nál a rádiófrekvenciás jel szolgáltatásáért a területért illetékes rádiófrekvenciás üzemeltetőtől kell ezt a szolgáltatást beszerezni, aki Magyarországon az Antenna Hungária Zrt. Ezeket a költségeket figyelembe véve elmondható, hogy az RKV rendszer üzemeltetésének hátránya, hogy piaci kitétsége van az elosztó hálózati engedélyesnek egy külső szolgáltatóval szemben, viszont a HKV rendszer egyre növekvő karbantartási költségei miatt ez utóbbi hosszútávon költségesebb.

4. Megbízhatóság (jel vétel)

A HVK-k jelvétele megbízhatóbb, mivel a jelet közvetlenül az energiaátviteli hálózat szállítja, míg az RKV jelek közvetítő közege a rádiófrekvenciás jel, ami a levegőben terjed, így bizonyos helyekre nem mindig jut el (például pince, betonnal árnyékolt környezet), ezért vétel szempontjából kevésbé megbízhatóak. Ezek mellett az RKV vevők érzékenyebbek a magas frekvenciás hálózati zajokra, amiket főként a kapcsoló üzemi tápegységek okoznak a hálózaton. Magyarországon az RKV jelek vételére átfogó vizsgálat nem történt, de Németországban igen, ahol megállapították, hogy egy kiadott parancsot a felszerelt vevőkészülékek 7%-a valamilyen okból kifolyólag nem kapja meg. A tapasztalataim alapján hazánkban ez az arány rosszabb. A kommunikációs csatorna egyirányú, a vételminőséget csak helyszíni kiolvasással lehetne megállapítani.

2.4. A tömegvezérlési rendszerek hálózatra gyakorolt hatásai

A vezérelt végfelhasználói fogyasztás egy fontos kutatási téma, mivel ennek a segítségével hatékonyabbá tehetjük a villamosenergia rendszert. Azonban azt sem

felejtethetjük el, hogy vezérlésnek vannak gazdasági és technikai korlátai, valamint arra is oda kell figyelnünk, hogy a vezérléssel ne rontsunk a szolgáltatás minőségén.

Irodalom kutatásom során elsődlegesen Magyarország szempontjából mutatom be a témát, azonban találtam más külföldi viszonylatból [4] is példákat a témában, ezért az ott szereplő információk alapján igyekeztem párhuzamot vonni Magyarország tekintetében.

Az elmúlt időszakban a technológia fejlődése több új készüléket és változást hozott magával, amelyek segítik a villamosenergia hálózat hatékony működését. Erre példák a smart mérők, amelyek adatot szolgáltatnak a hálózatról ezzel is okosítva az elosztó hálózatot, valamint a háztartási méretű kiserőművek (HMKE), amelyek lehetőséget teremtenek a fogyasztóknak, hogy helyben termeljék meg és fogyasszák el a számukra szükséges energia egy részét. Ezenkívül több pilot projekt is indult az energia tárolók alkalmazására is. Magyarországon például Dúzs és Zánka településen is telepítésre került 1-1 tároló. Ezek a tárolók a középfelesztésű hálózatra csatlakoznak és céljuk a hálózati terhelések simítása. Azért erre a két helyre esett a választás, mivel Zánka egy üdülő terület Dúzs pedig egy villamosenergia szempontból nem kiemelt területen helyezkedik el ráadásul egy erőmű is csatlakozik erre a hálózati szakaszra.

2.5. Tarifarendszerek

A körvezérlésekhez hasonlóan a dinamikus árazást (a villamosenergia árak egy nap folyamán eltérnek) is több országban alkalmazzák a fogyasztók költségeinek csökkentésére és a hálózati terhelések simítására. Azonban több országban köztük Portugáliában és hazánkban jelenleg ezt nem alkalmazzák, de iparági kezdeményezés van a KIF4 tarifára (egy adott időszakra például 0,5-1 évre a villamosenergia árak állandóak, azonban a nap folyamán változnak), ami ezt a dinamikus árazást hivatott megvalósítani. Az iparág szereplői arra törekednek, hogy a terhelési völgyeket feltöltsék a csúcsokat pedig levágják, hogy csökkenthessék a költségeket és a veszteségeket, és ezzel is kiegyensúlyozottabbá tegyék a villamos energia szolgáltatást.

Bizonyos országokban például Németországban [5] a fogyasztóknak lehetőségük van többféle költség csökkentési programban részt venni. Az egyik ilyen a már fent említett dinamikus tarifa, amivel közvetett módon ösztönzik a fogyasztókat, hogy csökkentsék a csúcs időszaki terhelésüket, ezáltal a villamosenergia használat okozta

költségeiket mérsékelhetik. Egy másik lehetőség a terhelés korlátozás, amiben a fogyasztó pénzügyi támogatást kap, hogy csökkentse a csúcsfogyasztását a kritikus időszakban.

A fogyasztók számára motiváló lehet, hogy a megfelelő fogyasztási szokásokkal a villamosenergia használat okozta költségeiket mérsékelhetik. Jelenleg Magyarországon egy olyan terhelés elosztási rendszer elérhető, amely tarifális oldalon motiválja a fogyasztókat a csatlakozásra az olyan eszközeik esetében, amik hőenergia tárolásra képesek. Ez a rendszer központi vezérelt az elosztó hálózati engedélyes által, akinek kötelessége a rendeletek által előírt szolgáltatási keretek betartása. Azonban ezt tovább lehetne fokozni a háztartási méretű kiserőművekkel és a tárolási technológiákkal, ezzel a fogyasztók prosumereké emelésével, ami azt jelenti, hogy nem csak proaktív és intelligens fogyasztói magatartást tanúsítanak, hanem aktív termelők is. Így azonban szükség lehet fogyasztói szinten is az fogyasztások menedzselésére.

2.6. A tömegvezérlésre alkalmas eszközök

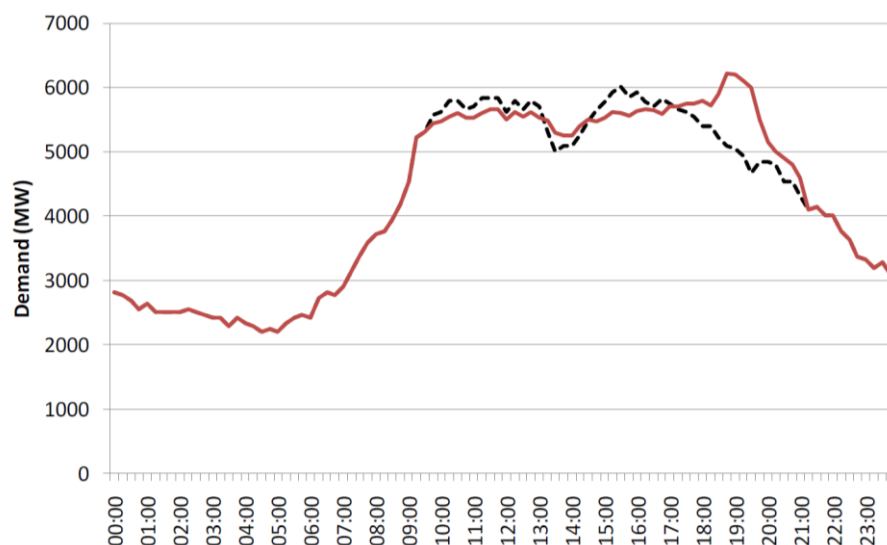
Egyfajta terhelés csökkentési módszernek számítanak a központi vezérlések is, amelyeket például Portugáliában is alkalmaznak. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a kritikus időszakokban egy jelzés hatására kikapcsolják a vezérelt fogyasztókat. Magyarországon ennek a megközelítésnek az ellentétjét alkalmazzuk, tehát nem bizonyos időszakokból tiltjuk ki, hanem meghatározunk bizonyos időszakokat amikor vételezhetnek a vezérelt fogyasztók. Ennek oka a hiánygazdálkodás, egyszerűen nem állt rendelkezésre megfelelő mennyiségű villamos energia, míg a nyugati energiarendszerekben elegendő volt a csúcsból való kizárás. Azok a villamos fogyasztók alkalmasak erre a célra, amelyeknek van tárolási kapacitásuk, tehát egy bizonyos időre ki lehet kapcsolni őket anélkül, hogy a szolgáltatás minősége jelentősen csökkenjen vagy az olyan felhasználású villamos fogyasztók, amelyek működése időben eltolható. Ezek például a klímák, a hőszivattyúk, az elektromos víz és tér melegítők, valamint alkalmasak erre a víz szivattyúk és a silókat töltő szállító szalagok is.

Ezekkel a fogyasztókkal megváltoztathatjuk a fogyasztási görbét, tehát ha völgy időszakban bekapcsoljuk őket és a csúcs időszakban kikapcsoljuk akkor egy egyenletesebb görbét kapunk. Fontos szempont az is, hogy mennyi időre kapcsolják be és ki az eszközt, mivel az időintervallum hibás megválasztásával ronthatunk a szolgáltatás

minőségén. Ennek az időnek a kiszámításához tudnunk kell a végfelhasználó igényeit (kívánt hőmérséklet, hő teljesítmény, tér karakterisztika) és a villamos fogyasztó fizikai paramétereit például a névleges teljesítményét.

2.7. Payback hatás

Ha sok termosztatikus fogyasztónak van egy időben engedélyezve a vételezés akkor ezeknek az összfogyasztása kisebb, mint a maximális fogyasztás, mivel a különböző felhasználói szokások időben a terhelést eltolják. Azonban, ha a kikapcsolási időszakot időben eltoljuk a vezérléssel, azzal azt okozhatjuk, hogy a terhelések összetorlódnak a kikapcsolási időszak alatt, ezzel egy nagyobb csúcsterhelést eredményezve, mint amekkora alapból lett volna, ha csak a fogyasztói szokások triggerelték volna egyedül a villamos terheléseket. Ezt hívják „payback” hatásnak, ami súlyos minőségi romlást és profit csökkenést okoz. Ez a hatás akkor lép fel, ha nem megfelelően van megtervezve és ütemezve a vezérlés.



2.1. ábra payback hatás

Szaggatott vonallal a vezérlés nélküli, a piros vonallal pedig a nem megfelelően tervezett vezérlés által létrehozott terhelést mutatja. Látható, hogy a hibásan tervezett vezérlés görbe jelentősen mértékben magasabb értékeket vesz fel, mint a vezérlés nélküli. Ennek oka, hogy napközben a vezérelt fogyasztók nem vételezhettek, majd amikor 18 órakor vételezni kezdtek a felgyülemlett energia igényük következtében egy hirtelen, nagy mértékű terhelési kiugrást okoztak.

2.8. A tömegvezérlés költségekre gyakorolt hatása

Az energia kereskedők, szolgáltatók és aggregátorok arra törekednek, hogy növeljék a hálózat stabilitását, csökkentsék a maximális terhelést, a veszteségeket, a költségeket és az ökológiai lábnyomot, valamint arra, hogy növeljék a bevételeket. A kereskedők kihasználják az energia kis- és nagykereskedelmi ára közötti különbséget. Ezt profit szerzés céljából teszik. Ezért is fontos számukra, hogy csökkentsék a fogyasztók maximum fogyasztását, mivel ettől is függ a villamos energia vétel ára és a hálózat használat költségei.

A megújuló energiaforrások által okozott problémák növelik a fogyasztás oldali menedzsment iránti érdeklődést, mivel ezek nagyszámú megjelenése a hálózaton hatással van a villamosenergia rendszer tervezésére és üzemeltetésére. A megújuló energiaforrást hasznosító erőművek, főként a naperőművek az ösztönző programok következtében Magyarországon nagyon elterjedtek, így most már az elosztó hálózat több pontján előfordult olyan eset, ahol az áramlás iránya megfordult és a kiefeszültségről/középfeszültségről a nagyfeszültség felé történt betáplálás. Ezenkívül a megújuló energiaforrások hatással vannak a hálózat megbízhatóságára és költségeire is. Terhelés korlátozással mérsékelhetőek a megújuló energiaforrások hálózatra gyakorolt hatásai. Ez lehetőséget teremt arra, hogy nagyobb szerepet tudjanak játszani a villamos energiatermelésben. Valamint a villamosenergia rendszer hatékonyságának növelése is lehetséges a terhelés oldali szabályozással.

2.9. A vezérlés tervezésénél elérendő célok

- **A csúcs fogyasztás minimalizálása.**

A villamosenergia kereskedő fel akarja mérni a fogyasztás menedzsment hatását három különböző fogyasztás összevonási szinten:

- összesített szinten (megmutatja az összes ügyfél fogyasztását),
- lakossági ügyfél szinten (megmutatja az összes lakossági ügyfél fogyasztását),
- transzformátor szinten (főként az ipari szektor fogyasztói).

Ezekon a szinteken végzett értékelések lehetővé teszik, hogy a kereskedő kihasználhassa a beszerzési és eladási árak közötti különbséget, valamint segít, hogy jobban meg tudja tervezni a fogyasztás vezérlését.

- **A profit maximalizálása.**

A villamosenergia eladásából származó nyereséget befolyásolja az eladott energia mennyisége, a napszak/évszak/év és az energiafelhasználásának mértéke (teljesítmény). A szolgáltató egy megfelelő terhelés vezérlést akar tervezni, hogy annak segítségével és a nagykereskedelmi ár előrejelzései alapján úgy tervezhessen, hogy maximális profitot termelhessen.

- **Veszteségi tényező minimalizálás.**

Ez a célkitűzés összefügg a gazdasági és üzemeltetési célokkal.

- **Ügyfelek zavartatásának minimalizálása.**

2.10. Portugáliai vezérlés bemutatása

Irodalom kutatásom során egy részletesebb tanulmányt dolgoztam fel [4], amely Portugália tömegvezérlési rendszerét mutatja be. Ebben az országban rendszeresen változtatnak a vezérlési mintázatokon ezzel megnövelik az ügyfelek zavartatásának esélyét. Ezt azonban minimalizálni kell, hogy a fogyasztóknak ne csökkenjen a hajlandóságuk a terhelés korlátozás elfogadására. Ezeket a zavartatásokat egy objektív függvénnyel értékelik, amelyben azt figyelik, hogy a zavartatások elérnek-e egy adott küszöbértéket. Valamint figyelik a zavartatás egybefüggő maximális időtartamát. Magyarországon ehhez képest szigorúbb rendszer él, mivel azt határozzák meg, hogy mikor engedik a fogyasztókat vételezni. Ez a portugáliai esethez képest még nagyobb körütekintést igényel a kapcsolási naptár tervezésekor, mivel még kisebb időszakban vételezhetnek a fogyasztók villamos energiát.

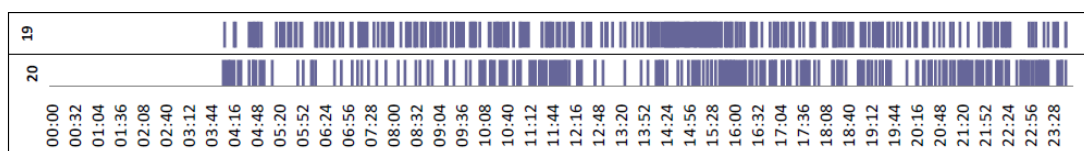
Mivel Portugáliában, mint feljebb is említettem a vezérlési mintázatokat dinamikusan változtatják, így ennek támogatására, egy matematikai modell került kidolgozásra, amelyben a változók az egyes terhelési csoportok be- és kikapcsolási mintái. A ki- és bekapcsolás idők bármikorra időzíthetők, ezért ez egy nagyszabású

kombinatorikai feladat, mivel a terhelési csoportok ki- és bekapcsolási sémáinak megvalósítható kombinációjának száma hatalmas. Ezért erre a célra egy evolúciós algoritmust fejlesztettek ki. Angol megnevezése „evolutionary algorithm”, rövidítése EA.

2.11. Az evolúciós algoritmus

Az EA nem igényel speciális matematikai modellt, viszont alkalmas kombinatorikus optimalizálásra, mivel a potenciális megoldások halmazával számol.

Ennek a megoldásnak a struktúrája/szerkezete bináris ábrázolást igényel, ami leírja egy nap során a fogyasztók minden egyes csoportjára alkalmazandó ki- és bekapcsolási időintervallumokat. Egy csoportot egy bináris karakterlánc képvisel, ahol az 1-es a terhelés korlátozását jelenti a 0 pedig azt az időszakot, ahol nem használják ezt. Mint ahogy már feljebb is említettem Magyarországon ennek az ellenkezőjét alkalmazzuk.



2.2.ábra két terhelési csoport kapcsolási terve

Az EA-sal a szabályozási intézkedéseket a terhelések jellemzőihez lehet hangolni, ezzel lehetővé válik a szabályozható terhelés maximális kihasználása. Valamint a lehető legnagyobb mértékben lehet csökkenteni a terhelést a csúcsterhelési időszakban, anélkül, hogy a fogyasztói zavartatások száma növekedne. Ez a megoldás hatékonyabb, mint az előre meghatározott ki- és bekapcsolási intervallumot használó rendszer, mivel az utóbbi nem veszi figyelembe az elosztó hálózat kihasználtságát.

A mérés alapú fogyasztási modellek használatának egyik fő előnye, hogy a fogyasztás szabályozási intézkedések miatt az egyéni energiaigényben bekövetkező változásokat automatikusan figyelembe veszi az egyéni és a globális keresletben és képes reprodukálni a szabályozott terhelések megváltozott keresletét.

2.12. Magyarországi tömegvezérlés bemutatása

Magyarországon jelenleg a kapcsolások egy megadott ki- és bekapcsolási ütemterv alapján történnek, amelyek nincsenek változtatva, csupán a téli/nyári időszámítás 1 órá

eltérésével vannak korrigálva. Ma Magyarországon alapvetően két technológiát alkalmaznak a központi terhelés elosztásra.

Az RKV (rádió kör vezérlés) rendszerben fogyasztói csoportok vannak definiálva. Az egyes csoportokhoz, pedig egy előre meghatározott kapcsolási naptár tartozik. Ezeket előre feltöltik a vevőkészülékekbe és rádiófrekvencián csak idősinkron jelet kapnak annak érdekében, hogy a kapcsolások időben pontosak legyenek.

A HKV (hangfrekvenciás kör vezérlés) rendszerek az előzőekben említett RKV rendszerektől annyiban térnek el, hogy itt a vevőkészülékek nem a bennük lévő kapcsolási naptár alapján vezérelnek, hanem az elosztó hálózatra szuperponált táviratok alapján. Amennyiben egy órán belül nem jön új távirat, úgy a vevő azt feltételezi, hogy meghibásodás van a hálózaton és csak ebben az esetben vezérel a benne lévő kapcsolási naptár alapján. Ezeket a rendszereket a dolgozatomban később részletesen is ismertetni fogom.

2.13. Kapcsolási tábla tervezése

A fogyasztás vezérlés tervezése egy igen bonyolult feladat, mivel optimalizálni kell gazdasági, műszaki és szolgáltatás minőségi szempontból. Azonban, ha nem vesszük figyelembe a különböző fogyasztási szokásokat, akkor megnöveljük az esélyét annak, hogy zavartatást okozunk az ügyfeleknek. A fogyasztást általában napi diagramon ábrázoljuk, ahol jól látszik, hogy a fogyasztás korlátozás hatása jelentős ideig tart. A historikus mérésen alapuló fogyasztási modellek segítségével mérsékelhetők a kockázatok, mivel a villamos terhelésekben lejátszódó fizikai jelenségeket utánozzák. Ezek tudatában lehetséges az előre jelzett terhelés karakterisztikájának megváltoztatása a vezérléssel. Ez a mérésen alapú modell lehetővé teszi, hogy a valós helyzeteket nagyon pontosan kezelhessük, azonban ehhez további számítások szükségesek.

Az információs és kommunikációs technológiák folyamatos fejlesztése és terjedése, valamint a fejlett mérési és ellenőrzési rendszerek megteremtik a technikai alapot az összes fogyasztó integrált kezelésére és elemzésére, így a mérésen alapuló modellek is egyre pontosabb eredményt hoznak majd.

A villamosenergia-tranzakciókra alkalmazott tarifarendszerektől, valamint a kiskereskedők és a villamosenergia-értékesítők között létrejött adásvételi szerződésektől

függően a kiskereskedők által látott energiabeszerzési költségek idővel változhatnak, és valószínűleg a költségek úgy változnak, hogy nagyon közel álljanak a valós idejű árhoz. A beszerzési költségek függenek a hálózat használatának és kezelésének költségeitől, az energia mennyiségétől és a vezetékeken átfolyó csúcsteljesítménytől. Másrészt a legtöbb fogyasztó - legalábbis a lakossági fogyasztók - számára a villamosenergia-árak jelentős időtartamra, akár egy évre rögzítettek. Például manapság igen elterjedt, hogy a kWh-árak a nap folyamán változnak, de egy trimeszter vagy egy év alatt fixek. Az irodalom kutatásom alatt ismertetett tanulmányban szereplő portugáliai rendszerben és Magyarországon sem működik ma ilyen tarifa rendszer a lakossági fogyasztók terén, de több nyugat-európai országban is alkalmaznak hasonlót, például Németországban. Magyarországon is elképzelhető egy hasonló tarifa megjelenése KIF4 formájában, ahol nem teljesen dinamikus lesz az árazás, tehát nem teljesen a piaci árakat fogja lekövetni, hanem az árak változását modellezi egy időben változó egységárral. Ezzel közvetett módon ösztönözve a fogyasztókat arra, hogy a fogyasztásukat úgy időzítsék, hogy az a hálózat számára is optimális legyen.

3. Alkalmazott módszerek

3.1. Hőmodell

A dolgozatom második felében egy az E.ON által megalkotott hőmodellt fogok validálni. Amely azt mutatja meg, hogy a vezérelt fogyasztók hány százaléka vételez a bekapcsolást követően az eltelt idő függvényében. Ezt a hőmodellt közép feszültségű szinten mérték, amit úgy valósítottak meg, hogy az egy adott közép feszültségű vonal terhelési adatain keresték a vezérelt fogyasztók kapcsolásának a hatását. Ezt a gyakorlatban úgy valósították meg, hogy a vezérelt fogyasztók megadott időpontban történő ki és bekapcsolásával, olyan mérési eseteket hoztak létre, amit a közép feszültségű vonali mérésen ki tudtak mutatni. A hibák kiküszöbölésére több mérési esetet hoztak létre, változó időpontra és időintervallumra, hisz ezzel a módszerrel nem lehetséges külön a vezérelt fogyasztást mérni, csak a kapcsolási időpillanatok és időintervallumok tudatában lehetett erre következtetni.

A validáláshoz a minta területen felszerelt 16 smart mérő aggregált egyéves adatát használtam, amelyek megadott kapcsolási rend szerint működnek. A kapcsolások négy csoportra oszthatóak, amelyek 15 perces eltolással kapcsolnak be és ki. Ezek a fogyasztók az éven belül két különböző kapcsolási táblával működtek, melyek az év különböző szakaszaiban voltak alkalmazva. Ezek a kapcsolási táblák az alábbiak egy csoportot nézve:

3.1. táblázat kapcsolási tábla

0:00	Be
5:00	Ki
11:15	Be
11:45	Ki
12:45	Be
22:15	Ki

Első lépésként a vezérelt fogyasztók átlagos teljesítményét állapítottam meg, amihez a negyedórás fogyasztási értékek maximumait vizsgáltam. Fogyasztónként a kapott maximális negyedórás fogyasztási értéket órás időintervallumra kivetítve megkaptam a fogyasztókra jellemző teljesítményt, amivel maximálisan vételezni tudtak.

Ezeket a kapott értékeket átlagolva azt kaptam, hogy az átlagos teljesítménye egy vezérelt fogyasztónak 2,05kW.

Az adatok feldolgozását azzal folytattam, hogy a negyedórás fogyasztási adatokat csoportonként összesítettem, a két időszakra vonatkozóan külön-külön, ezzel képezve egy-egy napi fogyasztási görbét minden csoportra. Majd a kapcsolási táblák késleltetését kiküszöbölve az értékeket csoporttól függően eltoltam annyival, hogy mindegyik az első csoport vezérlési táblájának mintázatát idézze és így összeadtam őket. Ennek eredményeként a négy csoport négy-négy fogyasztója helyett képeztem egy 16-os csoportot, amit így egyszerűbb volt vizsgálni.

Az előzőekben összesített fogyasztási értékeket a mérési időintervallumon belül eltelt napok számával elosztva kaptam egy napi fogyasztási görbét, ami a mérési időintervallumra jellemző. A napi negyedórás fogyasztási értékek, a fogyasztók száma és átlagos teljesítményük tudatában már könnyedén kimutatható volt, hogy egy adott negyedórában a fogyasztók hány százaléka vételezett.

3.2. Optimalizált kapcsolási tábla

A hőmodell validálásán kívül létrehoztam egy optimalizált kapcsolási táblát, amelyhez a hőmodellt használtam fel. Ennek segítségével határoztam meg, hogy adott negyedórás időszavokban a vezérlési időtartamtól függően a vezérelt fogyasztók mekkora teljesítményt vesznek fel a hálózathól. Ezt hozzáadtam a középfeszültségű vonal terheléshez, amelyből már előzőleg kivontam az eredeti vezérlés okozta fogyasztást.

Az optimalizált kapcsolási tábla megalkotásánál az volt a célom, hogy a 11 órától 14 óráig terjedő időszakban növeljem a vezérlések okozta terhelést, így a megújuló energiaforrások által termelt energiát a lehető legnagyobb mértékben fel lehessen használni. Valamint az is, hogy a 6-8 és 17-20 óráig terjedő csúcsidőszakban a vezérelt fogyasztók kizárjam. Úgy is mondhatnám, hogy a globális célom a terhelési görbe által bejárt sáv csökkentése volt.

A kapcsolási tábla változtatásának hatását a terhelési görbén egy Excel programban létrehozott táblázat és ezen adatok alapján kirajzolt diagramon vizsgáltam. Így jól vizsgálható volt, hogy milyen hosszúságú bekapcsolási időket és szüneteket kell alkalmazni a völgyek feltöltéséhez, hogy ne okozzunk hirtelen terhelési kiugrásokat.

Az optimalizált kapcsolási tábla elkészítésénél figyelembe vettem a 4/2011. (I. 31.) NFM rendeletet, amely meghatározza a vezérlésekre vonatkozó szabályokat:

A (7) bekezdés szerinti felhasználói berendezések részére az egyetemes szolgáltató – az elosztóval, valamint az átviteli rendszerirányítóval kötendő megállapodás alapján – naponta összesen minimum 8 (a nyári időszámítás idején 7) óra időtartamra köteles a villamosenergia-ellátást biztosítani, amiből munkanapokon legalább 5, legfeljebb 6 (a nyári időszámítás idején legalább 4, legfeljebb 5) óra eshet az 1. számú mellékletben meghatározott völgyidőszakba. A csúcsidőszakba eső villamosenergia-ellátás alkalmankénti időtartama nem lehet rövidebb 30 percnél.

Ezek alapján az általam létrehozott kapcsolási tábla megfelel a jelenlegi jogszabályi előírásoknak, mivel az egyes csoportok több mint 10 órán át vételezhetnek, valamint a meghatározott völgyidőszakban (téli időszámítás: 22-06, nyári időszámításban: 23-07) legalább 5 és legfeljebb 6 (a nyári időszámítás idején legalább 4, legfeljebb 5) órán át kell engedni vételezni a fogyasztókat, ami szintén teljesül. Ezenkívül a bekapcsolási idők egyik alkalommal sem rövidebbek 30 percnél.

A 3.2.-es ábrán látható az optimalizált kapcsolási tábla. A táblázatban szereplő számok, azt jelzik, hogy az adott kapcsolási csoport hányadik negyedórája van bekapcsolva. Ez a szám hozzá van rendelve a hőmodell megfelelő sorához, amely azáltal meghatározza a hőmodell, hogy a vezérelt fogyasztók mekkora teljesítményt vesznek fel a hálózathoz.

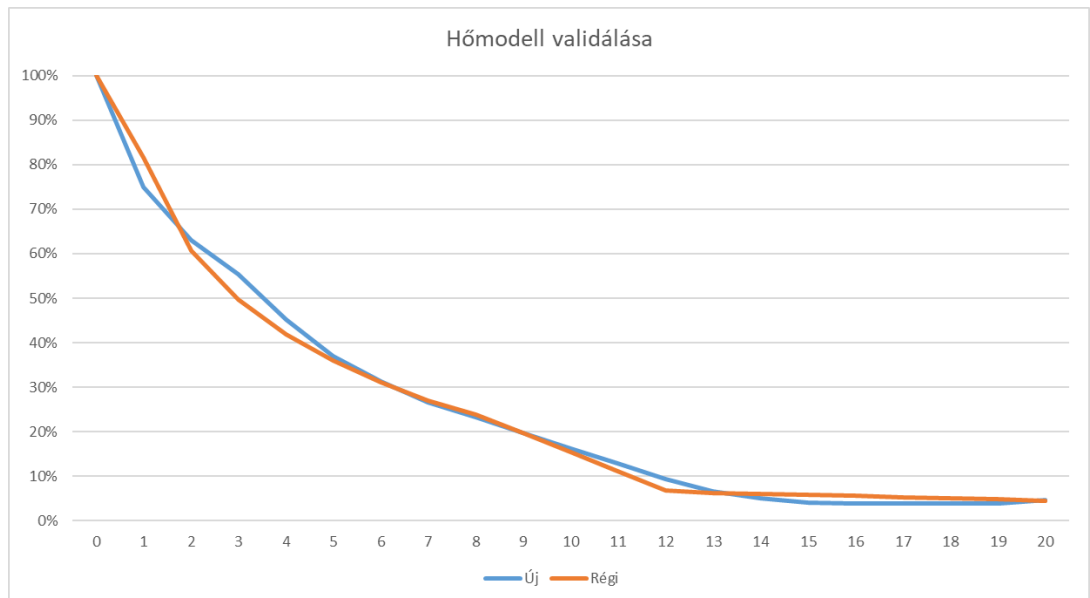
0:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
0:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
0:30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
0:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
1:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
1:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1:30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2:30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3:00			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3:15			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3:30				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3:45				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4:00							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4:15							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4:30								1	1	1	1	1	1	1	1	1
4:45									1	1	1	1	1	1	1	1
5:00										1	1	1	1	1	1	1
5:15										1	1	1	1	1	1	1
5:30												1	1	1	1	1
5:45												1	1	1	1	1
6:00														1	1	1
6:15																
6:30																
6:45																
7:00																
7:15																
7:30																
7:45																
8:00																
8:15																
8:30																
8:45																
9:00	1	1														
9:15	1	1	1	1												
9:30	1	1	1	1	1	1										
9:45	1	1	1	1	1	1	1	1								
10:00			1	1	1	1	1	1	1	1						
10:15				1	1	1	1	1	1	1	1					
10:30						1	1	1	1	1	1	1	1	1		
10:45							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11:00	1	1									1	1	1	1	1	1
11:15	1	1	1	1								1	1	1	1	1
11:30	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1	1
11:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
12:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
12:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
12:30			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
12:45				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13:00	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13:15	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
13:30	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1
13:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1
14:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1
14:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
14:30			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
14:45				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:00	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:15	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:30	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1
15:45	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1
16:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1
16:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
16:30			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
16:45				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17:00					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17:15						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17:30								1	1	1	1	1	1	1	1	1
17:45										1	1	1	1	1	1	1
18:00														1	1	1
18:15																
18:30																
18:45																
19:00																
19:15																
19:30																
19:45																
20:00																
20:15																
20:30																
20:45																
21:00																
21:15																
21:30																
21:45																
22:00	1	1														
22:15	1	1														
22:30	1	1	1	1												
22:45	1	1	1	1	1											
23:00	1	1	1	1	1	1	1									
23:15	1	1	1	1	1	1										
23:30	1	1	1	1	1	1	1	1								
23:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1							

3.2. Optimalizált kapcsolási tábla

4. Eredmények

4.1. Hőmodell

A hőmodell validálásának szemléltetéséhez egy diagramon ábrázoltam a két modellt:



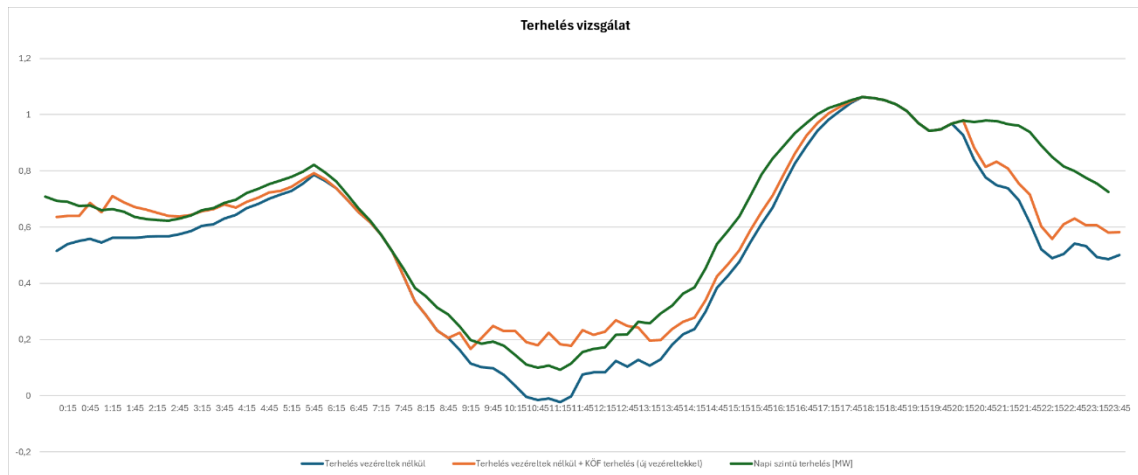
4.1. ábra hőmodellek összehasonlítása

A vízszintes tengely azt mutatja, hogy hányadik negyedórája vannak bekapcsolva a fogyasztók. A függőleges tengely pedig azt mutatja, hogy a fogyasztók hány százaléka vételez.

A validálandó hőmodell és a smart mérők adatain alapuló hőmodell közötti különbség minimális, ami a fenti diagrammon is jól látható. A bekapcsoláskor van csak nagyobb eltérés, hisz mivel csoport szinten voltak vizsgálva a fogyasztók így nem alakult ki olyan helyzet, hogy az összes fogyasztó egyszerre vételezzen. Azonban a bekapcsolási idő múlásával a két hőmodell közti különbség szinte nullára csökken. A két hőmodell kis mértékben eltér egymástól, melynek egyik oka, hogy az eredeti hőmodellben nagyobb a vezérelt fogyasztók száma, valamint ezt nem fogyasztói oldali mérések alapján készítették, hanem KÖF vonali mérésekből származtatták így a hálózati terhelés változások, is befolyásolták az eredményt. Ezekről függetlenül a két modell közel azonos eredményt hozott, így elmondható, hogy az általam készített hőmodell validálja az eredetit.

4.2. Optimalizált kapcsolási tábla

Az optimalizált kapcsolási tábla által okozott terhelésváltozások ezen a grafikonon láthatóak:



4.2. ábra optimalizált terhelési görbék

A vízszintes tengelyen az időpontok láthatóak egy napra elosztva. A függőleges tengelyen pedig a fogyasztás mértéke megawattban mérve. Kék színnel a vezérelt fogyasztók nélküli, narancssárga színnel az új vezérléssel ellátott fogyasztók terhelésével együttes, zöld színnel pedig a régi vezérléssel számított napi szintű KÖF vonali terhelést jelöltem.

A diagramon jól látszik, hogy a reggeli és délutáni csúcsideszakban a vezérelt fogyasztók nem vételezhetnek, ezáltal ezekben az időszakokban nem növelik még jobban az így is magas terhelést. A 9 órától 15 óráig tartó völgyidőszakban pedig a lehető legnagyobb mértékben növeltem a fogyasztást, figyelembe véve, hogy ne okozzak hirtelen terhelési kiugrást. Azzal, hogy ebben időszakban növeljük a fogyasztást elérjük, hogy a napelemek által megtermelt energiát a lehető legnagyobb mértékben ki tudjuk használni, illetve minél inkább helyben tudjuk azt hasznosítani.

5. Értékelés és következtetések

Az általam elvégzett munkát sikeresnek tekintem, hisz a vizsgált hőmodellt hitelesnek ítélem az elvégzett összehasonlítás alapján. Valamint a célkitűzésben is megfogalmazott elosztóhálózati terhelés kiegyenlítése is sikerült az optimalizált kapcsolási táblával.

Ahogy azt az irodalmi áttekintésben is felvetettem, ha a terhelési görbénk ingadozását, tehát értékészletét csökkentjük, azzal az elosztóhálózatot is jobb kihasználtsággal tervezhetjük. Tehát nem csak a hálózati elemeinket, hanem az energia mennyiségét is optimálisabban tervezhetjük meg, ezzel csökkentve a kiegyenlítő energia mértékét. A hálózataink kihasználtságának a növelésével pedig közvetett módon a villamos energia árára is kedvező hatással lehetünk, hiszen minél jobb hatékonysággal ruházunk be a hálózatunkba, annál kevesebb rész épül be az Rendszer Használati Díj alapjába.

Végül pedig nem tekinthetünk el attól sem, hogy az terhelési értékek terjedelmének csökkentésével a feszültség ingadozás is mérsékelhető, tehát a jelenlegi decentralizált termelés okozta egyik legnagyobb problémára is segítséget adhat.

6. Összefoglalás

A dolgozatom fő célja, ahogy a címében is szerepel a tömegvezérlési rendszerekben rejlő elosztó hálózati rugalmasság vizsgálata. Ehhez először is szükségesnek tartottam az erre a célra szolgáló eszközöket megvizsgálni. Ezek előnyeit és hátrányait összegezni.

Majd ezek után elosztóhálózati szempontból vizsgáltam meg a tömegvezérlési rendszerek jelentőségét. Ebben a témában több külföldi tanulmányt is elolvastam, hogy összehasonlíthatsam a Magyarországi viszonyokkal. Itt jól látszott, hogy bizonyos országokban tőlünk ellentétesen állnak hozzá az alkalmazásukhoz, hisz hazánkban meghatározunk időszakokat amikor a fogyasztók vételezhetnek, azonban más országokban olyan időszakokat határoznak meg amikor a fogyasztók nem vételezhetnek. Utóbbi módszer stabilabb a hálózat egyensúlyának fenntartása szempontjából, azonban a hazánkban alkalmazott módszer megfelelő használatával optimálisabb terhelés elosztást lehet elérni.

A hőmodell validálásához egy minta területen felszerelt smart mérők adatait használtam, hogy a lehető legpontosabb eredményt kapjam. Ezeket az adatok aggregáltam és időben eltoltam, hogy a hőmodell validálásához megfelelő formába kerüljenek. Ezt követően egy diagramon ábrázoltam a könnyebb átláthatóság érdekében, amin jól látszik, hogy a validálás sikeres volt.

Az optimalizált kapcsolási tábla elkészítéséhez egy EXCEL modellt használtam fel, aminek segítségével vizsgálni tudtam a terhelési görbe alakulását a vezérlés változtatásának hatására. Az új vezérlés létrehozásánál két fő célom volt. Az egyik, hogy 11-14 óráig terjedő völgyidőszakot feltöltsem és a 6-8 és 17-20 óráig terjedő csúcsidőszakban a vezérelt fogyasztók kizárjam. Az elkészült kapcsolási táblában mindkét kitűzött célnak eleget tudtam tenni.

Ezáltal elértem, hogy a terhelési görbe által bejárt sáv kisebb legyen, aminek számos pozitív hatása van. Például a hálózat feszültség-ingadozásai is mérséklődnek és a költségek csökkenthetők. Ráadásul a megújuló energiaforrások által termelt energiát is hatékonyabban tudjuk felhasználni.

A dolgozatom fő kérdésére is választ kaptam, hisz ezekből jól látszik, hogy a tömegvezérlési rendszerek alkalmazhatóak a terhelés- és ebből következően a feszültség-ingadozások mérséklésére.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni a sok segítséget két konzulensemnek Dr. Kvasznicza Zoltán egyetemi docensnek és Papp Péter E.ON hálózati stratégiai kiemelt szakértőnek, hogy egyengették az utamat a dolgozat elkészítése során.

8. Irodalomjegyzék

- [1] [5_4_2_magyar.indd](#)
- [2] <https://ojs.emt.ro/enelko-szamokt/article/download/1345/1356/2359>
- [3] [Rádiófrekvenciás Központi Vezérlés - ppt letölteni](#)
- [4] [\(PDF\) Direct Load Control in the Perspective of an Electricity Retailer – A Multi-Objective Evolutionary Approach \(PDF\) Direct Load Control in the Perspective of an Electricity Retailer – A Multi-Objective Evolutionary Approach \(2024.12.01.\)](#)
- [5] [Dynamic electricity pricing explained – gridX, \(2024.12.01.\)](#)
- [6] [70/2009. \(XII. 4.\) KHEM rendelet - Nemzeti Jogszabálytár, 70/2009. \(XII. 4.\) KHEM rendelet a villamosenergia-piaci egyetemes szolgáltatás árképzéséről, valamint az egyetemes szolgáltatás keretében nyújtandó termékcsomagokról szóló 44/2008. \(XII. 31.\) KHEM rendelet módosításáról](#)

9. Ábrajegyzék

- 2.1. ábra payback hatás
- 2.2. ábra két terhelési csoport kapcsolási terve
- 3.1. táblázat kapcsolási tábla
- 3.2 Optimalizált kapcsolási tábla
- 4.2. ábra hőmodellek összehasonlítása
- 4.3. ábra optimalizált terhelési görbék

10. Hallgatói nyilatkozat

Alulírott Kőhegyi Nikolett nyilatkozom, hogy a tudományos diákköri dolgozat (TMDK) saját munkám terméke, a felhasznált irodalmat a tudományterületnek megfelelő módon kezeltem, az erre vonatkozó jogszabályokat betartottam. Az elkészült TMDK dolgozatban található eredményeket az egyetem saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Pécs, 2024. december 4.

Handwritten signature of Kőhegyi Nikolett in blue ink, written over a dotted line.

Hallgató aláírása