



SZAKDOLGOZAT

ÓE-KVK

Hallgató neve: Bollók István Ákos

2021.

Hallgató törzskönyvi száma: T009119/FI12904/K



SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Bollók István Ákos

Szakdolgozat száma: SZD21090213457399

Törzskönyvi száma: T009119/FI12904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: Villamosmérnöki

Specializáció: Villamosenergetikai specializáció

A dolgozat címe: Napelemes energiatermelés esetén alkalmazható feszültségszabályozási lehetőségek kis- és közép feszültségű hálózatokon.

A dolgozat címe angolul: Voltage control options on low and medium voltage networks for solar power generation.

A feladat részletezése:

1. HMKE-k Magyarországon, trendek és klímavédelem
2. Napelemes erőművek által okozott zavar a villamosenergia-ellátásban
3. KIF és KÖF hálózatok kompenzálása
4. Transzformátorok üzemvitele
5. Napelemes rendszerek konklúziója

Intézményi konzulens neve: Dr. Morva György Ádám

A kiadott téma elévülési határideje: -

Beadási határidő: 2021.12.15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2021.12.10.

PH

.....
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

.....
belső konzulens

.....
külső konzulens

Dátum: 2021.12.10.



HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2021.12.10.

.....
Hallgató aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	6
1. HMKE-K MAGYARORSZÁGON, TRENDEK ÉS KLÍMAVÉDELEM.....	7
1.1. Trendek és klímavédelem	7
1.2. Klímavédelem szükségessége	8
1.3. A fukusimai atomerőmű-baleset és következményei	11
1.4. Németország gazdasági szerepe.	13
1.5. HMKE-k Magyarországon.....	14
2. NAPELEMES ERŐMŰVEK ÁLTAL OKOZOTT ZAVAR A VILLAMOSENERGIA- ELLÁTÁSBAN.....	20
2.1.Napelemes HMKE-k által okozott zavar.....	20
2.2. Inverter és szinkrongenerátor	21
2.3. Szinkrongenerátor zárlata és tehetetlenségi nyomatéka	22
2.4. Fotovoltaikus erőmű az időjárásfüggő megújuló	24
3.KIF ÉS KÖF HÁLÓZATOK KOMPENZÁLÁSA	28
3.1. KIF hálózati üzemzavar	28
3.2. KIF hálózat számítása	30
3.3. KIF hálózat $U(Q)$ kompenzálásra alkalmas inverter segítségével.....	33
3.4. Felharmonikus zavarok	36
4. TRANSZFORMÁTOROK ÜZEMVITELE	39
4.1. Alállomások üzemvitele és problematikája.....	39
4.2. KÖF és KIF hálózatok topológiája.....	42
4.3. KÖF/KIF transzformátor fokozatállítása.....	43
4.4. Napelemes energiatermelés által okozott változó energiáirányok	45

5. NAPELEMES RENDSZEREK KONKLÚZIÓJA	47
5.1. A helyben előállított és felhasznált villamosenergia előnyei	47
5.2. Visszwatt védelmes napelemes rendszerek	49
5.3. Energiatárolók KIF-en	51
5.4. Értékelés.....	52
ÖSSZEFOGLALÁS	54
SUMMARY	55
HIVATKOZÁSOK	56

BEVEZETÉS

Az utóbbi időben a klímavédelem és az energiahordozók csökkenése miatt egyre jobban előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások. Gazdasági számítások szerint a napelem a leginkább preferált megújuló az egyszerű kivitelezése és a gyorsan megtérülő tulajdonsága miatt. Éppen ezért a kormányok - gazdaságpolitikai stratégiájuk által - sok háztartási és erőművi támogatást adnak napelemes erőművek telepítésére. A növekvő napelemes erőművek szakmai kihívást teremtenek minden szempontból. Ez a fejlődés mindenféleképpen érdekel. Szeretném a témakört körbejárni.

A napelemes erőművek a leginkább mainstream témák egyike, foglalkozni kell vele, mert kicsit úgy érzem, mint az idegennyelv-tudást: egy magát komoly embernek valló személynek tudnia kell a mainstream tendenciákról. Főleg ha egy műszaki emberről beszélünk. A társadalmi és szellemi háttér hiányát leküzdeni csak a folyamatos fejlődéssel lehet, vagyis ha az ember állandóan kíváncsi arra a világra, amely őt körbeveszi. Dolgozatom nem szükségszerűen oldja meg Magyarországot villamosenergia-ellátását, de egy remélhetőleg jó áttekintést ad. Sajnálatosan még nem dolgozom a szakmában, tehát a szellemi háttérrel korlátozottan ad lehetőséget a feladat átlátásának, elemzésének és megoldásának.

Nyilván itt a témakör nem más, mint a hagyományos fosszilis energiahordozókról áttérni a megújuló energiákra, ami napelem esetében időjárásfüggő. Szerteágazó kihívásokat ad a jövőben akár az energiatárolás, akár a menetrend szerinti villamos energiának vételezése. Sok lehetőséget rejt az elektromos úton történő hidrogén előállítása, tárolása. Bár ez a fajta hidrogén előállítás még igen költséges, és a gépjárművek számára való tárolása is még igen nem megoldott.

1. HMKE-K MAGYARORSZÁGON, TRENDEK ÉS KLÍMAVÉDELEM

1.1. Trendek és klímavédelem

Az utóbbi 10 évben egyre fokozódik a politikai akarat és a döntéshozók határhajlandósága a károsanyag-kibocsátás csökkentésére. Az indokok között a legerősebb érv a klímavédelem, a környezetünk megóvása, veszélyes események, például atomerőmű balesetek elkerülése. Az általános klímavédelem elsősorban az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére irányul, mint például a szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid, ózon.

A tudósok szerint az üvegházhatású gázok az infravörös hullámhosszúságú fényt elnyelik, majd kisugározzák magukból az energiát, így melegítve a Földet és a földi légkört. Bár az üvegházhatásnak jótékony hatása is van, például a légkör hőmérsékletét szabályozza, és az üvegházhatású gázok nélkül jelentősen hidegebb lenne a földi légkör. A következő károsanyag a kén-dioxid, amely nagyon veszélyes az élő szervezetekre, a légzőszervi megbetegedések fő okozója, a savas esőt is a magas kén-dioxid tartalom okozza. Az üzemanyagok esetében törvényileg már a 2000-es évek közepén minimalizálták a kén tartalmukat. Egyes kutatások alapján az üvegházhatású gázok nem olyan mértékben befolyásolják a földi légkör hőmérséklet-emelkedését, ahogyan az előtérbe van helyezve, vagyis nincs kritikus hatással ezen gázok a Föld éghajlat-, és klímaváltozására. Természetesen a károsanyag az károsanyag, és a kibocsátásukat mindenféleképpen csökkenteni kell.

Az autók kibocsátását is mérsékelik a jogalkotók, illetve az autógyárak. Talán a legelső dolog, amihez hozzányúltak a károsanyag-kibocsátás érdekében. 1992-ben hozták létre az akkori EGK tagországai, vagyis az Európai Unió egyik jogelődje az autókra vonatkozó kibocsátási normákat. Az európai kibocsátási normák azóta egyre szigorúbban kötelezik környezetvédelmi előírások betartására és csökkentésére az autógyártókat itt Európában. A több mint 30 év alatt rengeteget szigorodtak a kibocsátási határértékek, illetve sokkal részletesebben analizálják és szigorúbban szabnak gátat az egyes veszélyes gázok kibocsátásának. Többnyire a szén-dioxid, a szén-monoxid és a különféle nitrogén-oxidok mennyiségét vizsgálják a kipufogógázban, amit gramm/km-re adnak meg. Ez egy határérték, ami alatt kell tartani a kibocsátást az autógyártóknak, ha az adott besorolásnak megfelelő

normába akarják sorolni a gépjárműveiket. Jelenleg az Euro 7-es szabványoknál járnak az európai jogalkotók, illetve az autógyártók. Várhatóan ez a 7-es szintű Euro-norma lesz az utolsó képkocka a belsőégésű motorral meghajtott személyautók tekintetében. A teherautók gyártásában és kibocsátási szabályozásában nem szükségszerűen lesznek olyan szintű változások, mint személyautók esetében. A hagyományos, vagyis a fosszilis energiahordozókkal nem csak az a baj, hogy elégetésükkel sok károsanyagot bocsátunk ki, hanem az is, hogy lassan termelődnek újra.

Emberi léptékkal számolva a primer energiahordozók nem termelődnek újra, tehát a Föld nem tudja reprodukálni ezeket az energiákat. Be kell látni, hogy a szénhidrogének esetében végesek a készletek, egyes elemzések szerint a fosszilis energiák maximum 40-50 évig elegendőek. Viszont a megújuló energiák közel korlátlan mennyiségben rendelkezésre állnak. A véges fosszilis energiahordozók tekintetében fontos, hogy egy ország vagy éppen egy régió milyen energiastratégiát folytat, milyen energiamixre törekszik.

Egy gazdaságnak energiára van szüksége, viszont az áttérést meg kell tudni valósítani. Ez igaz energetikai szempontból és gazdasági szempontból is. Kicsit olyan a helyzet, mint a kecske és a káposzta esetében. A sürgető tényező nem csak a klímavédelem, hanem az is, hogy az energiákat egyre költségesebb kitermelni. Tehát ugyanannyi energia kinyeréséhez több energiát kell befektetni. Nyilván az energetikai cégek előbb-utóbb a plusz költségeket a fogyasztókra, illetve a vásárlókra fogják hárítani.

1.2. Klímavédelem szükségessége

Sokan kritikával illetik a túlzott klímavédelmet, miszerint a környezetünk egy nagy globális rendszer, amelyből, ha kiemeljük például a szén-dioxidot, akkor egy nagyon veszélyes anyagra találhatunk, amit mindenáron csökkenteni kell. Viszont például éppen a szén-dioxid, egy nagy egység összetevője és energiája, aminek körforgása és benne lévő energiája biztosítja a földi életet, mint a rendszer működését. Ha így tekintünk a szén-dioxidra, akkor rájöhethetünk, hogy a természetben is nagymértékben előforduló anyag nem szükségszerűen valós veszély. Csak az a szemét, illetve a károsanyag, amit a természet nem tud egyből felhasználni. Ennek ellenére a kén-dioxid és a többi károsanyagok valós veszélyek. Nem a kibocsátás csökkentése ellen irányulok, hanem a sokszor meggondolatlan klímavédelmi tetteket bírálom.

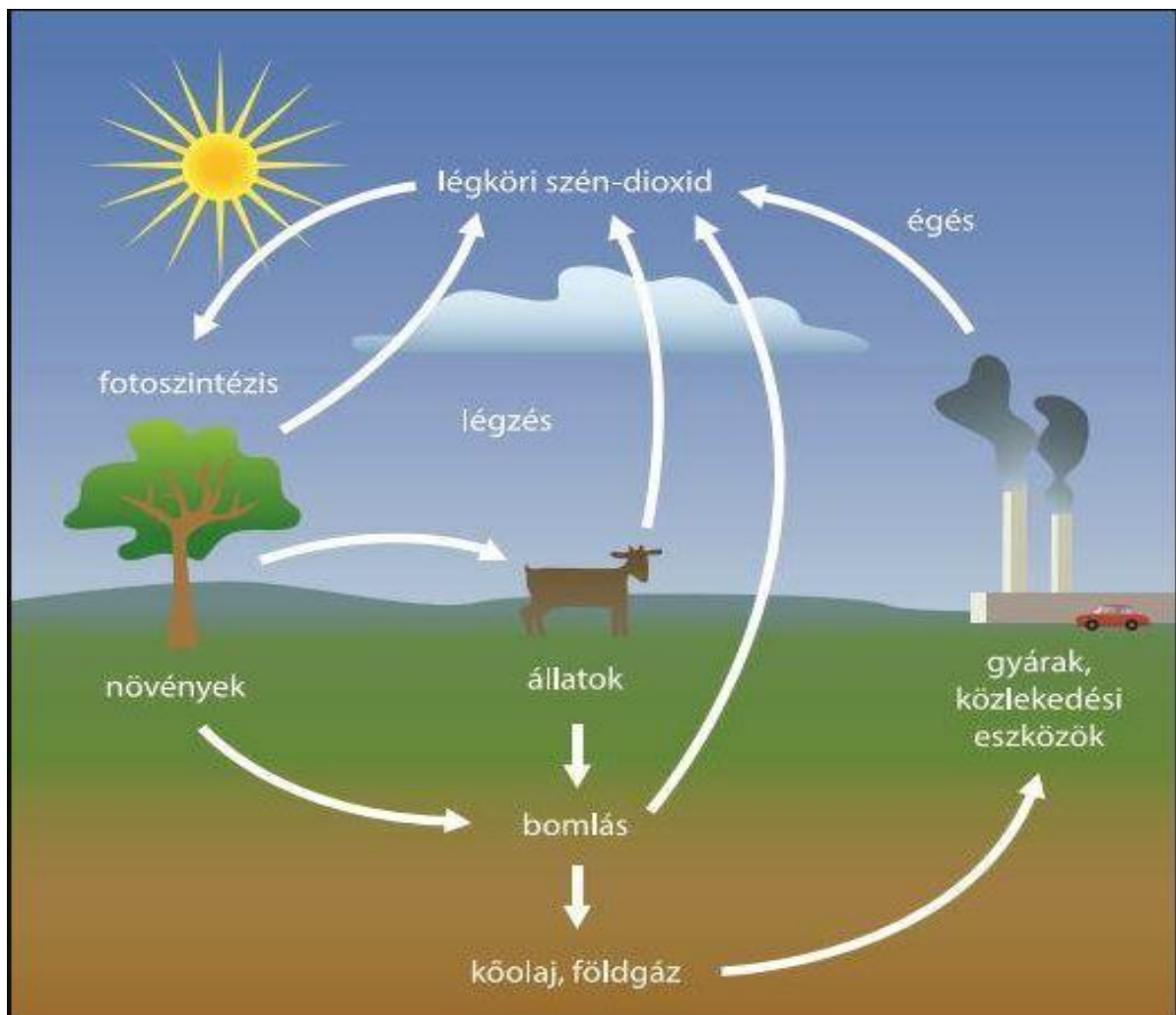
Az előbb említettük, hogy a természet számára az a károsanyag, amit nem tud egyből feldolgozni, illetve beépíteni saját maga rendszerébe, és nem tudja az energia körforgásába integrálni az adott anyagot. Erre jó példa az ember városi léte, ivóvízzel öblítjük le a mosdót, ami sajnos már vidéken is így történik. Az emberi ürülék és vizelet nem szemét – megvan a maga helye a természetben - de ha ivóvízzel leöblítjük és kiküldjük a lakóterületeken kívülre, akkor szemetet, illetve plusz energiát így még több károsanyag-kibocsátást hozunk létre. Tehát a természet energia körforgásába egy rövidzárlatot hozunk létre, így nem tud áramolni a természetben az energia. Sok esetben a klímavédelmi cselekvés sok pénzt emészt fel, és azt vesszük észre, hogy eredménye nincs, csak egy helyben toporgás. Ezért, mivel minden anyagi javak és jóságok főként a pénz, potenciálnak számít, vagyis a világunk csereeszköze, így könnyű belátni, hogy a pénz maga az a materiális anyag, amiből az emberek közvetlenül tudnak készterméket, szolgáltatást és főként energiát vásárolni. Tehát a pénz az energiára mutató materiális mennyiség, ami energia nyilván károsanyag-kibocsátást eredményez. Ezt az energiát kell zöldebbé tennünk, hogy a vele előállított késztermékek és szolgáltatások közben a környezetünket és az emberi egészségünket minél inkább megóvjuk.

Ha kritikai gondolkodással gondolkodunk, akkor több kérdést is felvetnek a klímavédelmi intézkedések. A pénz valamilyen szinten egyenlő károsanyag-kibocsátással, ezt megbeszéltük. Viszont a politikusok előszeretettel próbálják a társadalmakra, vagyis a háztartásokra ráerőltetni a globális éghajlatváltozás okait és terheit. Itt véleményem szerint három kérdéskör vetődik fel:

- A tengeri szállítmányozás többnyire kétütemű dízelmotorokkal történik, ami rengeteg káros anyagot bocsát ki a környezetbe, amely gépek rendkívül alacsony minőségű kőolajszármazékokkal üzemelnek, itt Euro-normákról nem is beszélhetünk.
- A repülők, vagyis légi forgalom is rengeteg károsanyagot bocsát ki a környezetbe, plusz a leszállás előtt az üzemanyagjuk nagy részét is kiengedik. Ezek az úgynevezett kondenzcsíkok közvetlenül károsítják az emberek és a környezet egészségét, biodiverzitását és a földi élet energiáinak körforgását.
- A törvényhozók rendszerint a lokális károsanyag bocsátást szeretik csökkenteni, ha a távoli országokban súlyos környezetszennyezés által termelnek meg késztermékeket vagy szolgáltatásokat, akkor azzal általában nem foglalkoznak,

és nyugodt szívvel vásárolják meg a törvényhozó politikusok és gazdasági szereplők azokat a termékeket.

Nyilván az egyszerű ember kettős mércét érez, mikor a politikusok és a jogalkotók a környezetterhelő emberi magatartások okait a háztartásokra, vagyis a dolgozó emberekre akarják ráerőltetni. Nem célozom senkit sem okolni, még a bankokat sem, akik a rengeteg pénzt és energiát forgalomba hozzák egyfolytában, sem a jogalkotókat sem a politikusokat. Azért nem, mert most olyan időben élünk, ahol a túlélés érdekében legjobb döntés a kompromisszum és az együttműködés. Energetikánk, gazdaságunk és életünk átmentése a



jövőbe a legfontosabb.

1.2.1. ábra Energia körforgása, forrás: internet

Az ábrán látható az energia körforgása, szükségszerűen a szén-dioxidot nem a legveszélyesebb károsanyagok közé sorolnám, és nem is a szarvasmarhák metán kibocsátása miatt érezném felgyorsultnak Földön az éghajlatváltozást.

1.3. A fukusimai atomerőmű-baleset és következményei

A baleset 2011. március 11-én történt egy földrengés következtében. A földrengések még nem tettek kárt az erőműben, bár voltak reaktorok amik automatikusan leálltak, viszont a rengések által létrejövő árhullám 14-15 méteres magasságával megrongálta a létesítményt. A probléma négy fő részre osztható:

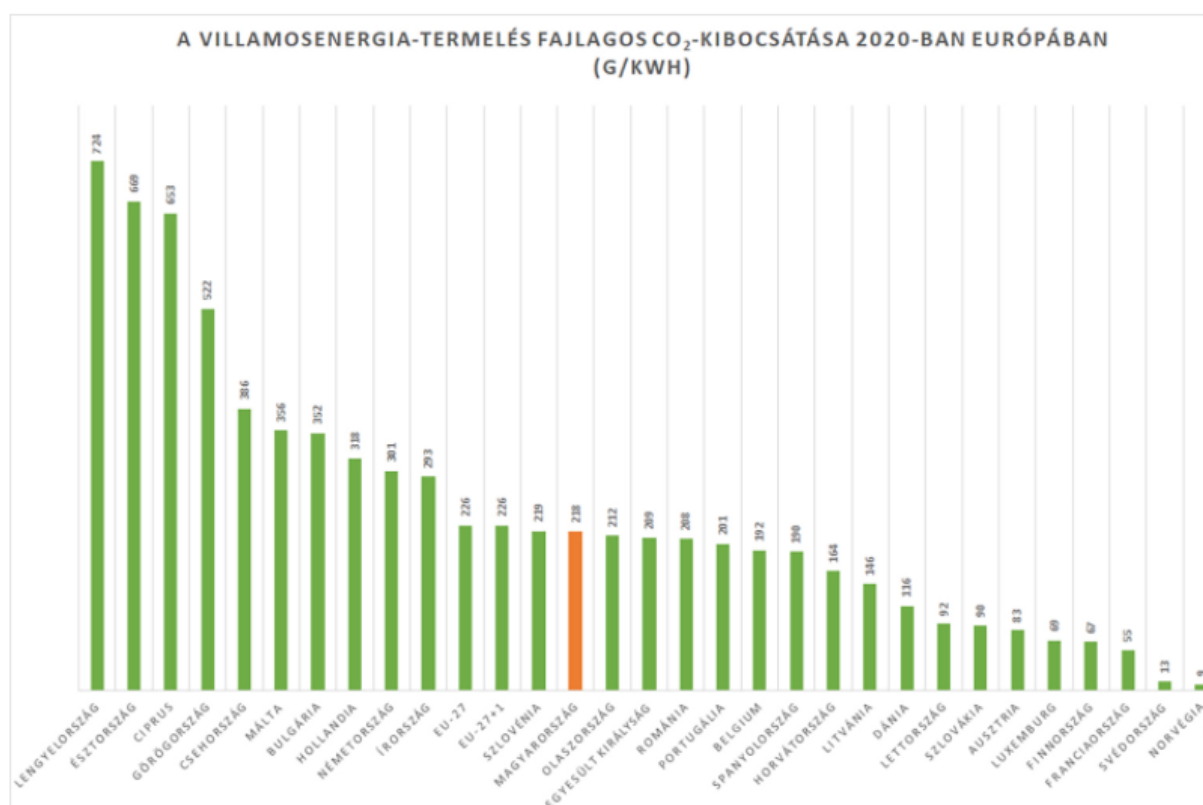
- Cunami védelmi szempontból csak a fele magasságra volt biztosítva a létesítmény.
- Az árhullám elmosta a külső hűtőberendezést.
- Segédüzem dízelaggregátorai a földfelszín alatti helységben voltak, amelyeket elárasztott a víz, így vészüzemben nem tudtak működni, emiatt nem tudtak a vészüzemi vízszivattyúk megfelelő mennyiségű hűtővizet szállítani a reaktorokba, illetve a hőcserélőkbe.
- Szabályzórudak valami hiba miatt nem zuhantak be a reaktorba. A bór rudak szintjeinek szabályozásával lehet a neutronokat elnyelelni, illetve a láncreakciót leállítani. Ez vészüzemben automatikus beleesik a reaktortérbe, és leáll a maghasadás, több neutron nem tud létrejönni a láncreakcióhoz. De ez itt nem történt meg.

Ez a négy tényező hozta létre a balesetet. A helyzetet még súlyosbította, hogy a reaktortér alatt nem volt zónaolvadék csapda, tehát amikor a reaktorok elérték azt a kritikus hőmérsékletet nem csupán felrobbantak, hanem a reaktortartályban lévő radioaktív anyagok kiolvastották magát a tartályt, de még a konténment acél és vasbeton szerkezetét is átolvastották. Így a radioaktív anyag szabadon érintkezett a környezettel. Ami szivárgást a japán szakemberek azóta sem tudták teljesen elhárítani.[1]

A dolog érdekessége, hogy a baleset előtt izraeli tudósok és mérnökök végeztek munkát az atomerőműben, teljes mértékben nem zárható ki a felelősségük, pontatlan munkájuk is lehet oka az atomerőmű balesetnek, mivel a védelmi funkciók nem 100%-osan működtek.

Azóta Japánban, Németországban és egyes nyugati országokban lévő zöld párti politikusok hevesen tiltakoznak az atomenergiával szemben. Ezen politikusok, illetve

jogalkotók az atomerőművek bezárását mint fő célt alakították ki, illetve helyettük hőerőművek szabad kapacitásait állították rendszerbe. Főként Japán és Németország revízió alá veszi az atomerőműveket, és ha nem találják megfelelőnek, akkor leállítják azokat, vagy időpontot szabnak meg, ameddig üzemeltethetők. A zöld párti politikusok szerint a leginkább környezetszennyező energiatermelés az atomenergiával kapcsolatos. Viszont a kutatások és felmérések alapján azok az országok, akik termelésük egy nagyobb részét atomerőművel és vízerőművel biztosítják, éppen ezért sokkal kevesebb szén-dioxidot bocsátanak ki, mint például Svájc és Franciaország.



1.3.1. ábra: Energiatermelés CO₂ kibocsátásának tartalma (forrás: ember-climate.org)

Azok az országok, amelyek energiamixében kevés atomenergia forrás van, ott relatíve nagy szén-dioxid-kibocsátásról beszélhetünk, mint például Lengyelország esetében. Németország is relatíve fajlagosan sok szén-dioxidot bocsát ki, éppen az atomerőművi kapacitás hiánya és a hőerőművek alkalmazása miatt. Belátható, ahol nagy kapacitással vannak jelen az atomerőművek a villamosenergia-ellátásban, ott sokkal kevesebb szén-dioxid kibocsátás van. Megújulók miatt nagy villamosenergia-exportőr Németország, de amikor nem áll rendelkezésre megújuló, akkor a hagyományos széntüzelésű hőerőművekre támaszkodik,

illetve a francia és más országokból érkező importra. Kőd a legveszélyesebb, mert akkor nem süt a nap, de nem is fúj a szél, kevés a megújuló energia. A Német Statisztikai Hivatal (Statistisches Bundesamt) szerint 2020 első felében Németország a villamosenergia-termelés 58%-át megújulóból fedezte. Viszont importra is szüksége volt, ami 25,7 TWh volt, aminek csak az 1/3-a érkezik Franciaországból. Érdekességképpen a német export 33,6 TWh volt az év első felében. Az adatok a [pv-magazine.de] internetes felületéről származnak, a Német Statisztikai Hivatal által közzétett adataiból hivatkozva.

1.4. Németország gazdasági szerepe.

Mivel Németországa az Európai Unió legerősebb gazdasága, így minden tagállamnak valamilyen szinten mérvadó a német stratégiai irányvonal. Tekintettel arra, hogy az USA-nak a dollár ugyanolyan fizetőeszköz, mint Németországnak az euró, valamilyen szinten a gazdasági fölényben lévő országokhoz vándorolnak vissza a közös pénzek. A közös fizetőeszköz, mint egy nagy visszacsatolás áramlik vissza a legerősebb gazdaságba. USA hosszú évtizedekig tudta tartani, hogy aki kőolajat szeretett volna vásárolni annak először az USA dollárt kellett megvásárolnia. Günter Oettinger Európai Unió közös költségvetéséért felelős biztosa 2017-ben adott interjújában azt mondta, hogy Németország nem szükségszerűen nettó befizető, hanem haszonélvezője a kohéziós pénzek rendszerének.

„A költségvetési politikát nem szabad politikai szankciók kiszabására használni. A strukturális alapok a gyenge régiók versenyképesebbé tételét szolgálják. És az EU által Lengyelországnak juttatott euró nagy része visszakerül Németországba. A lengyelek a pénzt a német építőiparnak történő megrendelésekre, német gépek és német teherautók vásárlására fordítják. Tehát az olyan nettó befizetőnek, mint Németország, érdeklődniük kell a strukturális alapok iránt. Gazdasági szempontból Németország nem nettó befizető, hanem nettó kedvezményezett.,,

Az interjút a német Handelsblatt internetes média saját felületén 2017.02.28-án jelentette meg. Ez a pénzvisszáramlás közgazdaságtani tény, ami nem csak a kohéziós pénzekre igaz. Tehát elmondható, hogy Németország Európa vezető gazdasági hatalma, az ő gazdaságpolitikája és döntéshozása hatással van az egész kontinensre, illetve az egész világra.

Viszont a német gazdaság az utóbbi években meggyengülni látszik. A német gazdaság pozícióinak meggyengülése három fő ok miatt következett be:

- Német autóipari cégek elleni negatív kampány, például a Volkswagen 2015-ös emissziós botránya és büntetése.
- Német bankszektor gyengülése, a pénzügyhöz értő kollégák szerint a bankrendszer nagyon meggyengült az elmúlt pár évben.
- Az energetikai válság, túlzott megújuló energiaforrások erőltetése, illetve az oroszországi gázszerződések szükségességének felülbírálása, illetve lemondása.

A gazdaság működtetéséhez szükség van stratégiára, energiastratégiára és pénzre. Ha bármelyik összetevőt kivesszük, akkor könnyen az adott országot, de előfordulhat, hogy az egész régió instabilitásba kerül. Egy ország vagy éppen egy régió sikerességéhez tisztán kell látni és dönteni a gazdasági és az energetikai kérdésekben is. Német politikusok nem mindig a legjobb stratégiát alkalmazzák, viszont a pénzviasszáramlás következtében mégis kisebb az esély a gazdasági bukásukra.

1.5. HMKE-k Magyarországon

Bárki létesíthet és csatlakoztathat a KIF hálózatra HMKE-t, aki megfelelő KIF csatlakozási ponttal rendelkezik, minimum nappali tarifán vételez, nem ügynevezett előrefizetős mérővel rendelkezik, és maximum 50kVA teljesítményt vételez. Az „Új termelő kapacitások létesítése” fejezetben pontosan meghatározza a 2007. évi villamos energiáról szóló LXXXVI. törvény 7. §-a, hogy milyen feltételei vannak az új termelő egységek villamos hálózatba kötésének és létesítésének.[2]

Nyilván ez függ a terület egyetemes szolgáltatója által igényelt műszaki és jogi feltételeitől. Elviekben minden egyetemes szolgáltatást igénybe vevő fogyasztó jogosult HMKE létesítésre. Igénybejelentést követően 30-60 nap alatt kell engedélyezni a szolgáltatónak. A törvény a 9. §-ban további rendelkezéseket ad a „A megújuló energiaforrásból és a hulladékból nyert energiával termelt villamos energia termelésének elősegítése” érdekében.

A fogyasztót elvileg nem lehet szabályozni, vagyis a fogyasztót nem érheti semmilyen hátrány vagy hátrányos megkülönböztetés. De sokszor tapasztalhatják azt a háztartások, hogy valamiért a villamosenergia-szolgáltató mégsem át zöld utat a hálózatra tápláló HMKE-nek. A

termelőegység engedélyeztetése és a hálózatra való kapcsolása ingyenes. A telepítés költségeiről pedig csak a kivitelező tud megfelelő információt adni. Akkor lehet költségtöbblettel számolni, ha a mérőhelyet korszerűsíteni kell, ilyenkor csak regisztrált villanyszerelő végezheti el a szükséges szereléseket.

Csatlakozási dokumentációt a kivitelező cég készíti el, amely tartalmazza a kialakításra, védelemre, üzemeltetésre irányuló műszaki információkat. A csatlakozási dokumentáció alapján a szolgáltató eldönti az adott HMKE berendezés és a mérőhely csatlakoztatható-e a közcélú hálózatra. Ezt a műszaki dokumentációt csak villamos tervezői jogosultsággal rendelkező kollega készítheti el. A dokumentációt szükséges ilyenkor elküldeni a szolgáltatónak, az engedélyeztetés és az üzem behelyezés érdekében. A HMKE-ről szóló általános jogi- és műszaki tartalmakat az eon.hu internetes oldaláról szereztem meg.

Tehát jól látható, hogy a fogyasztót semmilyen költség nem terheli, ha HMKE rendszerét szeretné engedélyeztetni és a villamos hálózathoz szeretné csatlakoztatni azt. Csupán a fogyasztóknak olyan kivitelezőt kell választani, aki a szolgáltató által támasztott jogi és műszaki feltételeknek megfelel. Fogyasztónak még az ad-vesz mérőt sem kell kifizetni, mivel az a szolgáltató tulajdonát képezi. Magyarországi HMKE-k esetében jóformán csak napelemes erőművekről beszélhetünk.

A szélenergia, mint energiatermelő berendezés az egész országban korlátozva van, többnyire az állami döntéshozók miatt. Szélturbinákat nem lehet elhelyezni lakott terület közelében. 2011-ig bezárólag 330 MW szélerőmű teljesítményt helyeztek üzembe, azóta ezzel a teljesítmény kapacitással szerepelnek a magyar villamos energetikában. Ezen szélturbinák maximum 2 MW egységteljesítményűek. Mivel a magyar állami és önkormányzati rendeletek szerint szélturbinákat nem lehet a lakott területen belülre helyezni, ezért nem is lehet szélenergiás HMKE-ről beszélni. Már csak azért sem, mert például a 100m magas - Levél településen található - szélturbinák 2MW-os generátorokat tartalmaznak, amit valljuk be, igen nehezen lehetne 230/400V kisfeszültségű hálózatra csatlakoztatni. Alacsonyabb teljesítményű és magasságra is alacsonyabb turbinák nem hoznák azt a hatásfokot, mint egy magasabb. 2016. szeptember 15-ei kormányrendelet rendelkezik a szélerőművek telepíthetőségének lehetőségeiről, miszerint a lakosság által beépítésre szánt területtől 12 km-es védőtávolságot kell tartani, vagyis 10-szer nagyobb távolságot, mint ami a normál korlátozás volt. Ez a rendelkezés végleg kizárta a szélenergia hasznosításának lehetőségét Magyarországon. A

törvényi rendelkezést a 277/2016. (IX.15.) Korm. rendelet a szélerőművekre vonatkozó szabályok módosításáról jogszabály tartalmazza.

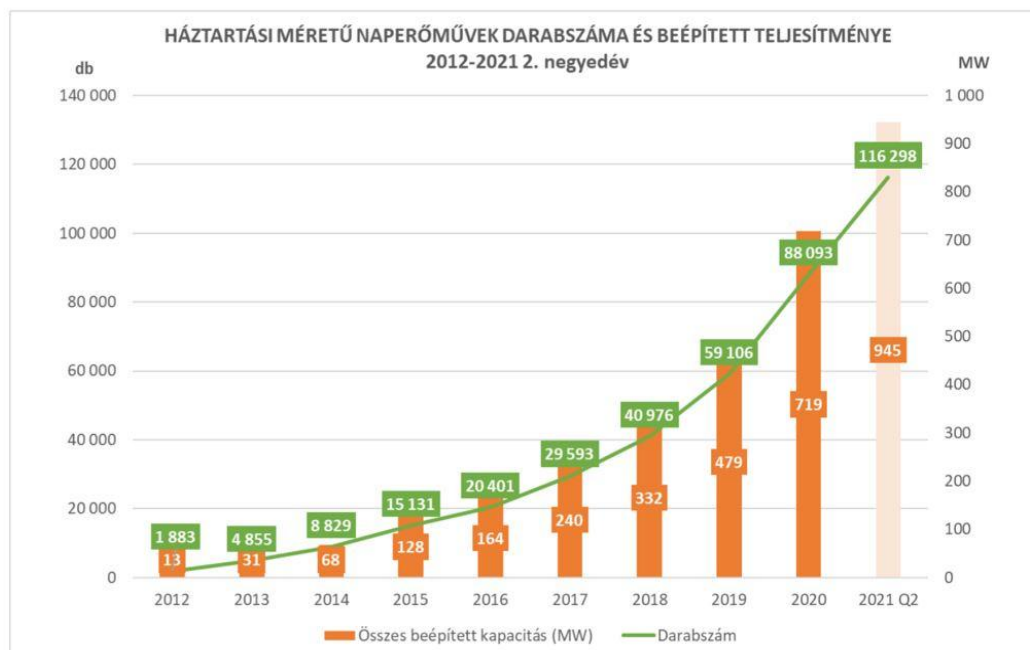
Vízerőművek ugyanúgy, ahogy a szélerőművek nem a HMKE kategóriába tartoznak. Jelenleg Magyarországon körülbelül 57 MW maximális teljesítmény kapacitással termelnek a vízierőművek. Sok kiaknázatlan potenciál van a vízenergia hasznosításában, viszont nagy a szembenállás a környezetvédők és a társadalom által. A Bős-nagymarosi vízlépcső (BNV) befejezését és üzembe helyezését például a magyar kormány 1992-ben a társadalmi elutasítottság miatt feladta. A folyami vízerőművek stabil és egyenletes energiát tudnak biztosítani. Alaperőműnek lehet tekinteni őket. A Bős-nagymarosi vízlépcső azért is szomorú történet, mert a szerződő felek befejezték a beruházást, és azóta majd 900 MW-al termelnek. (Bős 720 MW, Nagymaros 160 MW)

Tehát valódi háztartási méretű kiserőműről csak napeleemes rendszer esetében beszélhetünk. A bevezetőben, vagyis az Összefoglaló fejezetben már említettük a napeleemes HMKE-k előnyeit, most kicsit felelevenítjük:

- Környezetkímélő: a megújuló energiaforrásokon alapuló berendezések nem fogyasztják és nem terhelik a környezetet.
- Üzleti megfontolás: a HMKE szaldó elszámolással megtérülő beruházás.
- Üzemeltetés költségei igen alacsonyak: nem igényel tervszerű karbantartást.
- Alacsony telepítési és beruházási költség.
- Állami finanszírozások, akár 100%-os támogatás.

A gyors telepíthetőség, és a rövid távon megtérülő beruházás sok ember figyelmét felkeltette az utóbbi években. A támogatások mértéke akár 100% is lehet, attól függ, hogy az egyes háztartások milyen kedvezményre jogosultak, milyen pályázatot nyújtottak be. A pályázatok részletes kritériumai az mvmoptimum.hu-, de az eon.hu internetes oldalán is megtalálhatóak, a finanszírozó jogilag az Innovációs és Technológiai Minisztérium.

A NAPELEMEK TERJEDÉSE



1.5.1. ábra Napelem terjedése, forrás: Magyar Napelem Napkollektor Szövetség

Az MNNSZ által végzett felmérés nyilván nem csak a háztartásoknál lévő HMKE-ket tartja számon, hanem a cégek által telepített és ugyanúgy a KIF hálózatra kapcsolt termelő berendezéseket is. Jól látható a meredek növekedés, ami nem szimplán az új termelőegységek növekedését mutatja, hanem a bővítéseket is. Sok napelemes háztartási méretű erőmű tulajdonostól lehet hallani, hogy azt bányák, miért nem nagyobb teljesítményű erőművet telepítettek. Sok tulajdonos bővíti a meglévő rendszerét, vagy csak külön napelemmel, vagy ha kell, akkor napelem és inverter teljesítménnyel is. Tehát lehet számítani a közeljövőben a meglévő rendszerek bővülésében, vagyis nem szimplán új egységek csatlakoznak a KIF hálózatra, hanem a jelenlegiek is bővülni fognak.

2018-ban a Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont (REKK) által készített tanulmány szerint a PV erőművek üzemeltetése, illetve karbantartása a legolcsóbb, mivel kevés számú mozgó alkatrészt tartalmaznak.[3] Az általuk felhasznált, illetve az idézett kutatási eredmények szerint a fajlagos üzemeltetési költségek a beruházási költségek 1%-át teszik ki évente.

	Háztartási PV (5 kWp)		Kereskedelmi (PV 500 kWp)		Nagyüzemi PV (2 MWp felett)	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030
Beruházási költség, EUR/kWp	1143	1028	792	712	616	554
O&M költség, EUR/kWp/év	10	10	7	7	5	5
Kapacitás tényező, %	12,6					
WACC alapérték %	6,04					
Rendszer degradáció, %/év	0,5					
Csere inverter EUR/kWp	99	99	68	68	53	53
Hasznos élettartam, év	25					

1.5.2. ábra Napelemes erőművek jövőben várható beruházási- és karbantartási költségei [3]

A tanulmány táblázatában az 1kW-ra eső beruházási költségek szerepelnek. A tanulmány rengeteg sok adatot és információt tartalmaz, de most minket csak a napelemes rendszerek érdekelnek. Érdekes, hogy minél nagyobb rendszert tervezünk és hozunk létre, a beruházási költségek úgy csökkennek. Az O&M adatok éppen a karbantartási költségeket jellemzi, körül belül a beruházás évi 1%-val számol. De, ami még ennél is érdekesebb, hogy a jövőben valószínűleg olcsóbban fogunk tudni kivitelezni naperőműveket. A napelemes erőművek beruházási költségeit alapvetően három dolog határozza meg: napelem modulok, az inverter, és a telepítéshez szükséges segédanyagok. Ez a tanulmány 2018-as, tehát alkotói nem tudtak még a Covid-19 betegség által okozott gazdasági válságról, illetve az Európai Unió nyugati tagállamai által szorgalmazott energiadíjak emeléséről a karbonsemlegesség érdekében. Az energetikai adó minden bizonnyal át fogja variálni a megtérülési és a beruházási számításokat. Az adatok nem szükségszerűen determinált formában lesznek jelen a jövőben, de a számokból kiolvasható, hogy hosszútávon a napelemes rendszerek nemcsak zöldítik az energiatermelést, hanem az energiaárak csökkenését is előidézhetik. Viszont itt a lényeg, a károsanyagok kibocsátásának csökkentésében a napelem erőművek élen járnak.

A Mavir sajtóközleménye szerint a napelemes HMKE-k teljesítménye 945 MW volt 2021.07.01-én. Míg az ipari, tehát az 50kW-nál nagyobb erőművek esetében ez a teljesítmény 1677 MW volt. Tehát ma Magyarországon a teljes beépített fotovoltaikus erőművek csúcsteljesítménye több mint 2600 MW. Ez több mint a Paksi Atomerőmű jelenlegi 2000 MW teljesítménye. A célok között szerepel, hogy az ország 2030-ra elérje a 6000 MW-ot a megújulókból. Viszont, ha ez a tendencia folytatódik, akkor ez a szám 2025-re teljesülni fog.

Átlagosan Magyarországon 1 kW teljesítményű napelem 1259 kWh energiát állít elő évente. 6000 MW-ra átszámolva ez pontosan 7.5 TWh energia, ami Magyarország 44 TWh éves villamosenergia fogyasztásához képest 1/6-od része. Most a jelenlegi kapacitást tekintve, ha éves napelem termelést 3 TWh-nak vesszük, akkor az a magyar fogyasztásnak a körül belül 6.5 %-a.

2. NAPELEMES ERŐMŰVEK ÁLTAL OKOZOTT ZAVAR A VILLAMOSENERGIA-ELLÁTÁSBAN

2.1. Napelemes HMKE-k által okozott zavar

Az utóbbi években nagyon sok napelemes HMKE-vel rendelkező tulajdonos keresi fel internetes fórumokon a hasonló problémával küzdő embertársait. A modern inverterek monitoring programjaiból, illetve azok grafikonjaiból tökéletesen kiolvasható, mikor nem termel vagyis, mikor kapcsol le az inverter. A szakzsargon „túlfeszültség” miatt (grid voltage high) az inverter leáll, mivel nem tud a hálózatra feltáplálni. Ez a túlfeszültség nem villámcsapás vagy légköri eredetű túlfeszültség, de nem is a hálózaton átszaladó tranziens jellegű túlfeszültség. A hálózaton lévő túl magas AC miatt az inverter termelése veszélybe kerül. Ez a védelmi funkció, tehát a leállás elsősorban az invertert védelme, védi a lakásban lévő elektromos berendezéseket a túl magas feszültségtől. Illetőleg az is szempont, hogy az adott HMKE invertere a szomszédságában lévő elektromos eszközöket se veszélyeztesse. Tehát a feszültség beállítása korlátozott, nem lehet az inverter olyan szintre állítani, ami veszélyeztetné és élettartamukat lecsökkentené azon eszközöknek, amely a hálózatra csatlakoznak. Egyetemes kisfeszültségű szolgáltatás esetében a feszültség nem térhet el a 230V $\pm 10\%$ -tól. Ez azt jelenti, hogy a hálózaton lévő feszültség az inverter működése közben nem haladhatja meg a 253V-ot. A szolgáltató illetve az elosztó csak olyan invertereket enged alkalmazni a hálózaton, amely rendelkezik:

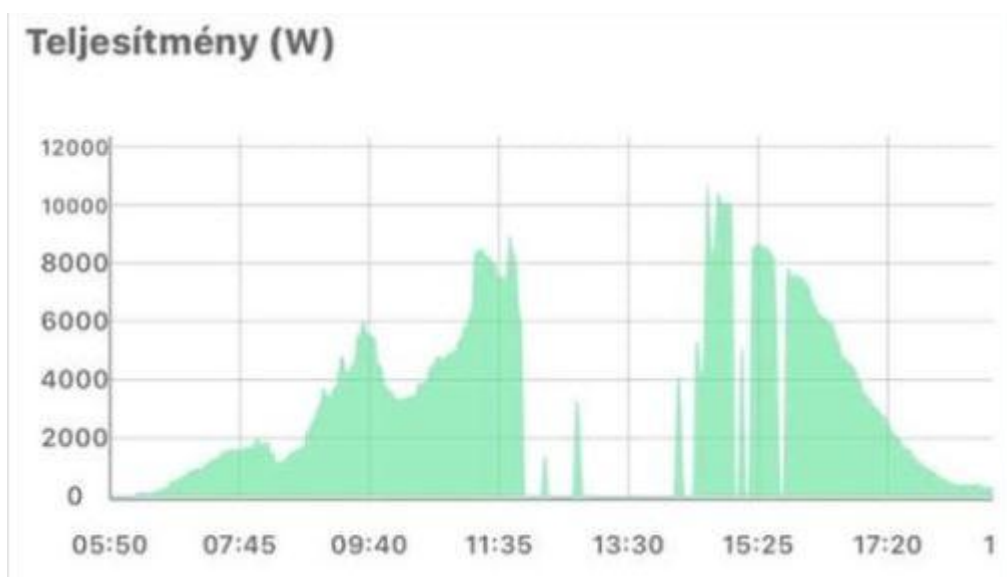
- Feszültségcsökkenési védelemmel: $1,00-0,7 U_n$, beállítandó érték $0,8U_n$ max 5 percig.
- Feszültségnövekedési védelemmel: $1,00-1,15 U_n$, beállítandó érték: $1,1U_n$ max 1 percig.

Az inverter olyan eszköz, amely zárlati áramot nem tud kibocsátani magából, csak a névleges áramának 110 %-át tudja táplálni zárlat esetében, de ennél nagyobb zárlati áramokat nem tud produkálni.

Műszakilag az inverter tudna magasabb feszültségen is dolgozni, például 260V vagy magasabb értéken, de ez több okból nem lenne praktikus:

- Gyenge hálózati struktúra feszültsége még magasabbra emelkedne.
- Háztartásban lévő eszközök élettartama nagymértékben lecsökkenne.

- Feszültségemelkedés a transzformátor által a KÖF oldalon is létrejönne.



2.1.1. ábra Inverter lekapcsolása, forrás: Napelem használók fóruma,

2.2. Inverter és szinkrongenerátor

Az előző fejezetben említettük, az inverter nem tud kibocsátani zárlati áramokat. Viszont a hagyományos generátorokat tartalmazó villamosenergia-rendszer sokkal jobban reagál a zárlatok hatásaira. Az inverter zárlatra táplálása nem haladhatja meg a névleges áram 110%-át. Egy generátor, vagyis egy hagyományos erőmű egy zárlat hatására nem egyből kapcsolja le magát a hálózatról, nem egyből szigeteli el magát a villamos hálózattól. (Ide nem sorolhatók a szélerőművek, mivel azok ugyanúgy inverterek segítségével hoznak létre 50 Hz-es váltakozó áramot, és segítségükkel csatlakoznak a hálózatra.)

Viszont szinkrongenerátort tartalmazó erőművi rendszert nem szükségszerűen kell azonnal leválasztani a villamosenergia-rendszerről. Inverter esetében egy zárlat vagy bármilyen okból történő leállás után előfordulhat, hogy több mint 1 perc múlva csatlakozik ismét a hálózatra és indítja újra a termelést. Esetlegesen egy feszültségesés, egy feszültségkimaradás, egy zárlat vagy bármilyen tranziens változás leállításhoz kényszerítheti az invertert. Az ellátásbiztonság szempontjából az inverternek relatíve sok idejébe telik, míg szinkronizál és újraindítja az energia feltáplálását a hálózatra. Szinkrongenerátor alkotta villamos hálózaton lévő üzemzavar esetén a visszakapcsoló automatikák segítségével akár pár

másodperc alatt helyreállhat egy zárlat okozta üzemzavar. Viszont, ha inverterekből álló hálózaton kialakul egy üzemzavar, azok nagy valószínűséggel lekapcsolnak, és akkor nem lesz fenntartható hálózat, össze fog zuhanni.

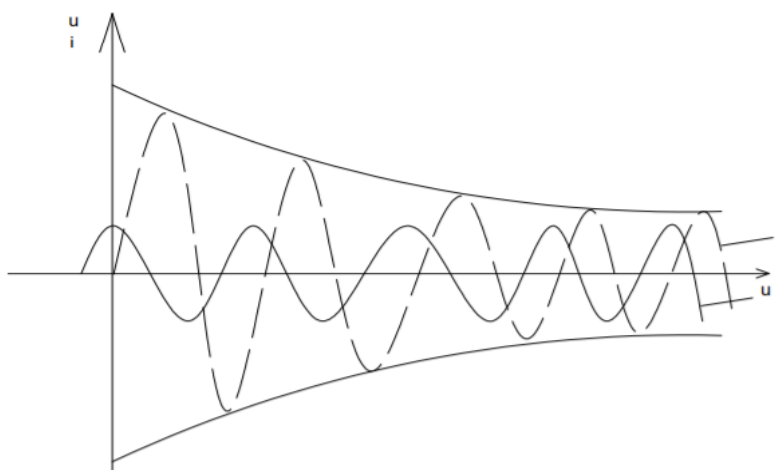
Az inverter a hálózati feszültség eltűnése esetén lekapcsol a hálózatról, ez egy védelmi funkció, hogy ha a hálózaton szerelési és más karbantartási munkálatok folynak, akkor senkit se érjen megrázó élmény. Tehát a napelem csak akkor tud termelni, ha van hálózati feszültség és tud mihez szinkronizálni. Inverterek hátrányai villamosenergia-ellátási szempontok alapján:

- Hálózati táplálás megszűnése esetén az inverter automatikusan és galvanikusan leválik a hálózatról.
- Zárlat esetén teljesítményének csak 110 %-át tudja táplálni.
- Szigetüzemben a legtöbb inverter nem képes működni.

Szinkrongenerátor zárlati teljesítménye: $s_{zg} = \frac{100}{\varepsilon_g} \cdot s_{ng}$.

Egy átlagos szinkrongenerátor dropja 9 körül van, tehát a zárlati teljesítménye 11-szeres a névleges teljesítményéhez képest, ami az inverter 1,1-es értékéhez képest pontosan 10-szeres.[4] Ez a zárlati teljesítmény csak pár pillanatig releváns. Nyilván ez KIF-en nem mérvadó összehasonlítás, de ezt a fajta inverter hátrányt jól illusztrálja.

2.3. Szinkrongenerátor zárlata és tehetetlenségi nyomatéka



2.3.1. ábra Szinkrongép hirtelen háromfázisú szimmetrikus kapocszárlata [4]

A 2.3.1. ábrán a szinkrongép hirtelen háromfázisú kapcsolárlatának áramgörbéje látható, ami természetesen szimmetrikus lefolyású. [4]

Az állórész tekercselés ellenállása elhanyagolható, ezért a zárlati áram tisztán induktív lesz. Mivel a zárlati áram - a kis eredő reaktancia miatt- nagy, ezért nagy lemágnesező hatást fejt ki a forgórészre. Ez az armatúreakció a feszültség gyors letörését eredményezi, ami állandó reaktancia mellett a zárlati áram csökkenését idézi elő. A mérnöki modellezésben a feszültséget tekintjük állandónak és a reaktanciát pedig időben változónak. Az idővel exponenciálisan csökken a zárlati áram nagysága, majd beáll állandósult állapotba. Körül belül 3-4 periódus alatt beáll, tehát olyan 60-80 ms alatt. A zárlat olyan hatással van a generátorra, mintha egy nagy csőkulccsal szeretnénk lefékezni a generátor forgórészét, és úgy kényszerítenénk munkára.

A szinkrongép egy idő után állandósult állapotba kerül, és nem áll le, nem megy tönkre, elviseli rövid ideig a zárlati üzemállapotokat. A szinkrongenerátor X_d szinkron reaktanciája az üzemi reaktanciához képest a 200-250%-a, vagyis az állandósult zárlati árama fele a névleges üzemi áramnak. A generátornak robosztus méretei vannak, illetve nagy tehetetlenségi nyomatéka. A tehetetlenségi nyomaték tulajdonképpen azt jelenti, hogy egy forgó merev test szögsebességét mennyire nehéz megváltoztatni. Vagyis a tehetetlenségi nyomaték ugyanolyan mozgási energia, mint például egy egyenes vonalon haladó test mozgása. A tehetetlenségi nyomaték a tömeg és a forgástengelytől mért távolság négyzetének az eredménye. ($I = m \cdot r^2$)

Több együtt forgó eszköz tehetetlensége összeadódik, vagyis a tehetetlenségi nyomaték additív. Így van ez a generátorok esetében is, nem csak a generátori teljesítmények és tartalékok, de a generátori tehetetlenségi nyomatékok is összeadódnak, tehát sokkal stabilabb villamosenergia-ellátás hozható létre szinkron generátorok esetén. Feltételezzük, hogy az energiatermelésben a generátort gőzturbina hajtja meg, akkor a generátor és a turbina tengelyének súlyából adódó forgási energiák és a gőzben illetve gázokban tárolt energiák segítik kiegyenlíteni a rövid ideig tartó zárlati hatásokat. Fluxusállandóság elve alapján a mágneses mező, vagyis a fluxus is energiát tartalmaz, amely nem tud ugrásszerűen megváltozni, hanem csak az idővel arányosan. Tehát változáshoz idő kell, minden energia az idővel arányos. A zárlatokat egy idő után lekapcsoljuk, megszüntetjük, illetve a

visszakapcsoló automatikák (VKA) segítségével megszüntetjük. Sok esetben a zárlat magától képes elmúlni, ha a táplálást ki- és bekapcsoljuk. Ami történhet gyors (GVA) és lassú (LVA) visszakapcsoló automatikák segítségével.[5]

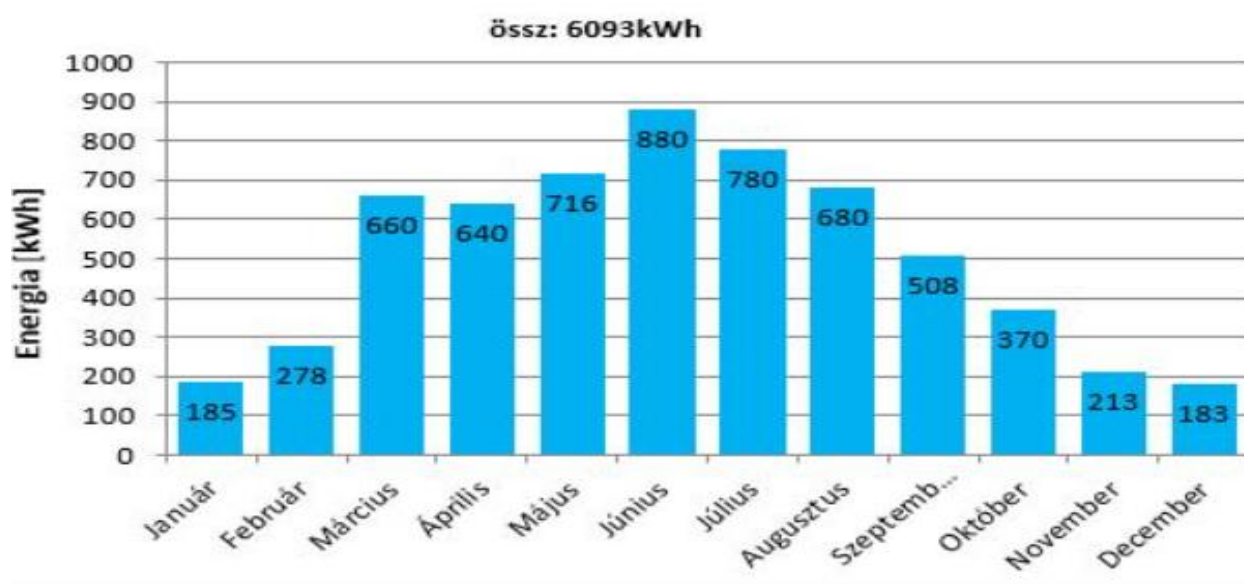
GVA és LVA is lehet egy és többlépcsős, nyilván többszöri visszakapcsolás akkor valósul meg, ha az első visszakapcsolás nem jár sikerrel és a zárlat még fennáll. Dr. Morva György Villamosenergia-ellátás II. Villamos védelem és automatika című munkája alapján a kooperációs hálózat előnye, az erőművek stabilitásának megőrzése, amely stabilitás fenntartása szempontjából a visszakapcsoló automatikáknak rendkívüli szerepe van. Az párhuzamosan járó szinkrongenerátorok adják a stabilitás gerincét. Cél, hogy a zárlat ne legyen tartós, pontosabban a zárlat romboló hatása ne érvényesülhessen, illetve a lekapcsolás olyan legyen, hogy az képes legyen megszüntetni a zárlatot. Az ellátásban létrejövő rövid feszültségmentes állapottal - holtidővel - működő visszakapcsolási módszereket általában gyorsvisszakapcsoló automatikáknak nevezzük. EVA vagyis az egyfázisú visszakapcsoló védelmi funkció rendkívül hasznos, mivel a hatásosan földelt csillagpontú hálózatokon előforduló FN zárlatok alakulnak ki a legnagyobb valószínűséggel, vagyis az esetek több mint 90%-ban FN zárlat jön létre. Az EVA ezt a zárlatos fázist detektálja és kapcsolgatja. Természetesen a HVA, vagyis a háromfázisú visszakapcsoló automatikánál jóval bonyolultabb, mert a hibás fázis megállapítása sokszor nem könnyű műszaki feladat. Az EVA alkalmazása a védelmekben jóval nagyobb ellátásbiztonságot ad.[5]

A napelemes erőművek inverterei nem tudnak zárlati teljesítményeket kibocsátani - ha a hálózaton zárlat áll fenn - hanem lekapcsolnak, ami növeli az ellátás bizonytalanságát. Ezek a napelemes erőművek ugyanúgy transzformátoron keresztül csatlakoznak a hálózatra, aminek nyilván van egy kis - a tekercsei által - tárolt plusz energia, de ez nem vethető össze a generátorok és gőzturbinák által tárolt energiával. A szinkrongenerátor gyorsrágerjesztése zárlat esetén rákapcsolja az egész teljesítményt a forgórész gerjesztésére, ami nem engedi leesni a generátor kapocsfeszültséget, és így teszi eredményesebbé az üzemzavar elhárítását, átvészelését.

2.4. Fotovoltaikus erőmű az időjárásfüggő megújuló

A megújuló energiaforrások egyik igen nagy hátránya az időjárás függése, sőt az évszak változásával is számolni kell. Az általános elv, hogy minden 1 kW villamos teljesítményű

napelem 1260 kWh energiát állít elő évente. Viszont az a gond, hogy nem lineárisan termel minden hónapban, és csak akkor, ha süt a Nap. Tehát borongós időben a beépített teljesítmény 3-5%-ra esik vissza a leadott teljesítménye a rendszernek. Szakemberek szerint polikristályos napelem például sokkal érzéketlenebb a borús időjárási viszonyokra, szórt fényben is képes előállítani áramot. Érzéketlenebb a tájolásra, a dőlésszögre, gyártása olcsóbb és egyszerűbb, előállításához kevesebb energia szükséges. Szélsőséges hőmérsékleti viszonyokkal szemben is strapabíró, akár -40 és a +80 Celsius fokot is elviselik a napelemek. Viszont hatásfoka alacsony, körül belül 14-16%. A monokristályos napelem drágább, jobb a hatásfoka, többet tud termelni. Többnyire olyan helyen érdemes alkalmazni, ahol sok a napsütéses órák száma, jó a napelemek elhelyezése, és az időjárásra nem jellemző a felhős-csapadékos időjárás. A szakértők szerint a monokristályos technológia telepítése drágább, de a megtérülése még így is rövidebb idő alatt realizálódik, arról nem is beszélve, hogy a kivitelezők sok esetben a monokristályos rendszerre hosszabb garanciaidőt adnak.



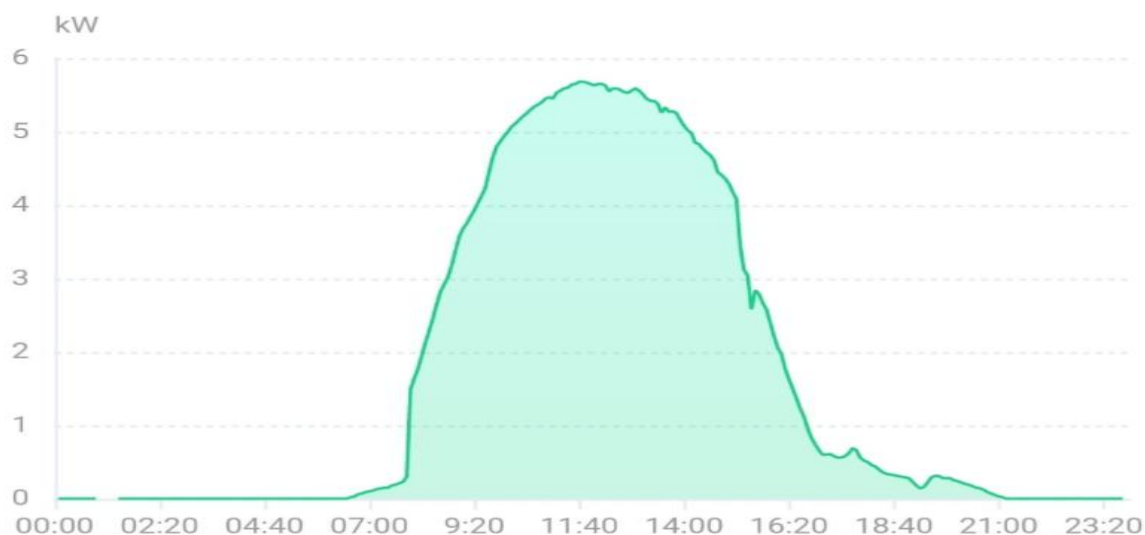
2.4.1. ábra 5 kW rendszer évi termelése havi lebontásban, forrás: Napelem használók fóruma, facebook.com

A 2.4.1. ábrán látható egy déli tájolású, 35°-os tetőn lévő rendszer éves termelése havi lebontásban. A rendszer egy 5 kW inverterből és 22 db 240 Wp táblából állnak, ami teljesítmény 5280 Wp-ra jön ki, de ez nem probléma, mert az esetleges többlet energiától az inverter még nem megy tönkre, csak levágja a teljesítménygörbe tetejét, tehát maximálisan 5 kW teljesítményt küld rá a hálózatra. A diagrammból kiolvasható, hogy a HMKE a

legkevesebb energiát a téli és a késő őszi hónapokban termelte, és kicsivel többet termelt márciustól szeptemberig. Nyilván a nyári hosszabb napok több napsütéses órát jelenthetnek, annak ellenére, hogy télen a hideg hatására javul a napelem hatásfoka. Nyáron magasabb pályát jár be a Nap, mint télen, így a napsütés is lényegesen több mint télen. Télen a napsugarak döntően déli irányból érkeznek, míg nyáron keletről nyugatig nagyobb ívet jár be a Nap, nem csak a déli sugárzás a hangsúlyos.

Yield **39.52 kWh**

● PV output power



2.4.2. ábra Átlagos nyári nap PV termelése, forrás: Napelem használók fóruma, facebook.com

A 2.4.2. ábrán egy átlagos nyári nap napelemes HMKE termelését láthatjuk. A termelés körül belül reggel 8:00 után indul meg, ami délután 18:00 után áll le. Tehát a termelés ez alapján 10 órán át történik kisebb nagyobb energia mennyiséggel, sok helyen a szerencsésebb tájolás és megfelelőbb dőlésszögnek köszönhetően egy nyári nap, akár 12-13 órán át tudnak termelni a napelemes erőművek. Viszont téli időszakban ez az idő lerövidül. Az előző ábra tanulsága szerint decemberben és januárban átlagosan 180 kWh körüli energiát tudott termelni az 5 kWp-os erőmű. Ez azt jelenti, hogy átlagosan napi 1.2-1.3 órát sugárzott tisztán a Nap, vagyis feltehetően egész nap borús lehetett az időjárás.

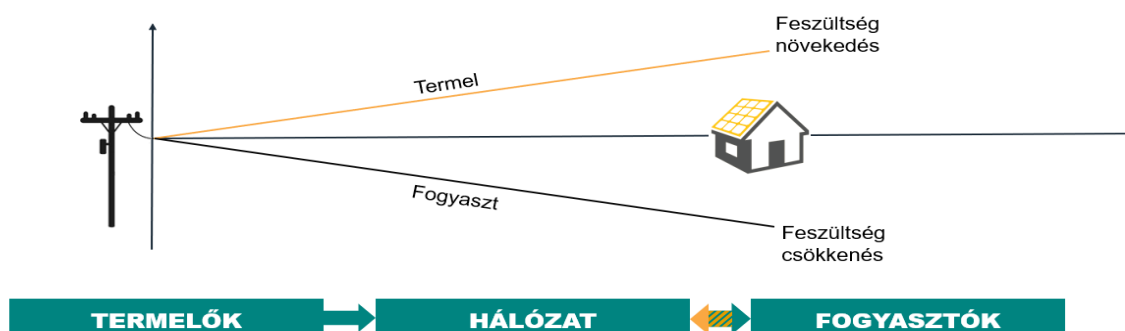
Az időjárásfüggő megújuló energiaforrásoknak ez az egyik hátránya, hogy télen mikor több energiára lenne szükségünk a fűtés és más eszközök működtetése miatt, nem termelnek eleget. Illetve, reggel a villamosenergia-fogyasztás csúcsidőszakában még nem, vagy túl

kevés áll rendelkezésre, és az esti csúcsidőszakban 19:00 után már egyáltalán nem áll rendelkezésre. Tehát a napelemes energiaellátás olyankor hagy cserben, amikor leginkább szükségünk lenne rá. Télen, a kutatások és tanulmányok szerint több szélenergia van, mint nyáron. Tehát valamilyen szinten érdemes lenne a kettő megújuló energiaforrást ötvözni.

3.KIF ÉS KÖF HÁLÓZATOK KOMPENZÁLÁSA

3.1. KIF hálózati üzemzavar

A HMKE OKOZTA KIHÍVÁSOK AZ ELOSZTÓHÁLÓZATON



MVM Hálózat

3.1.1. ábra Kisfeszültségű hálózat problematikája, forrás: MVM

Az MVM által készített kép nagyon jól illusztrálja a problémát. Fogyasztás esetén, a hálózaton a feszültség csökken, táplálás esetén a feszültség növekszik. Nyilván ezek a csökkenési és növekedési eltérések csak szélsőséges esetekben fordulnak elő, tehát nem alapeset, de amikor fennáll akkor igen kellemetlen. Kellemetlen, mert a HMKE-vel rendelkező tulajdonos nem tud termelni, a szolgáltató részéről pedig a fogyasztót semmilyen hátrány nem értheti. A nagy fogyasztás pedig túlságosan alacsony hálózati feszültséget eredményez, ami szintén nem megfelelő a hálózat villamosenergia-ellátás és stabilitása szempontjából. Szélsőséges állapot, ha a kisfeszültségű hálózaton eltűnik a fogyasztás, viszont a hálózatra kapcsolódó napeleemes HMKE-k elkezdnek táplálni villamos energiát, akkor a feszültség megnőhet. Ez azért jön létre, mert a 22/0.4 kV vagy éppen a 11/0.4 kV transzformátor nincs terhelés alatt, tehát terheletlen állapotában a feszültsége relatíve magas és stabilan tartja a beállított névleges feszültség értékeket. A feszültség csökkenése pedig - a fogyasztás következtében - a transzformátor $U(S)$ jelleggörbéje és a hálózati veszteségek miatt jön létre. A transzformátor feszültség csökkenése arányos a rákapcsolt S terheléssel. Ez a transzformátor $U(S)$ jelleggörbéje arányos a drop értékével. A drop úgy adódik, hogy a transzformátor szekunder oldalát rövidre zárják, miközben a primer oldalt akkor feszültséggel táplálják meg, hogy a szekunderén pontosan I_n üzemi áram folyjon. Az I_n áram által

meghatározott U_z zárlati feszültség munkapontját összekötik, a transzformátor U_n névleges feszültség pontjával, ahol nyilván nincs terhelés.

$$\text{Drop számítása: } \varepsilon = \frac{U_z}{U_n} \cdot 100\%$$

$$\text{Transzformátor reaktanciája: } X = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_{sz}^2}{S_n}$$

$$\text{Transzformátor zárlati teljesítmény: } S_z = \frac{100}{\varepsilon} \cdot S_n$$

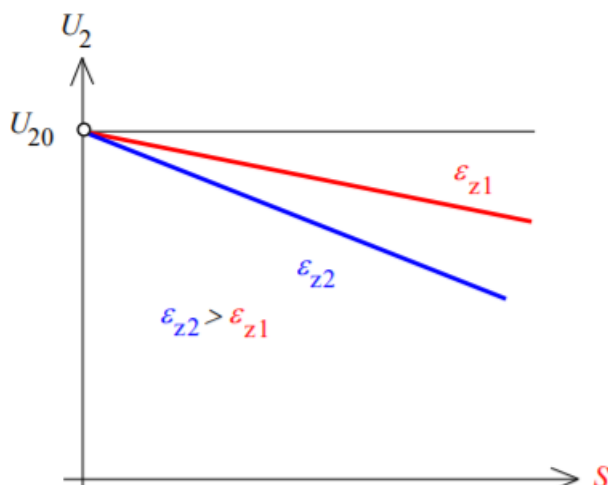
$$\text{Transzformátor zárlati áram: } I_z = \frac{S_z}{\sqrt{3} \cdot U_n} [4]$$

Tehát, ha a drop nagyobb, akkor a transzformátor belső X reaktanciája is nagyobb, ezért zárlat esetén kisebb áramok tudnak kialakulni. Vagyis egy nagyobb droppal rendelkező transzformátorban nagyobb feszültségcsökkenés jön létre. A kisebb drop kisebb feszültségcsökkenést eredményez a transzformátor kivezetésein, ha ugyanarra az S névleges terhelésre nézzük.

A 3.1.2. ábra alapján belátható, hogy a nagyobb drop nagyobb feszültségletörést okoz a transzformátor kapcsaira nézve, természetesen ugyanarra az S terhelésre levetítve a dolgot. A napelemes HMKE-k inverterei feszültségnövelő hatása ugyanúgy kisebb mértékben fog jelentkezni egy nagyobb névleges teljesítményű vagy esetlegesen egy csak kisebb droppú transzformátor esetében. Viszont a kisebb drop miatt nagyobb zárlati áramok jönnek létre. A 3.1.2 ábra alapján láthatjuk a transzformátor feszültségcsökkenését az S látszólagos terhelés függvényében. Itt is láthatjuk, hogy a nagyobb drop nagyobb feszültségcsökkenést eredményez.

Tehát a műszaki kihívás a következő: fogyasztás esetén a hálózati veszteségek és a transzformátor veszteségei miatt a feszültség csökken. Cél továbbá a HMKE-k inverterei által betáplált áram hatására – a hálózat impedanciái miatt - létrejövő feszültségek növekedéseinek csökkentése. Ideális a nagyobb teljesítményű és kisebb droppal rendelkező transzformátor alkalmazása. A 3.1.2. ábra Tényi V. Gusztáv Villamos gépek jegyzete szerint állandó teljesítménytényező esetében a leadott teljesítmény megközelítőleg lineáris feszültségesést

okoz a transzformátorban. Kisebb droppal rendelkező transzformátor alacsonyabb belső X reaktanciával rendelkezik, ezért a befolyó inverter áramai kisebb feszültséget tud emelni a transzformátor tekercseiben, természetesen, ha az energiaáramlás megfordul, tehát KIF/KÖF.



3.1.2. ábra Transzformátor $U(S)$ jelleggörbe

3.2. KIF hálózat számítása

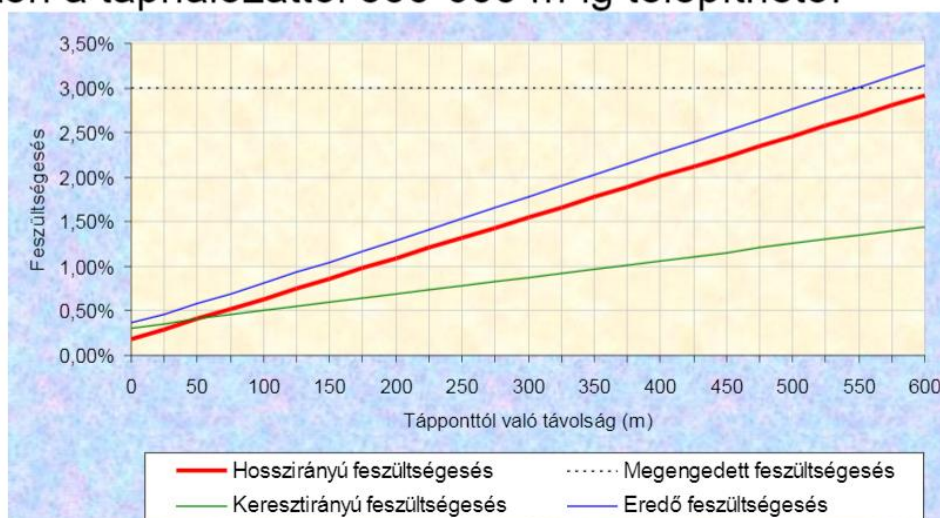
Az előző fejezetben is már említettük, hogy a hálózat feszültségének viszonyait egyértelműen a transzformátor üzemi viszonyai és a kisfeszültségű hálózat impedanciái határozzák meg. Most a számítási megközelítésben elhanyagoljuk a transzformátor impedanciáit, vagyis reaktanciáit, mivel a számítások alapján elhanyagolható számok jönnek ki.

Képlet szerint: $X = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_{sz}^2}{Sn}$; ahol mondjuk 5%-os drop esetében 160 kVA teljesítmény mellett 0.4 kV-on 0.05 Ω értéket kapunk, ami elhanyagolhatóan kevés. A másik tényező, amiért elhanyagolhatjuk a transzformátor reaktanciáit azaz, hogy számításainkat alapul véve merev és stabil feszültségpontúnak kell tekintenünk, mivel elsősorban – a mi szempontunkból – nem a fogyasztás okoz problémát a hálózatban, hanem éppen a hiánya.



EGYFÁZISÚ HMKE HÁLÓZATRA CSATLAKOZTATÁSA

Egyfázisú termelőegység max. 5 kVA-ig csatlakoztatható. Egyfázisú 2 kW-os napelemes termelőegység 160 kVA-es transzformátoros KIF körzetben 50 mm² keresztmetszet esetén a táphálózattól 550-600 m-ig telepíthető.



3.2.1. ábra EON által készített kiefeszültségű hálózat feszültségesése

Az EON által számított %-os feszültségesés a távolság függvényében hálózatba kötött napelemes HMKE-vel rendelkező fogyasztói szempontból. Mivel mi nem tudjuk az Eon munkatársai pontosan mit számoltak, így vegyünk mi egy szélsőséges példát, és nézzük meg a számokat, vegyünk egy kirívó esetet és vonjuk le a konklúziókat. Ha az inverter csak wattos teljesítményeket tud előállítani, és ha a fogyasztás is wattos jellegű, akkor a feszültségesés, illetve emelkedés a vezeték szakaszon nagyjából azonos nagyságú lesz. Nyilván azért, mert elvileg a kiefeszültségű vezetékek impedanciái nem változnak.

Keresztmetszet (mm ²)	Fajlagos ellenállás (Ω/km)	Fajlagos reaktancia (Ω/km)	Fajlagos kapacitás (μF/km)
35	0,967	0,3981	0,01
50	0,6865	0,3865	0,01
95	0,361	0,3631	0,011
120	0,287	0,356	0,011

3.2.2. ábra AASC csupasz légvezeték villamos paraméterei

A 3.2.2. ábra táblázatában láthatjuk az AASC csupasz alumínium szabadvezetékre megadott adatokat. Az EON ebben az esetben 50 mm²-el számolt, így mi is annnyival számolunk. Mivel sok helyen ez a sodrony szerepel kisfeszültségen és középvezültségen is, esetleg még szigetelt állapotában is, ezért számoljunk ellenállásra 0,68 Ω/km-el és reaktanciára pedig 0,35 Ω/km értékekkel. A szigetelt és a többeres vezető valamennyire kisebb reaktanciával rendelkezik, viszont nagyobb kapacitással.

Továbbá tételezzük fel:

- A hálózaton több vételezési pont van, de fogyasztást nem mutat egyik fogyasztói végpont sem.
- A transzformátortól ez a napelemes HMKE pontosan 600 méterre van.
- A HMKE invertere nem képes, csak wattos áramot kibocsátani magából.
- Transzformátor impedanciáját és reaktanciáját is elhanyagolhatónak - feszültségét stabil 230 V-nak - értelmezzük.

Vezeték reaktanciája: $X = x_v \cdot l_v = 0,35 \times 0,6 = 0,21 \Omega$.

Vezeték ellenállása: $R = r_v \cdot l_v = 0,68 \times 0,6 = 0,408 \Omega$.

Vezetéken eső hosszirányú feszültségesés: $U_H = I_w \cdot R + Im \cdot X = 8,87 \text{ V}$.

Vezetéken eső keresztirányú feszültségesés: $U_K = I_w \cdot X - Im \cdot R = 4,56 \text{ V}$.

5 kW egyfázisú inverter esetén a maximális áram nagysága: $P/U = 5000/230 = 21,74 \text{ A}$.

Meddő árammal ugye nem számolunk annak értéke 0.

Vezetéken eső feszültség: $\sqrt{(U_H^2 + U_K^2)} = 9,97 \text{ V}$. [6]

Tehát a légvezeték körül belül 10 V feszültséget vesz fel az inverter betáplálása által, illetve ha a fogyasztói végponton vételezzünk 5 kW wattos fogyasztást. Ezért, hogy a transzformátorba be tudjon táplálni a napelemes HMKE rendszerünk, a kisfeszültségű

fogyasztói pontnál legalább $230\text{ V} + 10\text{ V} = 240\text{ V}$ -ra van szükségünk, hogy az inverter táplálni tudjon.

A táplálás csak akkor jön létre, ha a transzformátor üresjárási állapotában a fázisok kivezetéseinek kevesebb, mint 243 V effektív feszültség van. Ha a transzformátornál lévő feszültség eléri a 243 V -ot, akkor a – hálózat által okozott – plusz 10 V feszültségemelkedés miatt veszélybe kerülhet a napelemes termelés. Mivel az invertert üzembehelyezésekor $\pm 10\%$ feszültség eltérésre beállítják, tehát 253 V felett a táplálás leáll. A problémát elmélyíti, hogy ha az inverter lekapcsol, akkor legalább fél percig vizsgálja a hálózat stabilitását, majd ismét 2-3 percen át szinkronizálódik a kapcsolódási feltételeknek megfelelően. Ha nem ítéli stabilnak a hálózatot, akkor várakozik és mintavételezik, üzemkész állapotban marad akkor is, ha éppen nem csatlakozik a hálózatra. Természetesen az időállandók gyártókként eltérhetnek. A 230 V -os hálózatnak a 10 V az $4,3\%$ -a, ami bőven benne van a 10% -os eltérésben, de egyáltalán nem biztos, hogy elegendő kritérium a termelés szempontjából. 253 V feletti értékre azért sem érdemes állítani az inverter kimenő AC feszültségét, mert a háztartásban lévő, illetve a szomszédságban lévő elektromos berendezések a magas feszültség hatására károsodhatnak, és élettartamuk is csökkenhet.

3.3. KIF hálózat $U(Q)$ kompenzálásra alkalmas inverter segítségével

Az utóbbi időben egyre terjednek azon inverterek, amelyek képesek teljesítménytényező-javítására is. Többnyire $0,8$ -tól 1 -ig lehet a $\cos\varphi$ értékét változtatni, akár kapacitív és induktív irányban is. Fronius invertere is rendelkezhet ilyen tulajdonsággal. A napelemes HMKE-k gyakorlatában még nem olyan nagy számban vannak jelen, de létjogosultságuk nagyon adott. Bár a mi esetünkben nincs olyan nagy hatással az $U(Q)$ szabályozás a KIF hálózatra, mint például amilyen hatással van a KÖF vagy a NAF rendszerekre. A cél az, hogy a teljesítménytényező változtatással rendelkező inverter csökkenteni vagy akár növelni tudja a hálózaton lévő feszültséget. A KÖF és NAF hálózatokon azért fontos az $U(Q)$ szabályozás, mert az egész villamosenergia-rendszerben egyenlőnek kell lenni a termelt és a fogyasztott meddő- és wattos teljesítményeknek is, amit a rendszer megkíván.[7] Ha túl kevés a meddő teljesítmény, vagy ha túl sok, akkor a feszültség nem tartható stabilan. Ez a jelenség kiefeszülésen nem mérvadó, hiszen a KIF hálózaton lévő lakossági fogyasztók – tehát nem az ipari fogyasztók – nincsenek rákényszerítve a

meddőkompenzálásra. Természetesen az ipari fogyasztók igen, mivel a túlzott meddőfelvételért plusz energiadíjat kell fizetniük. Léteznek egyedi – ipari vételezésre - szerződések, például mikor a $\cos\varphi$ értékét nem vizsgálja a szolgáltató, de éppen ezért magasabb energiadíjat határoz meg, vagy éppen szerződés szerint az ipari fogyasztónak biztosítani kell a teljesítménytényező 0,95 értékét, ezért a meddőkompenzálásra alkalmas fázisjavító berendezést saját magának biztosítania kell. Fázisjavító automatika telepítése és használata csak hosszútávon térül meg. Ugyanígy van a felharmonikus tartalommal is.

A mi esetünkben csak kis mértékben releváns a meddő, viszont ezzel is tudjuk a feszültséget szabályozni. Nem teljes értékű szabályozás, mivel valamilyen szinten meddő energiával terheljük a hálózatot, de szükséges, mert a feszültség értékeket megfelelő szinten tudjuk tartani vele.

Standard for Micro Embedded Generating Units (0 - ≤30 kVA)

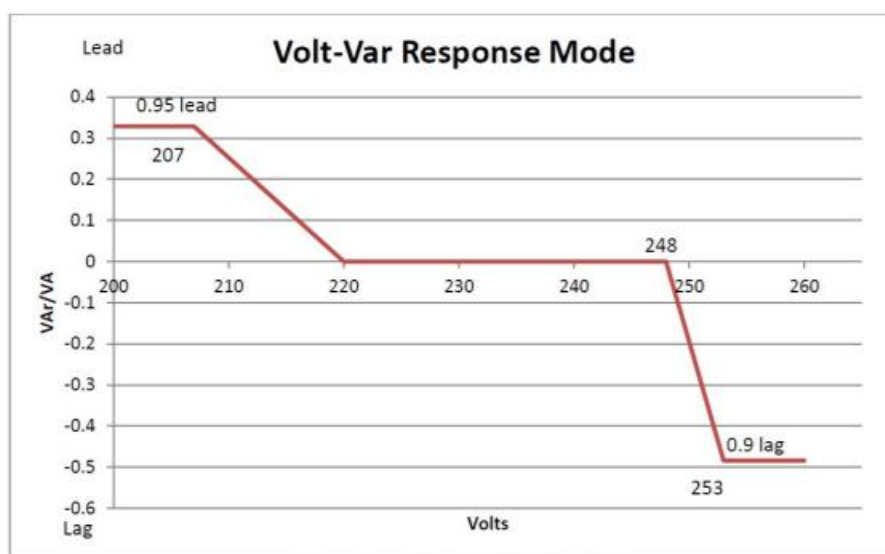
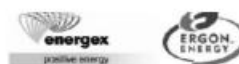


Figure 1 – Alternate Q-V Mode Settings

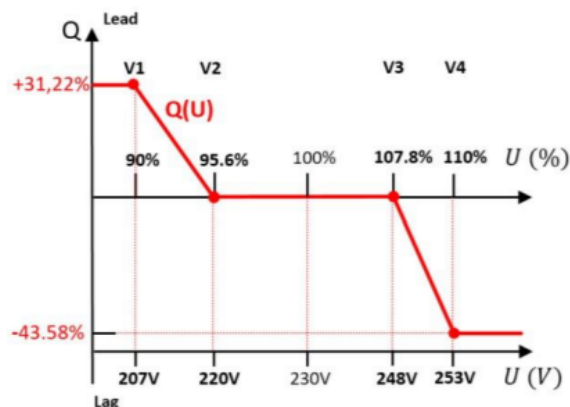
3.3.1. ábra Fronius inverter U (Q) szabályozása

A 3.3.1. ábrán láthatjuk a Fronius inverter feszültség-meddő szabályozás jelleggörbéjét. A meddő termelésének az a nagy matematikája van, hogy ha a meddő teljesítmény növekszik, viszont a látszólagos betáplált teljesítmény nem, akkor releváns, hogy a hatásos teljesítménynek csökkennie kell. Képlet alapján $S^2 = P^2 + Q^2$ belátható, hogy ha egy

rendszerben betáplált energia nem változik, csak az egyik összetevője, akkor egyidejűleg a másik összetevőnek is változnia kell.

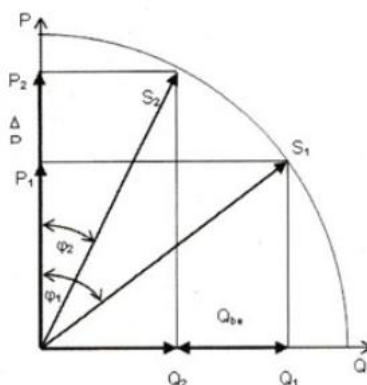
Reference point	Set Points	Setting Range
0 = V1 207V PF=0.95	0 - 0	90%
	0 - 1	+31.22%
1 = V2 220V PF=1	1 - 0	95.6%
	1 - 1	0%
2 = V3 248V PF=1	2 - 0	107.8%
	2 - 1	0%
3 = V4 253V PF=0.9	3 - 0	110%
	3 - 1	-43.58%

+ Leading value
- Lagging value



3.3.2. ábra Fronius inverter beállítás

A 3.3.2. ábrán a Fronius inverter beállításait láthatjuk a különböző feszültszintekhez tartozó meddő teljesítmény kibocsátása szerint. A berendezés úgy van optimalizálva, hogy nem igazán bocsát ki magából meddő teljesítményt 220 V és 248 V között. 220 V alatt kapacitív meddőt bocsát ki magából, aminek hatására csökken a hálózat meddő teljesítménye, vagyis a hatásos összetevők elkezdenek nőni. Ez azért lehetséges, mert ha a hatásos összetevők nőnek, akkor a feszültségnek is növekednie kell, mivel a P hatásos teljesítmény közvetlenül arányos az U feszültséggel. 248 V felett pedig az inverter induktív meddő teljesítményt állít elő, vagyis, ha az eredő meddő teljesítmények nőnek, akkor a hatásos teljesítmények csökkennek. A hatásos teljesítmények csökkenése magával vonja a feszültség csökkenését. Amit a következő ábrán láthatunk is.

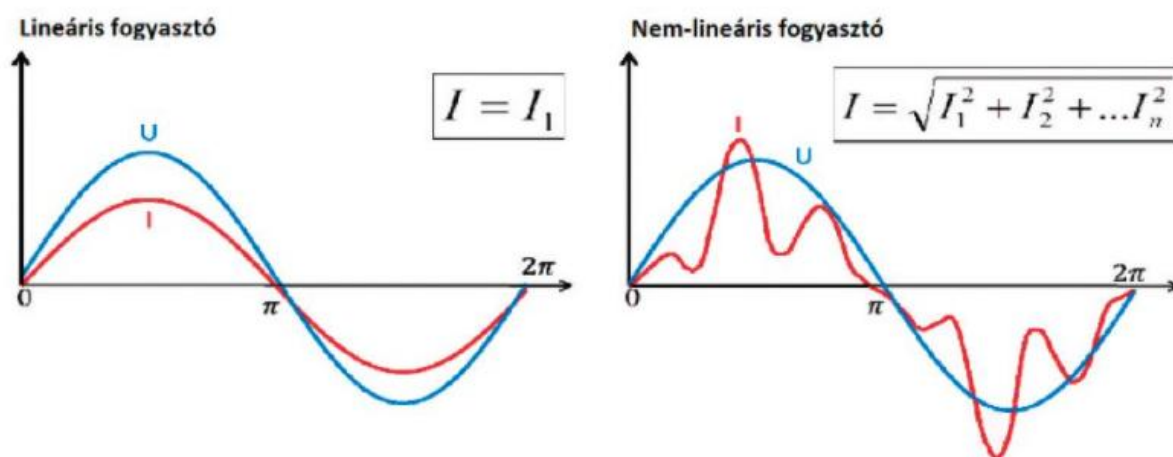


3.3.3. ábra Általános meddőkompenzáció vektorábrája

A 3.3.3. ábra pontosan szemlélteti a meddőkompenzálás elvét, induktív teljesítményeknek minden esetben feszültség csökkentő hatásuk van, viszont mivel a hálózatban meglévő teljesítmények nincsenek teljesen kiaknázva, így a rendszer stabilitása minden esetben nő. Ugyanez a helyzet csak fordított esetben, ha a meddő teljesítményeket csökkentjük. Gyakorlott kollegák szerint, elvileg, ha a kisfeszültségű hálózat végére egy kondenzátortelepelt kapcsolunk - mikor alacsony a feszültség - akkor az is fel tudja vinni a feszültséget akár 20-30 V-al is. Tehát az feszültség meddő szabályozás valamilyen szinten működik ez esetben is.

HMKE telepítése és engedélyeztetése szempontjából a szolgáltató, illetve az elosztói engedélyes nem írja elő műszaki kritériumnak a változtatható teljesítménytényezőjű invertert, de mindenesetre sok cég gyárt már ilyen berendezést. Magánszemély szempontjából nem érdekes – főleg, ha az adott csatlakozási pont közel van a transzformátorhoz – viszont a villamosenergia-ellátást tudja támogatni.

3.4. Felharmonikus zavarok



3.4.1. ábra Lineáris és nem lineáris fogyasztók, forrás: muszaki-magazin.hu

Vannak olyan fogyasztók a kisfeszültségű hálózaton, amelyek a betáplálás szinuszos feszültségére nem szinuszos áram jelalakot vesznek fel, hanem torzult, a hálózati frekvencia többszörös értékével arányos torz áramokat. Ezek az áramok visszahatnak a hálózatra és zavart kelthetnek benne. A torzítás számszerű értékét angol rövidítésben csak THD-nek szokták nevezni, amit a nemlineáris terhelések áramai és az alapharmonikus áramok hányada adja, természetesen %-os viszonylatban.

$$THD = 100 \cdot \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{I_1}$$

Képlet szerint:

Ez a THD_I %-os érték áramra mutató

zavar, de van feszültségre vonatkoztatott érték, amit THD_U -val jelölünk, és hasonlóképpen kell kiszámolni. A nemlineáris fogyasztók áramát a Fourier transzformáció segítségével kaphatjuk meg, nyilván a feszültség felharmonikus torzítás a nemlineáris fogyasztók felharmonikus áramainak hatására jön létre. A hálózat impedanciáin ezen áramok feszültséget hoznak létre. Akár feszültségre, akár áramra vetítjük le az alapharmonikusok torzításából eredő felharmonikus zavarok nagyságát - tehát a hálózatra károsan visszaható áramokat és feszültségeket – mindenképpen csökkenteni kell nagyságukat és hatásukat.

Káros hatásai a felharmonikus zavaroknak például, a hálózatban folyó áram látszólagos effektív értéke megnő, éppen ezért a vezetőkben, a transzformátorban, a motorokban túlterhelés jöhet létre, melegekedhetnek. Felharmonikusokkal szennyezett hálózatban az elektromos berendezések várható élettartama lerövidül, eszközök zúgása megnövekszik, például a transzformátorok zúgása felerősödhet. Sok véletlenszerű hiba jöhet létre, mint például a védelmek indok nélküli működésbe lépése, az informatikai eszközök működésében váratlan hibák jöhetnek létre. [8]

A felharmonikus zavar források érdekességképpen nem a hagyományosan vett nemlineáris eszközök – transzformátorok és motorok - miatt jönnek létre a villamos hálózaton, hanem többnyire a teljesítményelektronikai eszközök, tápegységek, hegesztők, inverterek és frekvenciaváltók működése hatására. Mivel a zavar akár a védelmek indokolatlan megszólalását is előidézhetheti és akár a háztartási eszközökben is kárt tehet, - nyilván, amelyek tápegységei érzékenyek a felharmonikus zavarokra - ezért a szintjét korlátozni kell. Hálózatbarát fogyasztókat kell alkalmazni, amik a beérkező szinuszos feszültség hatására a lehetőségekhez képest azonos alakú szinuszos áramokat vesznek fel a hálózathoz. Ha nagy a felharmonikus tartalom akkor aktív szűrőt kell beépíteni. A felharmonikus tartalomról az MSZ EN 50160:2008 szabványban esik szó, melynek címe: „A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői”. A szabványban rögzítve van a csatlakozási ponton megengedett feszültségtorzítás mértéke is. Az aktív szűrő kapcsolását tekintve párhuzamos, lehet egyedi és csoportos zavarcsökkentés, mint a meddőkompenzációnál. [9] A fényforrásgyártásban a THD értékek nagyon szabályozva vannak, éppen a tápegységeik zavar kibocsátása és a zavar érzékenysége miatt. Fényforrások esetében nagyon fontos a zavarok elkerülése és a zavarokra való érzéketlenség. Viszont esetünkben ez mégiscsak a nagyobb teljesítményű teljesítményelektronikai eszközök esetében érdekes, mert például egy tv nem vesz fel olyan nagy áramokat és nem is tud olyan nagy zavart kibocsátani, mint például egy inverteres hegesztő.

A THD értékek alacsony szintje nem okoz problémát, mivel a gyártók erre figyelnek, illetve a műszaki paraméterek feltételeinek előírásai szerint, a gyártott berendezéseknek meg

kell felelni a THD kibocsátással kapcsolatos előírásoknak. Többnyire felharmonikus zavar a KIF hálózatokban nem okoz problémát, viszont a háztartási eszközökben kárt tud okozni, illetve az eszközök élettartamát rendkívül le tudja rövidíteni. Az napelemes inverterek esetében is meg van határozva a felharmonikus tartalom, 10 kHz-ig mérve kisebb legyen, mint 5 % a THD áram felharmonikus tartalma. Minden szempontból a THD értékeket alacsony szinten kell tartani, mert a KIF hálózatra káros hatással vannak, indokolatlanul melegek lehetnek a transzformátorok és a nullavezetők. Olyan elektronikai eszközöket, tápegységeket kell alkalmazni, amely alacsony THD szinttel rendelkeznek. Ha tudjuk, hogy melyik hálózati eszközünk termel sok zavar jelet, érdemes azt az eszközt helyileg kompenzálni, így megoldhatjuk, hogy a többi eszközünk és a hálózat többi része mentesüljön a zavaroktól. Sok szakmai rálátást merítettem a villanylap.hu internetes oldal *Lantos Tivadar Torzító hatások a hálózaton* című művéből.

4. TRANSZFORMÁTOROK ÜZEMVITELE

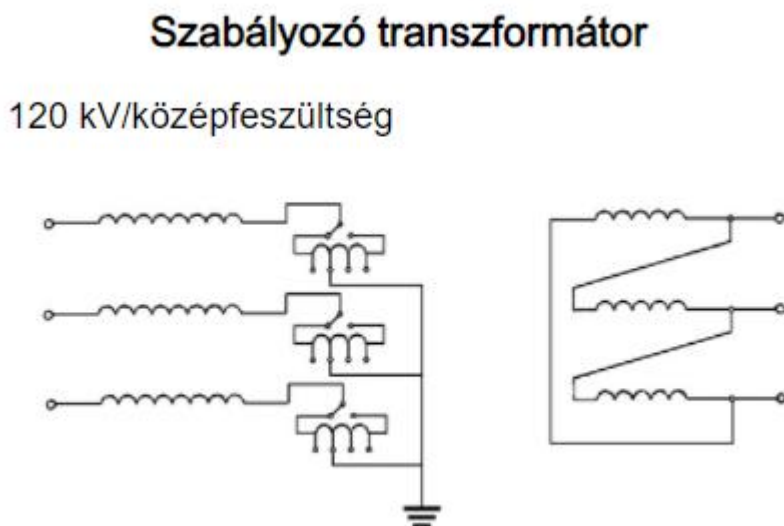
4.1. Alállomások üzemvitele és problematikája.

A 132/KÖF alállomások általában 11 kV, 22 kV és 35 kV szabadvezetéki hálózatokra táplálnak, városokban nem ritka a 11 kV-os kábelhálózat. A továbbiakban az egyszerűség kedvéért 132/22 kV szabadvezetéki hálózatként fogom értelmezni a NAF/KÖF elosztói rendszert. Magyarországon a 132 kV-os elosztóhálózat többnyire hurkolt, tehát az energia áramlása akár több párhuzamos úton is történhet, vagyis ezek az utak egymás tartalékait képezik, nyilván ez függhet az adott hálózat egyedi topológiájától. A KÖF hálózatok képe általánosságban íves-gyűrűs, tehát a KÖF gyűjtősin vagy két külön táppontból indulóan íves formában látja el a fogyasztói területet, vagy pedig azonos táppontból indul ki és oda is tér vissza a KÖF hálózat távvezetéke, így alkotva gyűrű topológiát. Mindkét kialakítás növeli az villamosenergia-ellátás biztonságát. KIF hálózatokra többnyire fa, vagyis sugaras hálózatkép a jellemző, ami azt jelenti, hogy egy kisfeszültségű fogyasztói pont és a KÖF/KIF transzformátor betáplálási pontja között csak egy elérési út van. Ez az ellátásbiztonságot nagyban csökkenti, viszont a KÖF hálózatok esetében is léteznek ilyen sugaras topológiák.

Napelemes erőművek esetében néhányszor 10 kW teljesítmény körüli termelés KIF hálózatra való csatlakozása még jogosult lehet, viszont előlött már érdemes KÖF hálózatra táplálni a villamos energiát. Az ellátásbiztonságot itt is inkább a decentralizáltság okozhatja. KÖF-ön a meddőteljesítmények optimalizálása nem olyan mérvadó, mint 220 kV vagy feletti feszültség szinteken. A 132 kV oldali meddőteljesítmény igényt a KÖF hálózat, a NAF/KÖF transzformátor és az esetlegesen a KÖF hálózatra kapcsolt kondenzátortelepek, illetve söntfojtók határozzák meg. Tehát a meddőteljesítmény igényt a 132/22 kV transzformátor és a KÖF hálózat adja. Viszont a feszültség stabilizálása szempontjából nem kell túl sokat foglalkozni a meddőteljesítmény viszonyokkal, mert a kimenő 132/KÖF transzformátor úgynevezett autótranszformátor.[7]

A középfeszültségű hálózatokon a feszültségek szinten tartására a hálózat megfelelő üzemi viszonyainak megfelelően NAF/KÖF alállomásokon automatikus feszültségszabályzóval rendelkező transzformátorokat alkalmaznak. Az egyes transzformátorok tartalmazhatnak két tekercset, vagyis például létezik 132/22 kV kivitelű és

132/11 kV kivitelű transzformátor, természetesen a kimenő feszültségzinteknek megfelelően. Viszont léteznek olyan transzformátorok, amelyek tartalmazhatnak akár három tekercset is, mint például: 132/22/11 kV. Mindegyik NAF/KÖF transzformátor kritériuma a NAF oldalon lévő, $\pm 15\%$ -ban állítható feszültség szabályzóval ellátott berendezés. Ezen berendezések 19 de néha 27 kimenő feszültség szint fokozatot tudnak állítani. Ez úgy jön ki, hogy a 27 fokozat az természetesen áll 1 darab középállásból és ± 13 fokozatból, így jön ki a 27 különböző feszültség szint állítási lehetőség. Az állíthatóság, vagyis $132 \times 0,3 = 39,6$ kV, ami 27 fokozat szerint pontosan 1,46 kV fokozatonként. A transzformátor elvi blokkvázlatát a 4.1.1. ábra szemlélteti.



4.1.2. ábra Automatikus feszültség szabályzás NAF/KÖF transzformátor

Emiatt az automatikus szabályzóval ellátott transzformátor segítségével nem jelent problémát az alállomások üzemvitelében a megfelelő feszültséget tartani. Tehát nem okoz problémát sem a feszültség csökkenése, sem a feszültség növekedése. A probléma az esetleges decentralizációban keresendő, fentebb említettük, hogy nem csak a KIF hálózatokban, de a KÖF hálózatokban is előfordulhatnak a sugaras hálózatképek. Egy végponti fogyasztó ellátása mindig problémát okoz, ezért igyekezni kell a sugaras és íves hálózatképek fenntartását. A NAF 132 kV-os hálózatok minden esetben hurkolt kivitelűek, tehát itt fokozott az ellátásbiztonság. Viszont ezzel az a nagy probléma, hogy a magyar alállomási rendszerben nem mindig áll rendelkezésre a megfelelő mérőeszköz ahhoz, hogy a

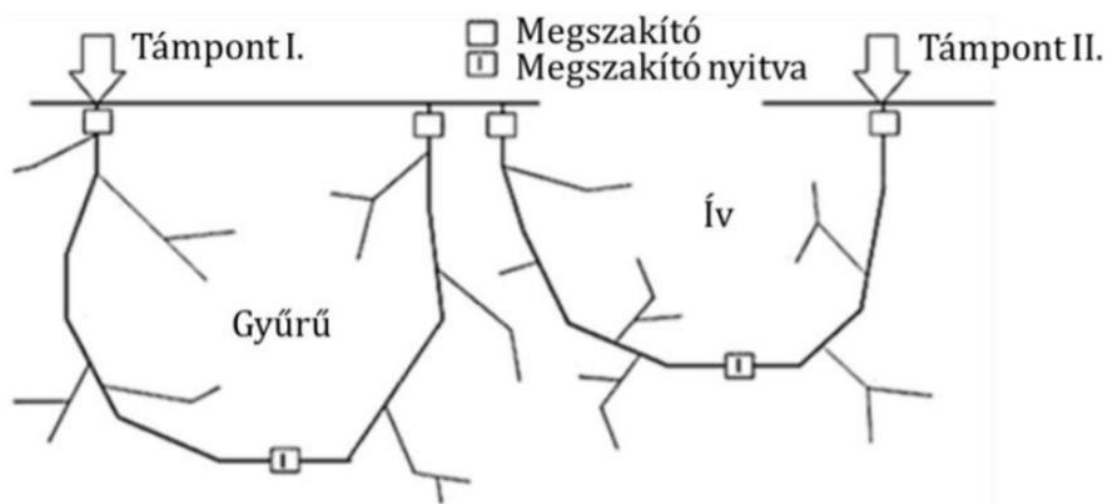
valós energiairányt meg lehessen határozni. Mivel a KÖF hálózat gyűjtősinjeire egyre több napelemes Kiserőmű csatlakozik, így ez az energiairány detektálása mindenképpen szükségzerű lenne. Mivel egy alállomásban célszerű tudni, hogy a beérkező és a rajta áthaladó villamos mennyiségek honnan hova áramlanak, illetve a beérkező villamos teljesítmények hány %-a van időjárásfüggő megújulóból. Előfordulhat, hogy az időjárás függvényében nincs elég teljesítménytartalék a villamosenergia-rendszerben. De az is előfordulhat, hogy a hálózatba táplált erőműveket fékezni és lassítani kell az ellátásbiztonság érdekében. Ez az erőművek fékezése és ellenőrzése, illetve menetrendek felülírása nem az alállomások feladata, de a helyes és precíz detektálás segíthet a megfelelő energetikai stratégia kialakításában. Nyilván egy ilyen alállomás maximum két db 132 kV-os transzformátorral rendelkezik, amelyek egyenként 25 40 illetve 63 MW-osak, tehát maximálisan 125 MW teljesítmény körüli lehet egy ilyen alállomási ponton átáramló villamos teljesítmény nagysága. [13] Említettük már, hogy a 10-15 MW maximális teljesítményig a megújuló erőműveket a KÖF hálózatokba érdemes integrálni, 10-15 MW teljesítmény felett pedig a 132 kV-os alaphálózatra érdemes kötni. A 100 MW körüli és az ennél nagyobb teljesítményeket már a 132 kV feletti hálózatra, például a 220 kV-os rendszerbe lenne érdemes táplálni.

Viszont a 220 kV és 400 kV-os alaphálózat bővítése és fejlesztése sok pénzbe kerülne, a tervek éppen ezért a - 100 MW körüli és nagyobb teljesítményű erőművek tekintetében inkább a - 132 kV-os elosztói hálózatba való táplálásról szólnak. A dolog konklúziója, hogy a kisebb feszültség szinten megvalósuló bővítés és fejlesztés még mindig kisebb pénzbe kerül. Nyilván ilyen 100-150 MW koncentrált napelemes erőművi teljesítmény nem sok van az országban, viszont hozzá kell tenni, hogy egy bővítés nem csak egy darab 132 kV-os alállomás, vagy éppen egy darab 220 kV-os állomás bővítéséről szól. Érdemes az egész feszültség szinten lévő elosztóhálózatot illetve azonos feszültség szinten lévő alállomásokat fejleszteni.[11]

Tehát elmondható, hogy akár kisebb (10 MW körüli), akár nagyobb (100 MW körüli) teljesítményű PV erőműveket, ha integrálni akarunk a közeljövőben a villamosenergia-hálózatba, akkor azzal a 132 kV-os alállomások találkozni fognak. Tehát a napelemes erőművek problematikájával mindenféleképpen feladatuk lesz.[11]

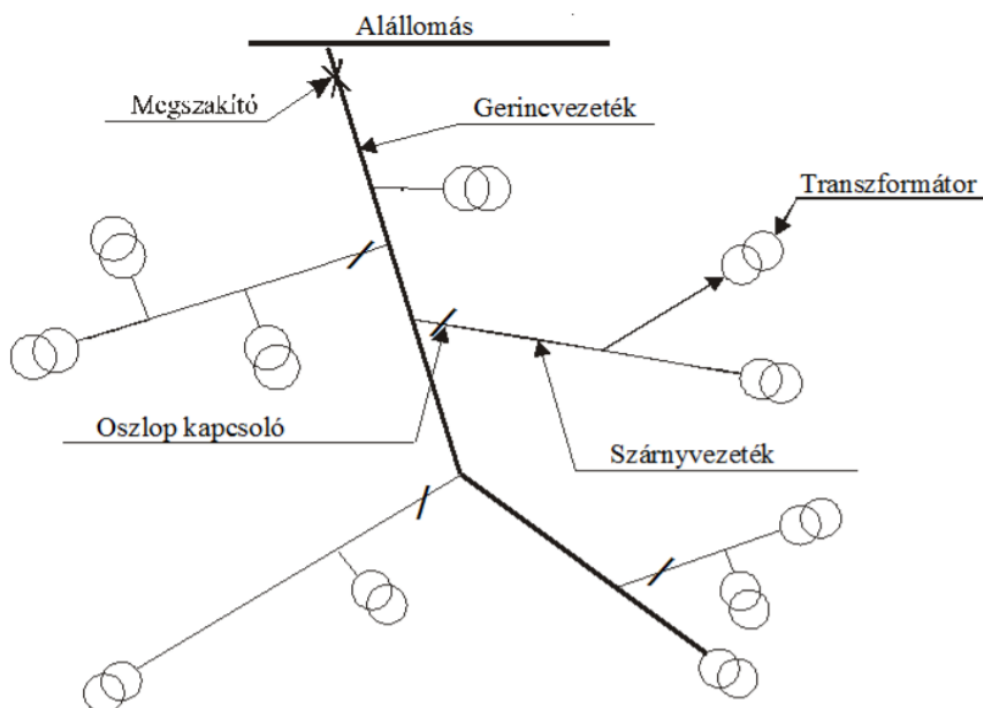
4.2. KÖF és KIF hálózatok topológiája

Az előző fejezetben is említettük már, hogy a KIF hálózat végponti villamosenergia-ellátásának bizonytalansága nagyon nagy lehet a különböző KÖF és a NAF hálózatok ellátásbiztonságához képest. Nyilván ez azért van így, mert ha például egy kis falu egy kis részének villamosenergia-ellátása szünetel, az a villamosenergia-rendszerben nem okoz olyan nagy problémát, mintha több alállomási KÖF hálózat ellátása szünetelne. Elsősorban a költséghatékonyság szabja meg a műszaki és technikai feltételeket.



4.2.1. ábra Íves és gyűrűs hálózatképek

A KÖF hálózatok tipikus topológiája az íves és gyűrűs kiépítésű hálózat, ami a szabadvezetékes rendszerek legelterjedtebb hálózatképe. A két betáplálási pont az ellátásbiztonságot növeli. Mindkét hálózat közepében elhelyezkedik egy megszakító, amely, ha bontja a hálózatot, akkor egyből sugarassá válik. A gyűrűről, illetve az ívről leágazó középfeszültségű szabadvezetékek valamilyen szinten sugaras jelleget mutatnak. Elvileg a gerincvezeték közepén lévő megszakító le tudja kapcsolni a hibás szakaszt, így a többi hálózatrész fogyasztói területe ellátható. A leágazó középfeszültségű szabadvezetékek végpontjain természetesen KÖF/KIF transzformátorok vannak. Ezekre a KÖF hálózatokra táplálnak fel a 10-15 MW teljesítményű napelemes Kiserőművek. Egy ilyen hálózatrészben egy ilyen teljesítményű Kiserőmű még nem okoz zavart az ellátásban, mert azt még az alállomások kompenzálni tudják.



4.2.2. ábra Sugaras topológia [12]

A sugaras hálózatkép betáplálása egy pontból történik, sokszorosán elágazó, nyitott hálózat. Az energia csak egy úton juthat el a fogyasztókhoz, nincs tartalék az ellátásban. Előnye, hogy a hálózat jól áttekinthető, a hiba könnyen beazonosítható. Hátránya az ellátás bizonytalansága, és hogy a KIF hálózat végpontján túl alacsony feszültségek adódhatnak a fogyasztás miatt. Az állomási transzformátorok feszültségváltoztató pozitív hatása – tehát, hogy a feszültség kis fokozatonként beállítható – nem érvényesül. Sugaras hálózatrész meghibásodása esetén – akár KIF akár KÖF hálózatrészben alakul ki – a hálózat megszakad és még a napelemes HMKE-k sem tudnak termelni. Hálózati feszültség nélkül nem tud feltáplálni a HMKE invertere. A NAF alaphálózat, a mi esetünkben a 132 kV-os hálózat többszörösen összekötött, vagyis hurkolt hálózat, több betáplálás, több energiairány és nagyobb ellátásbiztonság.

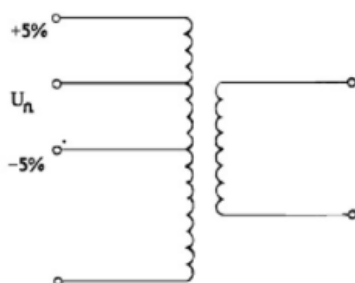
4.3. KÖF/KIF transzformátor fokozatállítása

A 3.1. fejezetben részletesen elemeztük a transzformátorokat, mint áramköri elemeket, megbeszéltük a drop és a teljesítmény viszonyait. Említettük, hogy KIF hálózatokon - ahova sok napelemes HMKE kapcsolódhat és betápláláskor esetenként túl magas a feszültség -

milyen transzformátort lenne érdemes alkalmazni, ha a meglévő probléma miatt fejlesztésre kerülne a sor. Megállapítottuk, hogy a transzformátor drop-ja legyen alacsony, névleges teljesítménye nagy. Az sem árt, ha a HMKE-k csatlakozási pontjai közel vannak a transzformátorhoz, és kismegfeszítésű vezetők legyenek minél nagyobb keresztmetszetűek.

De a KÖF/KIF transzformátornak van egy feszültség változtató lehetőségük a középfeszültségű oldalukon. Ezt többnyire üzembe-helyezéskor szokták ellenőrizni, és ha kell változtatni rajta, hogy a kismegfeszítésű hálózaton mindig a megfelelő feszültség szint álljon rendelkezésre terheletlen és terhelési üzemállapot mellett is. A transzformátor primer, tehát középfeszültségű tekercsén több csapolási pont található. A feszültség szabályozás fokozatai $\pm 3\%$ vagy $\pm 5\%$, ez a középpólástól 1-1 fokozat, tehát összesen 3 fokozat áll rendelkezésre. De vannak olyan transzformátorok is, amelyek rendelkeznek $\pm 3\%$ és $\pm 5\%$ fokozatállítási lehetőséggel, így már a középpólással együtt 5 fokozat áll rendelkezésre. Minden esetben meg kell vizsgálni egy hétköznapi délelőtti fogyasztást, amikor nincs terhelés a kismegfeszítésű hálózaton, és meg kell vizsgálni egy olyan üzemállapotot, amikor esti csúcsfogyasztáskor nagy a terhelés. Nyilván a hálózat messzi végpontjaiban, akár KÖF akár KIF hálózat végpontjairól beszélünk, a transzformátorok feszültségemelő fokozatban üzemelnek. Az alállomáshoz közel, centralizált helyen a transzformátorok pedig feszültségcsökkentő fokozatban működnek. Ennek a fokozatállítási lehetőségnek az a nagy hátránya, hogy nem automatikus, hanem a hálózat karbantartásáért és üzemeltetéséért felelős kollegák feladata az esetleges megcsapolások változtatása. A csapolás fokozatainak állítása pedig csak helyszínen végezhető el.

Közép/kismegfeszítés



4.3.1. ábra KÖF/KIF transzformátor csapolásának fokozatállítása

A 4.3.1. ábrán láthatjuk a KÖF/KIF transzformátor fokozatállítási lehetőségeit egyfázisú modell alapján. Amikor megfordul az energiairány, akkor természetesen KIF/KÖF transzformátorról beszélünk.

4.4. Napelemes energiatermelés által okozott változó energiairányok

Vállalat	Feszültség szint (kV)	Alállomások száma	Vonalak száma
ELMŰ	10	32	1072
ELMŰ	20	25	303
ELMŰ	35	4	11
ELMŰ	Nincs adat	2	3
ELMŰ összesen			1389
Idegen	10	1	38
Idegen összesen			38
ÉMÁSZ	20	3	4
ÉMÁSZ összesen			4
Mindösszesen			1431

4.4.1. ábra ELMŰ KÖF hálózatainak és alállomásainak száma

Ha a hálózatokon nincs fogyasztás, akkor az energiairányok meg tudnak változni, tehát akkor például a végponti transzformátorok KIF/KÖF-ként viselkednek, illetve a KÖF hálózatok és gyűjtősinék esetében az energiairányok és források megállapítása nem mindig egyértelmű. Jelenleg a hálózati árammérések – mind az alállomási, mind a távjelzett készülékeké – irányfüggetlenek. Nem tudni, hogy az xyz nagyságú áram merre folyik, alállomásból ki, vagy be, illetve azt sem, hogy a táplálási irányból, vagy a tápírány felé. [13] Ez azért a napelemes erőművek növekvő teljesítményeinek tekintetében az ellátásbiztonság szempontjából kicsit aggasztó. Állítólag már folynak kutatások, hogy a lehetőségekhez képest az áramirányokat hogyan lehetne megjeleníteni a legegyszerűbben. Ez a probléma már a Dunántúli régióban jelentkezett, ahol sok napelemes erőmű található. Az ottani kollegák biztosan többet tudnának a témáról mondani.

A KÖF hálózatok is valamilyen szinten hurkolt hálózatok, de a NAF hálózatok többszörösen hurkolt topológiával rendelkeznek, vagyis egy fokkal még bonyolultabb a teljesítmények irányok megállapítása. [7] Bár lehetséges, hogy a NAF hálózatban magasabb

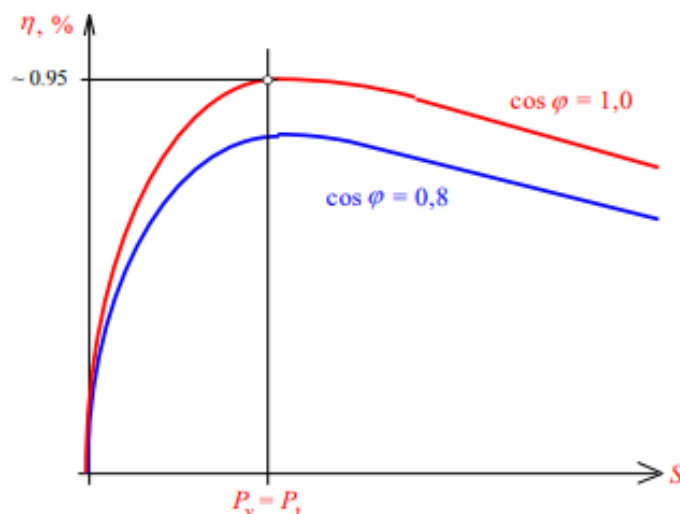
szintű mérőberendezések találhatóak. Nyilván ez nem szükségszerűen a KÖF elosztóhálózat felelősége és nem feladata megoldani a kialakult helyzetet, de mindenesetre hatással van az egész KIF hálózatra, feszültség- és üzemi viszonyait nagyban befolyásolja. Mert például, ha nincs feszültség a KIF hálózaton, akkor a napelemes HMKE inverterei sem tudnak táplálni a hálózatra. Abszolút eltűnik a villamos energia, hiába van az adott kisfeszültségű hálózaton nagy napelemes potenciál.

5. NAPELEMES RENDSZEREK KONKLÚZIÓJA

Ez a fejezet tulajdonképpen a napelemes - akár kis akár nagyobb - erőművek integrálásának lehetőségeiről fog szólni. Idáig áttekintettük a műszaki nehézségeket, hogy a napelemes villamosenergia-termelés milyen problémát tud okozni a hálózatban, és azokat hogyan lehet kompenzálni, mikre érdemes figyelni. Most pedig a rendszerbe integrálásukról esik majd szó. Egyes mérnökök egyöntetű véleménye az, hogy a megtermelt energia helyben legyen elhasználva. Ennek több előnye is van, például, hogy nem terheljük a KÖF, NAF hálózatokat, az alállomásokot, illetve a transzformátorokat, de még a meddőkompenzáció problémakörével sem kell annyit foglalkoznunk. Csökkenhetnek a veszteségek.

5.1. A helyben előállított és felhasznált villamosenergia előnyei

Magyar villamosenergia-rendszerben és ellátásban dolgozó szakemberek véleménye az, hogy a magyar villamos hálózat, illetve rendszer maximálisan 3000 MW napelemes teljesítményt tud jól kezelni, tehát a 3000 MW-ot még megfelelő módon tudunk kezelni. A hálózatba kötött napelemes erőművek ugyanúgy kihívások elé állítja a Mavír kollegáit, mint a KIF és KÖF hálózatok üzemeltetőit. A kapacitások megléte, illetve eltűnése ugyanolyan problematikus kérdéskör mind a kisfeszültségű elosztásban, mind a közép- és nagyfeszültségű hálózatokon. Alállomások kihívásai és az ezzel járó feladatok talán annyival könnyebbek, hogy az alállomásoknak valamilyen szinten csak közvetítői feladatai vannak, az U-Q szabályozási- és a NAF/KÖF autotranszformátorok szabályozási lehetőségeivel könnyen kompenzálhatóak az úgynevezett kihívások, feszültségcsökkenések. Az igazi nehézségeket az adja, hogy a $\sum P_t = \sum P_f + \sum p_v$. Azaz az energia megmaradása miatt a hálózaton minden egyes pillanatban egyenlőnek kell lennie a termelői és a fogyasztói teljesítménynek. Egyértelműen fogalmazva: mindig annyi teljesítményt kell betáplálni a rendszerbe, amennyi a fogyasztás és a hálózati veszteség. Erőműveket úgy kell szabályozni és az importot úgy kell vételezni, hogy mindig elég teljesítmény álljon rendelkezésre. Könnyen belátható, hogy szállítási veszteséget takaríthatunk meg, ha helyben fogyasszuk el a megtermelt energiát.



5.1.1. ábra Transzformátor hatásfoka a terhelés és a teljesítménytényező függvényében

Az ábrán látható – Tényi V Gusztáv Villamos gépek jegyzete alapján - a transzformátor hatásfok a terhelés növekedésével egyre csökken, vagyis terhelés hatására a veszteségek nőnek. P_v a vasveszteség P_t a tekercsveszteség. Transzformátor katalógus adat például, hogy egy 132/22 kV 25 MVA gépnek az üresjárási vesztesége 11 kW, és a működés alatti tekercsveszteségről még nem is esett szó.

Viszont a szabadvezeték átvitelének is van vesztesége: $S_v = 3 \cdot \bar{I}^2 \cdot \bar{Z}$ ami alapján láthatjuk, hogy a feszültségemelés és a szabadvezeték, illetve a kábel keresztmetszetének emelésével az átviteli veszteségek csökkenthetőek, nyilván ez minden feszültségszintre vonatkozóan igaz. Katalógus adat, hogy a keresztmetszet emelése által a vezetők induktív reaktanciája és ellenállása is csökken.

Például egy 50 MW-os átvitelnél 132 kV feszültségen, 50 km hosszú és 0,28Ω/km-es impedanciájú szabadvezetékkel számolva számoljuk ki mennyi az átvitel vesztesége.

Látszólagos áram: $I = S / (3 \times U_f) = 50 \text{ M} / (3 \times 76,2) = 218 \text{ A}$.

Szabadvezeték impedanciája: $50 \times 0,28 = 14 \Omega$.

Szabadvezeték vesztesége: $S_v = 3 \cdot \bar{I}^2 \cdot \bar{Z} = 2 \text{ MVA}$.

A veszteség pontosan 4%, tehát belátható, hogy az átvitel veszteséges. Az $U(Q)$ szabályozás is teljesítményt vesz fel a hálózatról. Tehát mind az átvitelnél, mind a transzformálásnál, de még a meddő szabályozásnál is komoly teljesítményigénye van, amit az erőművekben elő kell állítani. Minden veszteséget meg kell termelni az erőművekben,

hogy úgymond el tudjuk pocsékolni. Szakemberek egy része szerint úgy tarthatóak életben a napelemes HMKE-k, ha a helyben előállított energiát helyben fogyasztjuk el. Helyben való fogyasztáskor nem terhelünk semmilyen kisfeszültségű, középvezetési hálózatot, illetve ez esetben a KIF/KÖF transzformátort sem.

5.2. Visszwatt védelmes napelemes rendszerek

Az előző fejezetben említett hálózati veszteségek leküzdése miatt egyre nagyobb az igény olyan HMKE-ekre vagy nagyobb fogyasztók esetében nagyobb teljesítményű erőművekre, amelyek nem táplálnak vissza a hálózatba. A visszwatt védelem olyan szabályozást tartalmaz az inverterekben és a teljesítményvezérlőkben, amik csak annyi teljesítményt engednek termelni, mint amennyi az adott pontban fogyasztott. Az inverter csak annyi teljesítményt termelhet, amennyit helyben elfogyasztanak, kisfeszültségű és középvezetési hálózatra nem táplálhat vissza. A szabályzás adott időpontra érvényes, nem pedig időintervallumra. Visszwatt védelmet olyankor kell alkalmazni, ha a szolgáltató kéri. A visszwatt funkcióval rendelkező inverter esetében létezik olyan, amely képes meddő kompenzálásra és ezáltal fázisjavításra is. A hálózatra nem tápláló rendszer elsődleges célja a társasházak és a nagyobb ipari fogyasztók villamos energia költségeinek csökkentése. [14] Ipari vételezők, húsiipari cégek, bevásárló központok, mint például a Tesco és Auchan alkalmaznak ilyen visszwatt védelemmel ellátott napelemes erőműveket. Társasházak esetében az energia megtakarításának mértéke 40 Ft/kWh, viszont az ipari fogyasztók energiadíja jóval több, akár 60-70 Ft is lehet kWh-ként, ami nagy megtakarításnak minősül. Nyilván az ipari fogyasztók középvezetési hálózaton vételeznek, de ez nem jelent problémát a szabályzásnak.



5.2.1. ábra Visszwatt szabályozással ellátott napelemes erőmű

Az ábrát a Tiszta Energiák készítette, ők szoktak kivitelezni ilyen rendszereket is. Kádár Péter 2021. 09. 30-ai EUKI workshop-ján elhangzott, hogy Budapest épületeinek tetőire is hasonló rendszereket akarnak telepíteni. Kimutatták, hogy borulás következtében 200 MW energiával növekszik meg a főváros teljesítményfelvétele, amit a főváros körül található alállomásokból kell táplálni. Ahhoz, hogy a fővárosba bevitt energia szállításának veszteségeit ne kelljen előállítani, ezért jó ötletnek tűnik, ha Budapest épületei tetejére ilyen vissz wattos napelemes erőműveket, vagy akár hálózatba tápláló napelemes HMKE-ket létesítenének. Egyes számítások szerint 1000-1500 MW az a napelemes teljesítmény, amit el tudnak helyezni az épületekre.



5.2.2. ábra Napelemes parkoló

Városok esetében nemcsak épületek tetejére lehet elhelyezni napelemeket, hanem akár parkolókat is be lehet fedni velük. Ha 1000 MW beépített teljesítménnyel számolunk, akkor ekkora teljesítménnyel kell számolni, amit biztosítani kell a Mavír-nak. Több gyorsreagálású erőművi kapacitásokat kell lekötöni, a kialakuló energiahányok kompenzálására. Illetve külföldről is lehet vásárolni energiát, de mindenesetre mindkét energiapótlási eljárás plusz feladatot és terhet jelent a magyar VER-nek. Az ipari fogyasztóknak és a társasházi tulajdonosoknak jó költségoptimalizálást hozhat, az időjárásfüggő napelemes erőművek pedig kihívást és energiarendszernek. A rendszer szempontjából kihívás a visszamos és a hálózatba tápláló napelemes erőmű is.

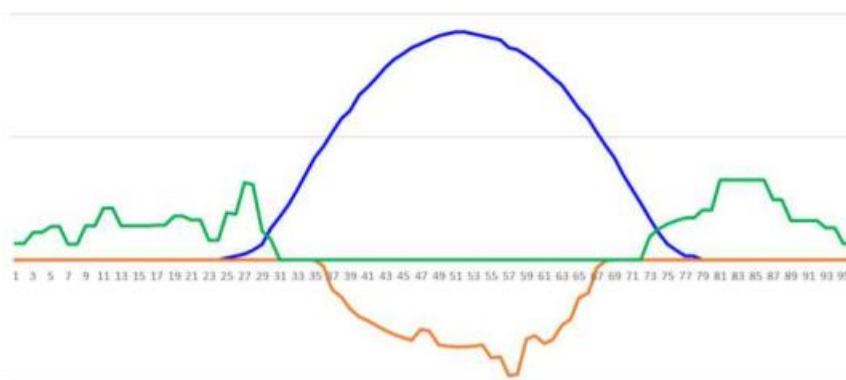
A napelemes visszamos erőművek megtérülése lassabb, és ezért éves termelése – éppen a leszabályozás miatt – kevesebb mint a hálózatba tápláló erőműveké.

Várható pozitív hatások a főváros napelemesítése következtében:[14]

- A város teljesítményigénye napos időben 30-40%-al csökkenhet.
- Elosztó hálózat veszteségei csökkennek 10-15%-al.
- Elektromos autók töltésének lehetősége.

5.3. Energiatárolók KIF-en

Az energiátárolás lehetősége és gondolata is egyre inkább nő azokra a hálózatrészekre vonatkozóan, ahova több napelemes HMKE csatlakozik és problémát okoz a feszültségemelkedés, fogyasztáskor pedig a feszültségcsökkenés. Még csak az elképzelés szintjén, viszont az MVM csoport cégei három helyen is kísérleti üzemet folytatnak. Két KIF és egy KÖF hálózati tárolóval. A kisfeszültségű tárolók Kecelen és Zsombón kerültek telepítésre egyenként 30 kWp inverterrel és 140 kWh beépített akkumulátor kapacitással. Az energiátároló gyakorlatilag egy szünetmentes tápegység, ami magas hálózati feszültség esetén tölti az akkumulátorait, alacsony hálózati feszültség esetén pedig visszatáplálja az eltárolt energiát a hálózatba. Nyilván a túlfeszültség a napelemes termelés és a hálózat decentralizálása miatt jön létre, és ez segít a feszültség csökkentésében. A nagy hálózati terheléskor pedig a berendezés feltáplálja a hálózatba az energiát. Energiátároló elhelyezése legcélszerűbb a KIF hálózat végére érdemes.



5.3.1. ábra Energiatároló működése, forrás: Nemzeti Közművek

Az ábrán a sötétkék görbe a napelemes termelés haranggörbéje, a narancssárga görbe a tároló energiatárolása, a zöld pedig a tároló energiájának hálózatra táplálása. A tároló alkalmazása nemcsak a feszültségeket, de a szimmetriákat és a teljesítménytényezőt is képes javítani. Több szempontból hatásos az alkalmazása. Viszont nagyon költséges. Drága az inverter, drága a szabályozás, az akkumulátorok véges élettartamúak. Bár az utóbbi időben egyre növekednek az akkumulátorok élettartamai és töltési ciklusszámuk, például a lítium-titán-oxid (LTO) töltési ciklusa egyes források szerint 7000, más források szerint akár 20 000 töltési periódussal rendelkeznek. De még a LiFePO₄ akkumulátorra is 4000 töltést határoznak meg az internetes reklámdalok. Ez egy nagy előrelépés a hagyományos lítium akkumulátorokhoz képest, amelyek csak 2000 töltést bírtak ki. Viszont még így is az energiatárolás túl drága és túlkomplikált eljárás, sok alkatrész, automatika, vezérlés vezérlőszekrény. Ha jó hatásfokú tárolást nézünk 3500 töltési ciklusra vonatkozóan, akkor gyakorlatilag majd 10 évig jó hatásfokkal üzemelhet a berendezés.

5.4. Értékelés

Magyar szakemberek szerint a magyar VER-be 3000 MW napelemes teljesítményt lehet integrálni, amelyet még a rendszer megfelelően tud kezelni. A magyar jogalkotók 2030-ig 6000 MW-ra tervezik a napelemes erőművek kapacitásainak összességét. A napelem bumm olyan gyors, hogy ez a szám akár 2025-re teljesülhet. De addig – meglátásom szerint - a magyar hálózatot minden feszültség szinten fejleszteni kell és minden transzformátor állomást. A magyar villamos hálózat fejlesztése – véleményem szerint - nem fogja tudni tartani a

napelemes erőművek bővülésének mértékét, a mértékadó fejlesztések alul fognak maradni. Pénz és leginkább politikai akarat hiányában az ellátásbiztonság nagyban megnőhet. Nagyjából hozzávetőlegesen majdnem mindegy, hogy mely feszültségszintre táplálnak ezen erőművek, és az is majdnem irreleváns, hogy az adott erőmű az HMKE, Kiserőmű vagy éppen Erőmű mértékű, vagy éppen visszawatos kivitelben kerül beépítésre, a teljesítmény hiányokat és pluszteljesítményeket ugyanúgy kell kezelni a VER-nek. Mivel ugyanis a feladatok nagyságát nem a feszültségbeli eltérések illetve azok kompenzálása adja. A kihívások a jövőben inkább a villamos teljesítmények előállítás, beszerzése és rendelkezésre állítása adja majd. Németországban 120 GW a teljesítménye a megújuló energiaforrásoknak a 70 GW fogyasztási teljesítményfelvételhez képest. Németország szerencsés helyzetben van, hogy tud megfelelő mennyiségű energiát exportálni és importálni is. Nagy feladat előtt állnak ők is, mivel az atomerőműveiket lassan bezárják, a gázturbinás erőműveiket használják teljesítménycsúcsok kielégítésére, ezért sokszor a szénégető fosszilis energiahordozóval működő erőművekre vannak rászorulva. Amikor Németországban süt a Nap és fúj a szél sok energiájuk van, mikor köd, akkor importra szorulnak.

Ezért érzem nagyon jogosnak a magyar mérnökök álláspontját, amit a Magyar Elektrotechnikai Egyesület 67. Vándorgyűlésén hangoztattak. 3000 MW még bőven tartható megújuló energiaforrás mennyiség, míg a 6000 MW pedig majdnem a magyar csúcsfogyasztást - 7100 MW-ot - elérő mennyiség. Véleményem szerint a lehetőségekhez képest minél jobban integrálni és tárolni kell az energiát, akár kis- akár nagyobb teljesítményű erőművekben gondolunk.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt tíz évben egyre nő a megújuló energiaforrást felhasználó erőművek száma, ez Magyarországon többnyire napelemes erőműveket jelenti. A cél mindenekelőtt a karbonsemlegesség és környezetünk megóvása.

Természetesen a környező országokban, illetve a tengerparti régiókban a szélenergia teret kapva egészíti ki az adott régió villamosenergia-ellátását. Magyarországon csak a napenergia a preferált megújuló. Magyarországon a napelemes termelés következtében létrejövő energiákat integrálni kell a hálózatba

A dolgozatom tulajdonképpen a napelemes erőművek által okozott KIF és KÖF hálózatokon létrehozott feszültség problémáit vizsgálta és szabályozási lehetőségeit. Mivel egyre több kisfeszültségű hálózatra tápláló napelemes erőmű létesül, ezért ezzel foglalkozni kell. Áttekintem a villamosenergia-ellátás nehézségeit és elosztás problémáit. Dolgozatom szerint láttuk az igazi problémát nem a feszültség beállítása okozza, hanem a decentralizáltság. További problémákat feltehetően a villamosenergia-rendszer korszerűtlensége okozza.

A fő cél a fosszilis energiákról áttérni a megújulókra, az életünk zökkenőmentes átmentése jövőbe. A fosszilis energiák egyre fogynak, ezért ezt a problémát meg kell oldani.

SUMMARY

The number of power plants using renewable energy sources has been growing over the last ten years, in Hungary, this mostly means solar power plants. Above all, the goal is to protect carbon neutrality and our environment.

Of course, in the surrounding countries and in the coastal regions, wind energy complements the electricity supply of the given region. In Hungary, only solar energy is the preferred renewable. In Hungary, the energies generated by solar production must be integrated into the electricity network.

My dissertation actually examined the problems of voltage generated on low and medium voltage networks caused by solar power plants and its regulation possibilities. More and more solar power plants are being built to power the low-voltage grid, therefore needs to take into account. I review the difficulties of electricity supply and distribution problems. According to my dissertation, we have seen the real problem is not caused by voltage regulation but the decentralization is real problem. More problems are presumably the obsolescence of the electricity system.

The main ambition is to switch from fossil fuels to renewables, saving our lives into the future smoothly. The fossil energies are dwindling, therefore this problem must to solve.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Sajtóközlemény a japán földrengés atomerőművekre gyakorolt hatásáról, Dr. Aszódi Attila 2011.03.12.
- [2] 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról [VET]
- [3] A 2030-as megújulóenergia-arány elérésének költségbecslése REKK 2018.
- [4] Dr. Novothny Ferenc Villamosenergia-ellátás I. ÓE KVK 2052
- [5] Dr. Morva György Villamosenergia-ellátás II. 2. kötet Villamos védelem és automatika ÓE KVK 2079/II.
- [6] Dr. Novothny Ferenc Villamos energetika I. ÓE KVK 2050
- [7] Faludi Andor és Szabó László Villamosenergia-rendszer üzeme és irányítása 2011.
- [8] Dr. Tarnik István Villamos hálózati zavarok
- [9] Zajác Zsolt A felharmonikus torzítás frekvenciaváltós szempontból, Danfoss cég ismeretterjesztő publikáció
- [10] Dr. Morva György Villamosenergetika 2012.
- [11] Energiaklub Hálózatfejlesztési igények Magyarországon 2017.
- [12] Holcsik Péter A kisfeszültségű villamos elosztóhálózat ellátásbiztonságának korszerű megoldásai PhD értekezés 2019.
- [13] Horváth Balázs Elmű alállomási munkatárs által közölt információk
- [14] Kádár Péter 2021. 09. 30-ai EURI workshop konferenciáján elhangzott és vetített szakmai információk