



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Kardos Martin

Hazai erőművi forrásszerkezet és piaci árak elemzése

Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat

KONZULENS

Sőrés Péter Márk

BUDAPEST, 2022

Összefoglaló

A villamosenergia-rendszer folyamatosan változik világszerte, így hazánkban is. Az újabbnál újabb fenntarthatósági célokkal és az egyre csak növekvő számú elektronikus használati eszközök miatt nem csupán egyre nagyobb rendszerterhelést vagyunk szükségesek lefedni, hanem az sem mindegy, hogy azt milyen primer energiaforrás felhasználásával tesszük. Az egyre jobban elterjedő megújuló energiaforrások, a folyamatosan növekvő szén-dioxid kvóta ár, a felhasználók életvitelbeli változásai folyamatos módosulásokat idéznek elő mind a rendszerterhelésben, mind az energiamixben, mind pedig a villamosenergia-piacon. Mindemellett a teljes a rendszer kiegyenlítetlensége is lényeges, mely a növekvő energiaárak, illetve a naperőművek bizonytalan termelése és a fogyasztók számának gyarapodásával egyre nagyobb kérdés mind pénzügyi, mind rendszerstabilitási szempontból.

Kutatásom során megvizsgálom a hazai villamosenergia-rendszer erőművi bővítéseit, a rendszerterhelés-, illetve a primer források szerint bontott termelés változásait az elmúlt években, illetve ezek szezonális és napon belüli alakulásait, belevonva az import-export szaldó változását. Ezekután ugyanezen időszak HUPX másnapi piac, illetve kiegyenlítő energia egységárainak változásait vizsgálom, illetve azt, hogy ezek milyen kapcsolatban vannak a termeléssel és a beépített kapacitások bővítésével, fókuszálva a fotovoltaiikus erőművekre.

Abstract

The power grid always changes throughout the whole world, just like in our country. Due to new sustainability goals and the increasing number of electronic devices, we are not only required to cover greater system loads than before, but we also have to keep in mind the type of primary energy source that we are using. The spread of renewable energy sources, the continuous rise in CO₂ price, and the changes in user's lifestyle are creating shifts in the system load and also in the energy mix and in the market. Besides, the lack of balance in the power system is also important, which is getting more attention nowadays from a financial and system stability aspect, because of the growing energy prices, the uncertain production of the photovoltaic power plants, and the growing number of users.

In my research, I am going to analyze the built-in capacity of the power plants, the system load, the production of each primary energy sources and the imported energy in the last couple of years. I am also going to examine their seasonal and intraday fluctuation including the changes in the import-export balance. After that, I am going to analyze, for the same time period, the unit prices of the energy compensation and the HUPX Day Ahead Market and their connection to the changes in built-in capacity and production, focusing on the photovoltaic power plants.

Tartalomjegyzék

Összefoglaló.....	i
Abstract	ii
Tartalomjegyzék	iii
1 Bevezetés.....	1
2 Hazai erőművi beépített kapacitások és termelések megoszlása és változása.....	3
2.1 Beépített kapacitások vizsgálata	3
2.2 Felhasznált energia vizsgálata	4
2.3 Erőművi termelés és rendszerterhelés vizsgálata	5
2.3.1 Éves változások.....	5
2.3.2 Szezonális változások.....	7
2.3.3 Napon belüli változások	9
2.3.4 Hőmérsékleti hatás.....	11
2.4 Import-export szaldó alakulása	14
3 Másnapi piaci árak vizsgálata	16
3.1 Éves változások.....	16
3.2 Szezonális változások.....	18
3.3 Napon belüli változások	19
4 A kiegyenlítőenergia egységárai vizsgálata	22
4.1 A kiegyenlítőenergia egységárai és az erőművi forrásszerkezet kapcsolata.....	22
4.1.1 Éves változások.....	22
4.1.2 Szezonális változások.....	23
4.1.3 Napon belüli változások	25
4.2 A másnapi piaci és a kiegyenlítőpiaci árak kapcsolata	29
5 Konklúzió	31
6 Irodalomjegyzék	32

1 Bevezetés

Az egyre csak szigorodó fenntarthatósági szabályozásokkal kénytelenek vagyunk folyamatosan bővíteni a villamosenergia-rendszerünk beépített naperőművi kapacitását. Ennek köszönhetően az energiamixnek egyre nagyobb részét teszi ki a fotovoltaiikus erőművek által termelt villamos energia, így lehetőségünk nyílna egyre jobban elhagyni a fosszilis energiahordozókat és ezáltal a szén-dioxid kibocsátást csökkenteni. Azonban a naperőműveknek is megvan a hátránya, mégpedig az, hogy nem tudjuk úgy szabályozni az általuk termelt energia mennyiségét, mint egy gázerőmű esetében. A legfőbb befolyásoló tényezője az időjárás, hogy mikor, illetve mennyire süt a nap, mekkora a hőmérséklet, mennyire felhős az ég. Emellett ki is derül ebből, hogy éjszaka, a hajnali órákban nem igazán lehet számítani a naperőművek által termelt energiára, télen pedig még nappal is kevésbé, ezért ezt valamivel ki is kell kompenzálni, akár más primer forrás által termelt energiával, akár importtal. Ahogy már említettem a naperőművek termelése nem teljesen kiszámítható, így egyre komolyabb problémát jelenthetnek az eltérések terén és egyre nagyobb lehet a kereslet a kiegyenlítőenergiára, így az árakat akár drasztikusan megnövelheti.

A kutatásom során megvizsgáltam a hazai villamosenergia-rendszer beépített kapacitásainak, illetve az energiamixnek a változását az elmúlt évek során. Emellett elemeztem a HUPX másnapi piaci árak, illetve a kiegyenlítőenergia egységárak változásait, a kapcsolatukat egymással, illetve a termeléssel és a fogyasztással. A vizsgálatok fókuszja a naperőművi termelés változása volt, illetve, hogy ez milyen hatással van a villamosenergia-rendszerre és a piacra.

A klasszikus energiapiacok terén beszélhetünk azonnali, úgynevezett „SPOT”, határidős ügyletek piacáról. A SPOT piacokat két részre bonthatjuk, másnapi (Day Ahead) illetve napon belüli (Intra-Day) piacokra. Kutatásom során a másnapi piac (DAM) áraival foglalkoztam. A másnapi piac alapvetően egy aukciós piaci forma, melyben a termelők és a fogyasztók a tárgynapot megelőző napon adják be vételi és eladási ajánlataikat a tárgynapra, ami jelen esetben a következő nap. Az ajánlatoknak tartalmaznia kell a mennyiséget és az árat is egyaránt. A fogyasztóknak meg kell adniuk, mekkora mennyiséget szeretnének vásárolni legfeljebb mekkora áron, a termelőknek pedig azt, hogy mekkora mennyiséget szeretnének eladni legalább mekkora áron. Az árakat EUR/MWh dimenzióban határozzák meg és órás bontásban vannak. Az ajánlatokat a piac üzemeltetője aggregálja, majd továbbítja a klíringház felé létrehozva egy keresleti és kínálati görbét, majd meghatározza ezáltal, hogy mely ajánlatok fognak teljesülni. [1]

A villamosenergia-rendszer megfelelő és biztonságos működésének, illetve a minőségi energiaellátás érdekében szükség van különböző rendszerszintű szolgáltatásokra. Ezen a szolgáltatások a feszültség- és meddőteljesítmény szabályozás, az üzembiztonsági szolgáltatások, a kiegyenlítő szabályozás, illetve a hálózati átviteli keresztmetszetek, metszések kezelése. Kiegyenlítő szabályozás alatt a teljesítményszabályozási tartalékokat értjük. A villamosenergia-rendszer legfontosabb szabálya, hogy folyamatosan biztosítani kell, hogy a termelt energia változása lekövesse a fogyasztás megváltozását.

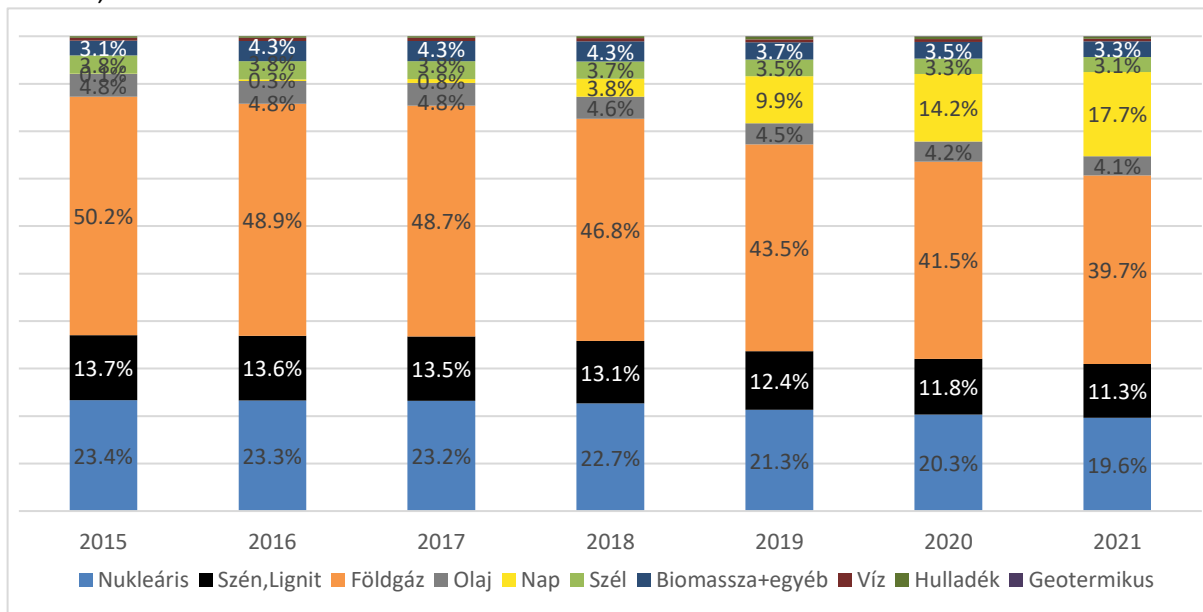
[2] A villamosenergia-rendszer teljesítményszabályozását három részre bonthatjuk: primer szabályzásra (amit FCR-nek, avagy Frequency Containment Reservenek, magyarul frekvenciatartó tartaléknak is nevezhetünk), szekunder szabályzásra (amit aFRR-nek, avagy automatic Frequency Restoration Reservenek, magyarul automatikus frekvencia-helyreállítási tartaléknak is nevezhetünk), illetve tercier szabályzásra (amibe az mFRR, avagy manual Frequency Restoration Reserve, magyarul kézi frekvencia-helyreállítási tartalék, illetve az RR, azaz a Replacement Reserve, magyarul a helyettesítő tartalék tartozik). A különböző szabályozási fajták hierarchikus rendszert alkotnak egymással, ez az aktiválási idejükben is meglátszik (a leggyorsabb az FCR, aztán az aFRR, majd azt követi az mFRR, illetve az RR). [3] Magyarországon a MAVIR a rendszerirányító, így az ő feladatuk a rendszerszintű szolgáltatások biztosítása. A különböző szolgáltatások ajánlatainak kiválasztása versenytárgyalás során valósul meg. Összesen 9 különböző termékre lehet pályázni, melynek mindnek különböző feltételei vannak. [4] A különböző fogyasztók és termelők mérlegkörökbe rendeződnek, melyeknek 15 perces bontású menetrendet kell jelenteniük. Amennyiben a mérlegkör nem tartja a menetrendjét, kiegyenlítő energiára van szüksége. Ez az energia lehet egyaránt pozitív és negatív is az eltérés irányának függvényében. Amennyiben a mérlegkör hiányos, tehát energiára van szüksége a kiegyenlítő energia pozitív (fel) irányú, fordított esetben negatív (le) irányú. [5] A kiegyenlítő energia árának meghatározására a 2019 január 1-jétől alkalmazott módszertan az alapja a későbbi módszertanoknak, mely eleinte kétáras volt (külön fel-, illetve leirányú), majd 2021. május 1-jétől egyáras lett. A kiegyenlítő energia árának meghatározása negyedórás bontásban történik és figyelembe veszik a kiegyenlítő energia irányát, nagyságát, a rendszerállapotot, a HUPX DAM árakat a Magyar Nemzeti Bank által meghatározottadott napi átlagárfolyamon átszámítva, az átlagos szabályozási energiaárakat (a kétáras rendszerben külön a fel- és le irányút is), illetve különböző korrekciós tényezőket is, melyek az évek során változtak. [6]

2 Hazai erőművi beépített kapacitások és termelések megoszlása és változása

Kutatásom egyik fő iránya megvizsgálni a hazai energiamixet, a különböző primer források beépített kapacitásait, illetve a termelések megoszlásának változását az elmúlt években, belevonva az import-export szaldó alakulását. A bruttó beépített teljesítmény- [7], illetve az éves termelési és felhasználási adatokat [8] a MAVIR honlapján a *VER napi/heti/havi/éves adatok* menüpont alatt található fájlokból, a historikus termelési- [9], illetve az import-export szaldó [10] adatokat pedig a MAVIR VER aktuális adatok oldalán található historikus adatsorokból vettem.

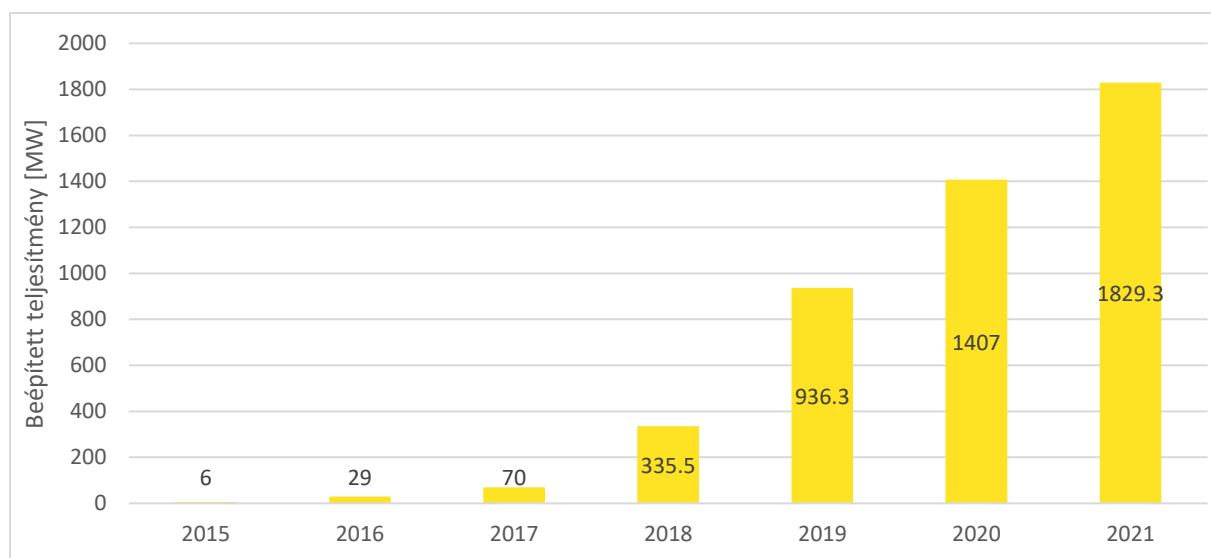
2.1 Beépített kapacitások vizsgálata

Beépített kapacitások terén 2015-től 2021-ig terjedő intervallumot vizsgáltam éves bontásban primer források szerint. Az adatokból látható, hogy a beépített földgáz tüzelésű erőművek aránya 2015-ben több, mint az összes beépített teljesítmény 50%-át tette ki, a nukleáris pedig közel a negyedét, míg 2021-ben a naperőművek elterjedésének köszönhetően ezek lecsökkentek 40%, illetve 20% alá. A hulladéktüzelésű erőművek beépített kapacitása az évek alatt megduplázódott, bár 2021-ben így is csak 49,4 MW volt.



ábra 1: Bruttó beépített teljesítőképességek százalékos megoszlása primer energiaforrás szerint
(forrás: MAVIR adatok [7] – saját szerkesztés)

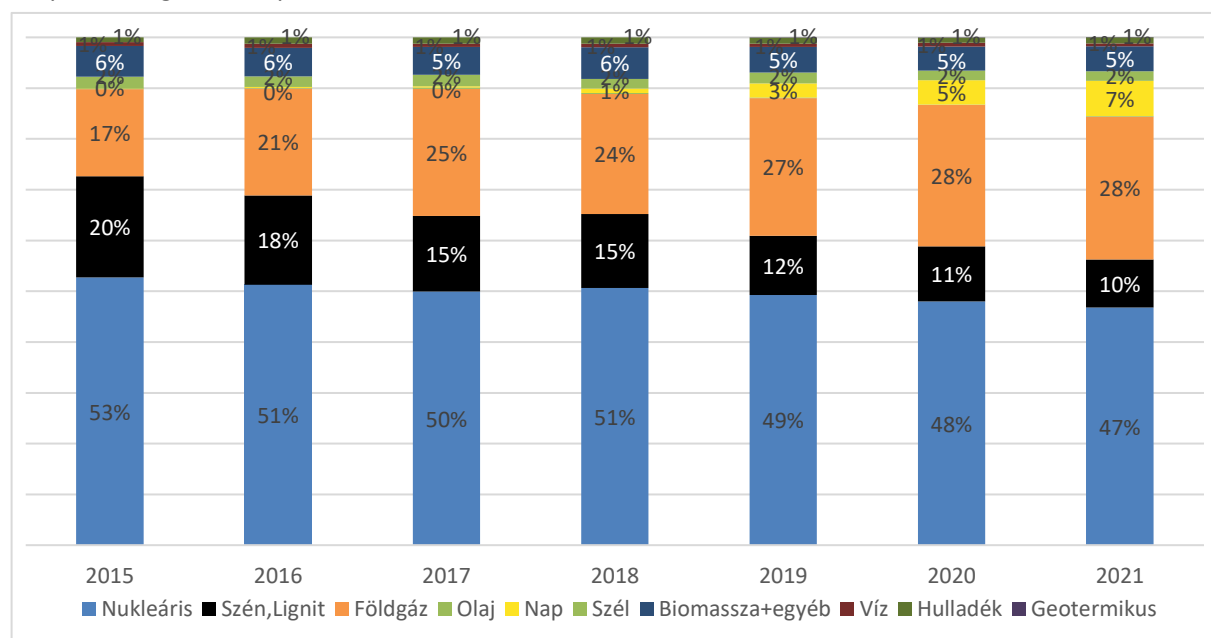
Az egyetlen lényeges változás a beépített fotovoltaius erőművek teljesítményében volt, mely a 2015-ös csupán 6 MW-ról 2021-re 1829.3 MW-ra emelkedett. Ez az összesített bruttó beépített teljesítmény (10 313,8 MW) 17,7%-át teszi ki. A növekedés mértéke 2019-ig közel exponenciálisnak mondható, onnantól kezdve a növekedés mértéke egy kisebb csökkenésnek indult.



ábra 2: Bruttó beépített naperőművi teljesítmény (forrás: MAVIR adatok [7] – saját szerkesztés)

2.2 Felhasznált energia vizsgálata

Ehhez képest a felhasznált energia százalékos megoszlása az import nélkül elég sokat változott az évek során. A földgáz aránya több mint másfélszeresére nőtt, míg a szén/lignit a felére csökkent. 2015-ben nagyobb volt utóbbi aránya, 2021-ben viszont már közel háromszorosa a földgázé. A nukleáris energiáé 53%-ról 47%-ra csökkent. A napenergia az összes termelt energiának már a 7%-át tette ki 2021-ben, hiába a beépített teljesítménynek a 17,7%-a, a naperőművek nem tudnak folyamatosan termelni, csupán a megfelelő napsütéses órákban.

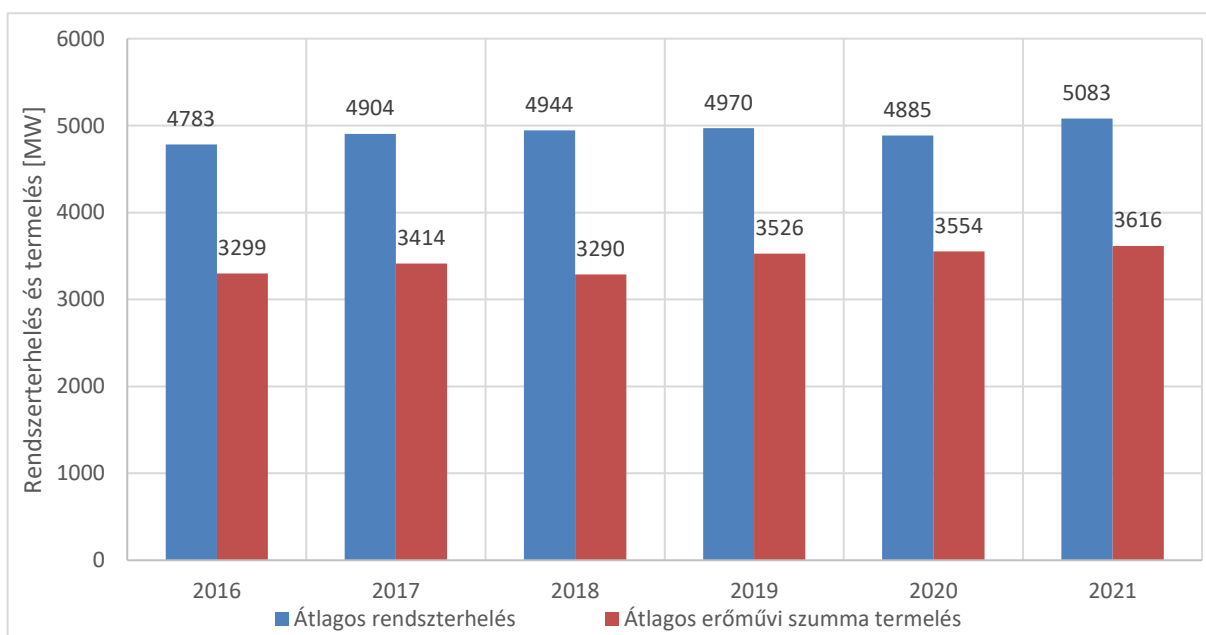


ábra 3: Bruttó fogyasztás százalékos megoszlása primer energiaforrás szerint (import nélkül) (forrás: MAVIR adatok [8] – saját szerkesztés)

2.3 Erőművi termelés és rendszerterhelés vizsgálata

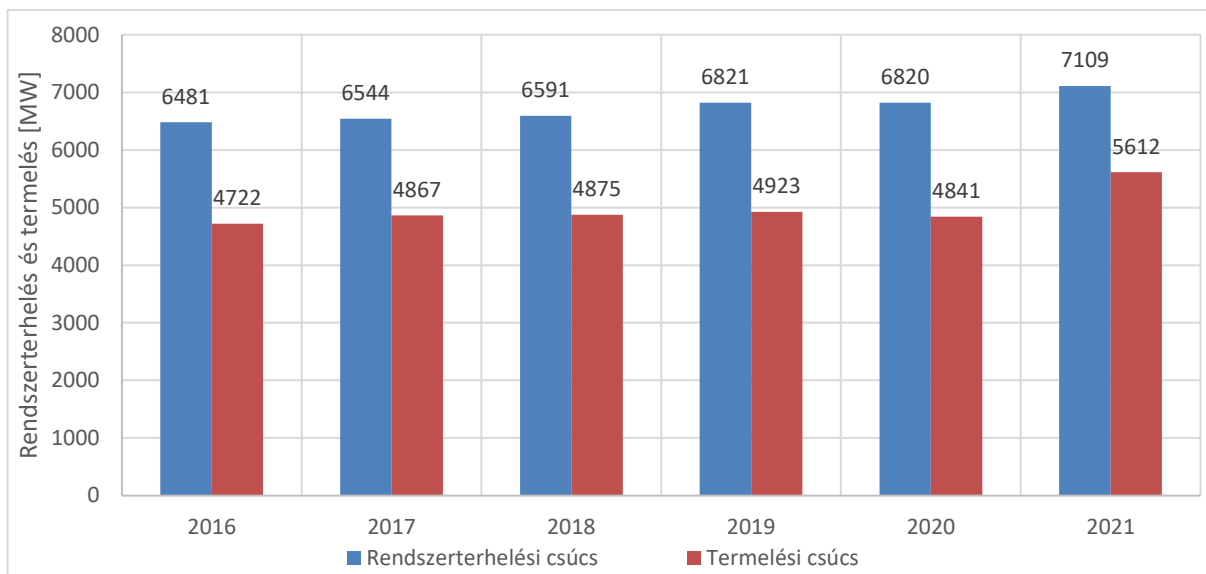
2.3.1 Éves változások

A nukleáris energia arányának csökkenése nem jelenti azt, hogy kevesebbet is termelnének az atomerőművek. Az idősoros termelési adatokat vizsgálva (melyeket csak 2016-tól vizsgáltam, mivel csupán ekkortól volt elérhető teljes éves megfelelő adat) leszűrhető, hogy az erőművi szumma termelés átlaga is szinte monoton növekedett 3299 MW-ról 3616 MW-ra, 2018-ban volt egy csökkenés 3289 MW-ra. Ehhez képest az átlagos nettó rendszerterhelés is növekedett mondhatni folyamatosan 4783 MW-ról egészen 5083 MW-ig, 2020-ban szintén volt egy kisebb visszaesés 4885 MW-ra, valószínűsíthetően a koronavírus járványnak köszönhetően.



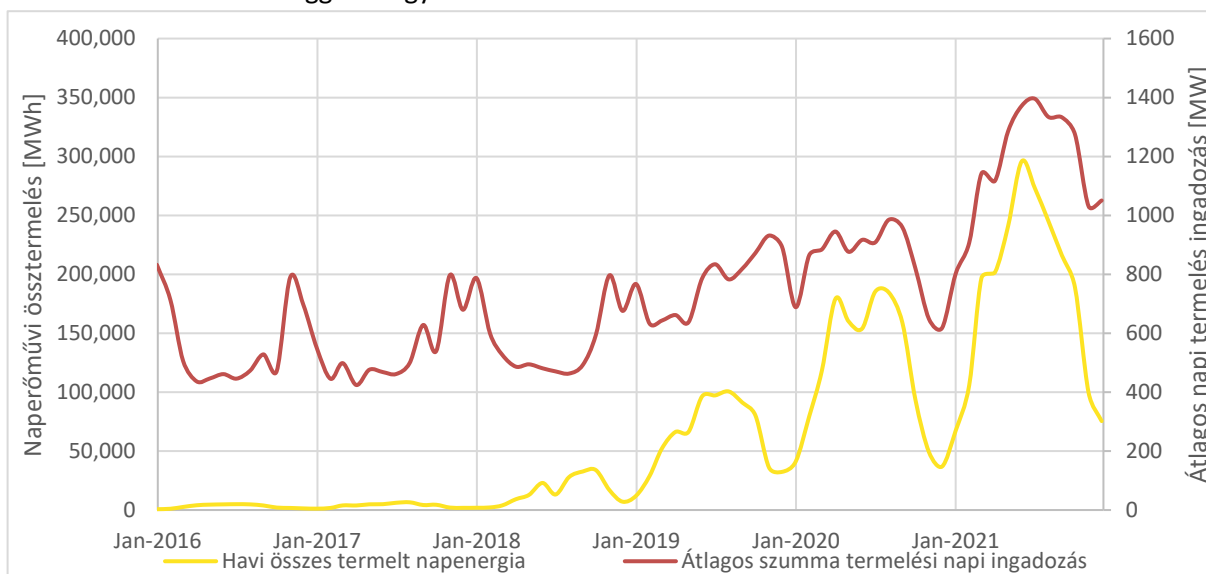
ábra 4: Átlagos nettó rendszerterhelés és átlagos nettó erőművi szumma termelés változása
(forrás: MAVIR adatok [9] – saját szerkesztés)

Az évi átlagos nettó rendszerterhelési csúcsok is az elmúlt években folyamatosan növekedtek, míg 2016-ban 6481 MW volt, 2021-ben már 7109 MW, egyedül 2020-ban nem döntött új csúcst, de ekkor is kevesebb, mint 1 MW-on múlt. Ezek a csúcsok általában a téli időszakban, főként decemberben jelentkeztek, 2018-ban viszont márciusban. Az évi termelési csúcsok is folyamatosan növekedtek 4722 MW-ról 5612 MW-ra 2020 kivételével, mikor csupán 4841 MW volt. Valószínűsíthetően ennek is a koronavírusjárványhoz lehet köze. Ezek az értékek szintén mind télen voltak, viszont nincsenek összhangban a rendszerterhelési csúcsokkal. A rendszerterhelés évi minimuma nem nagyon változott az évek során, 2016-ban volt a legalacsonyabb 2979,3 MW-tal, de végig 3100 MW környékén mozgott. Az évi szumma termelés minimuma szintén hasonló marad, 2150 MW környékén, a legalacsonyabb 2018-ban volt 1839,71 MW-al. A rendszerterhelés átlagos ingadozása 1700 MW környékén volt minden évben, míg a termelésé 565 MW-ról 1172 MW-ra növekedett.



ábra 5: Nettó rendszerterhelési és nettó szumma termelési csúcsok (forrás: MAVIR adatok [9] – saját szerkesztés)

Ez egyértelműen összefüggésben van a beépített naperőmű kapacitás növekedésével. Ahogy látható az átlagos napi termelésingadozás is növekedett a beépített naperőműkapacitásokkal az évek során, de az éven belüli összefüggés is egyértelműen látszik.

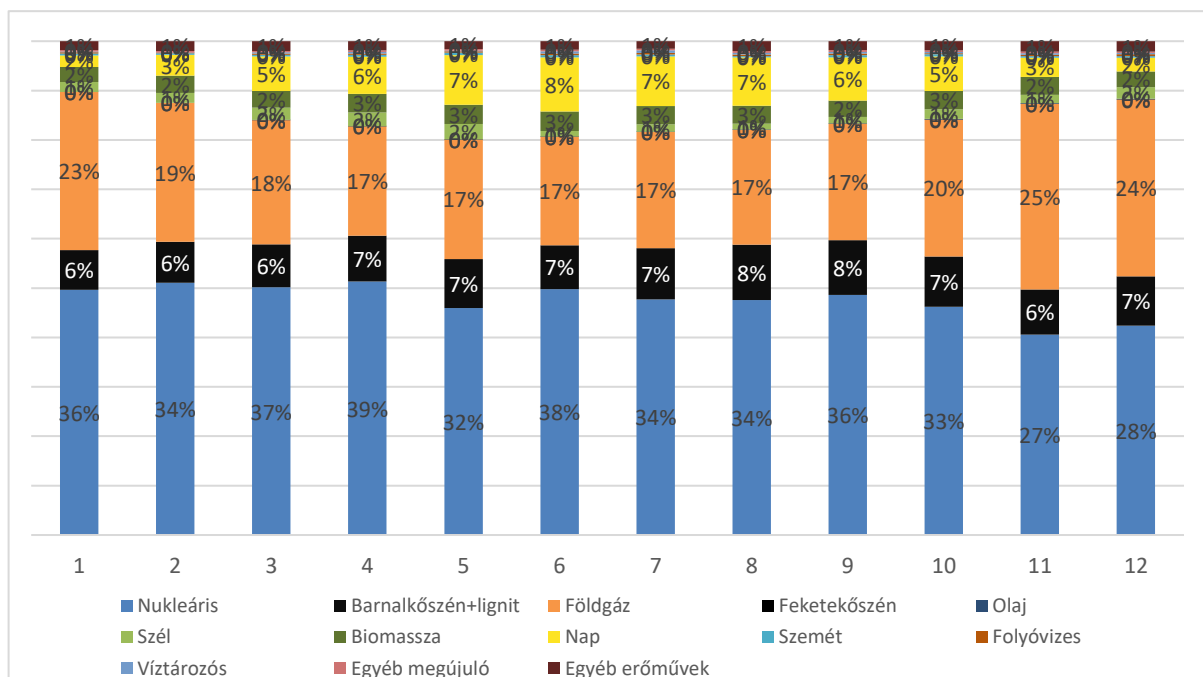


ábra 6: Havi szumma naperőművi termelés és átlagos napi termelési ingadozás (forrás: MAVIR adatok [9] – saját szerkesztés)

Az atomerőmű kihasználtsága minden évben 85% körül mozgott, a szén/lignit erőművéké, ahogy a termelés is, lecsökkent felére, egészen 30%-ra, míg a gázé 15%-ról 24%-ra emelkedett. A hulladéktüzelés éves kihasználtsága kétharmadára csökkent, de ott történt kapacitásbővítés is így az átlagos termelése kis mértékben növekedett is. A vízerőművek kihasználtsága eléggé ingadozott az évek során 35-45% között. A naperőművek beépített kapacitása rengeteget változik egy év alatt, ezért a kihasználtság számításához az előző évi és az adott évi kapacitás számtani közepét vettem viszonyítási alpnak. 2016-ban a 24% volt a kihasználtság, mely 2018-ra 10%-ra csökkent, majd 2021-re ismét 16%-ig növekedett.

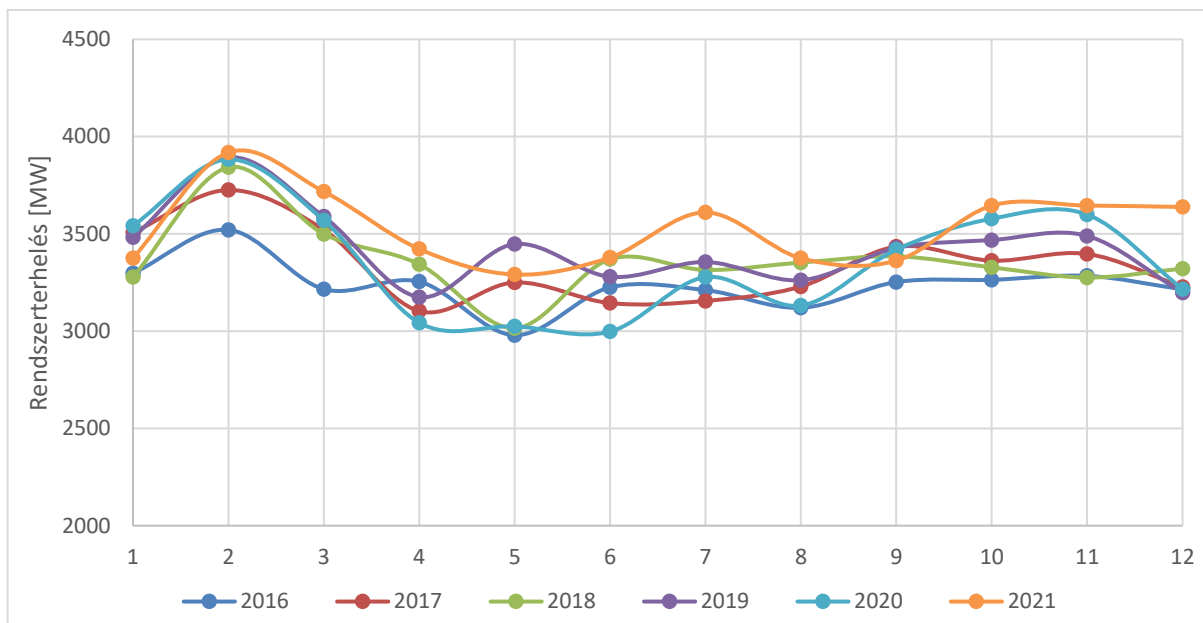
2.3.2 Szezonális változások

Éven belül a rendszerterhelés nem sokat változik, a téli hónapokban egy kissé megnövekszik, de csak 5-10%-ban. 2020 májusában van egy viszonylag nagyobb esés, ez jó eséllyel a koronavírus járvány miatti lezárásoknak köszönhető. Az erőművi szumma termelés szintén hasonlóan viselkedik, látható valamilyen szintű összefüggés a rendszerterheléssel, de néha vannak kicsit nagyobb eltérések, főleg a nyári hónapokban, illetve erre nem volt befolyással a járvány. Nagymértékben a nap- és gázerőművek termelése változik. A naperőművek termelése, ahogy várható is volt, nyáron sokkal nagyobb, mint télen, akár négy-nyolcszorosára is megnő. 2020 kivételével mindig januárban a legalacsonyabb, akkor éppen decemberben. A csúcshónap a nyári hónapok között változik, viszont 2018-ban októberben termeltek a legtöbbet, valószínűleg ekkora egy nagyobb naperőműpark léphetett működésbe. Az össztermelés szinte monoton növekszik a csúcshónapig, majd csökken a minimumhónapig, viszont majdnem minden évben van egy-két hónap, mikor ez nem így történik, az egyik leglátványosabb 2018 júliusa, ahol majdnem felére lecsökkent az össztermelés júniushoz képest, majd visszaugrott augusztusra a várható nagyságra. A gáztermelés pont fordítottan viselkedik, mint a nap, télen másfél-kétszerese, mint nyáron, viszont nem pont ellentétes, hiszen nem csupán a naperőműtermelés hiányát kompenzálja, mivel a MW-ban mért változás nagyobb, mint a naperőműveké, illetve a rendszerterhelés szinte mindig jóval nagyobb, mint a szumma erőművi terhelés. (2016-ban minimális naperőművi kapacitás mellett is hasonlóan viselkedett.) Ezek mellett még az atomerőmű termelése sem folyamatosan a 2000 MW környékén mozog, ez gyakran kevesebb is, hiszen karbantartások miatt nem mindig megy minden blokk, illetve előfordulhat, hogy ezeket le is kell terhelni. [11]



ábra 7: Nettó erőművi termelésmegoszlás havonta 2020-ban primer energiaforrások szerint
(forrás: MAVIR adatok [9] – saját szerkesztés)

A rendszerterhelések havi minimumának görbájén fellelhető egy igencsak különös szabályosság. Februárban a legmagasabb, majd április-májusig csökken a legalacsonyabb értékig, majd az év többi részében egy hasonló érték körül mozog.

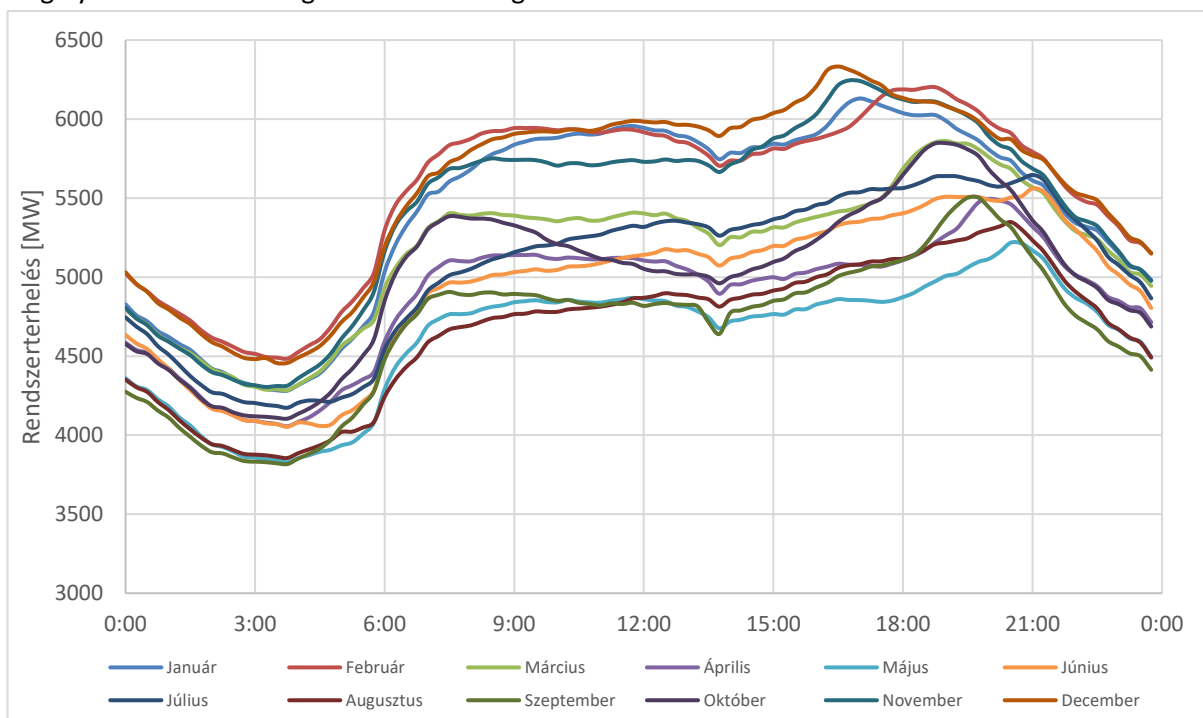


ábra 8: Havi minimum rendszerterhelések (forrás: MAVIR adatok [9] – saját szerkesztés)

Az éven belüli kihasználtság változása csupán a nap- és gázerőművek esetében mutat szezonalitást. Mivel a naperőművek beépített kapacitása lényegesen nagyot változik minden éven és csupán éves adatok érhetőek el róluk, így havi bontással közelítettem, miszerint az adott évben egyenletesen változik az előző és adott évi kapacitás között. Kiderül az adatokból, illetve egyértelmű is, hogy a naperőművek kihasználtsága is hasonlóan viselkedik, mint a termelés, télen alacsonyabb, 5-10% körül, míg nyáron magasabb, 20% környékén mozog, viszont itt kevésbé egyenletes, nagyobbak az ugrások. A 2016-os adat nagyon eltér a többitől, ott áprilisban 50% felé ugrik, valószínűsíthetően ennek a kis beépített kapacitás lehet az oka, mivel ezen napelemek jó eséllyel a legoptimálisabb földrajzi helyre vannak helyezve, illetve az apró mérési hibák is nagyobb százalékos eltérést jelenthetnek, nem beszélve arról, hogy a kis beépített kapacitásváltozás miatt valószínűleg a havi közelítés még pontatlanabb. Ősszel gyorsabban csökken, mint amennyire tavasszal nő, így a minimum is kissé el van tolódva őszi felé. A gázerőművek esetében az évi adatot használtam minden hónapra, hiszen itt elhanyagolható a változás. Itt minden ellentétben a naperőművekhez képest, viszont egész évben egyenletlenebb a görbe. Télen 25-30% körül mozog, míg tavasz végén, nyár elején 10-15% körül. Az évi minimum minden évben április-májusban van.

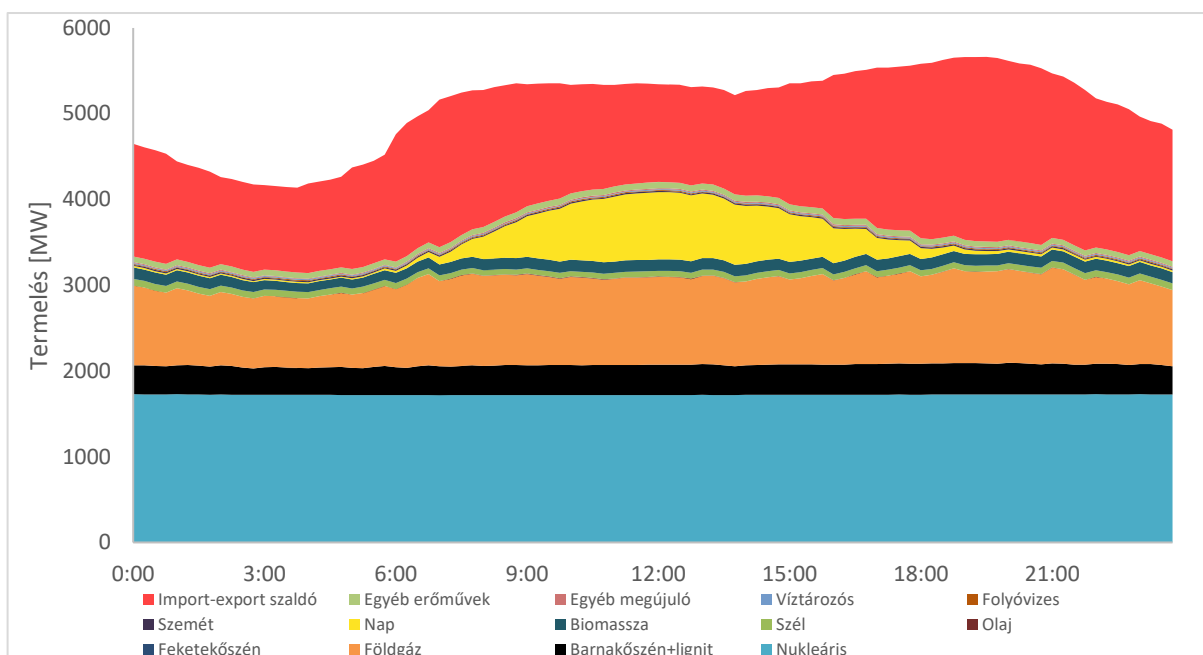
2.3.3 Napon belüli változások

A rendszerterhelés napon belül természetesen változik. Éjszaka van egy 4000 MW körüli völgy, majd reggel 8-ra felugrik 5000-5500 MW-os csúcsra és ez a szint körül marad. Délután van egy kisebb, 100 MW körüli visszaesés, 13:45-kor van minden éven átlagban a legkisebb délutáni érték. Ezek után ismét felugrik az esti órákra. 2016-ban még nem sokat mozgott napon belül, az esti csúcs is a reggeli környékén volt, ám az évek haladtával egyre nagyobb lesz este, 2021-ben már 300 MW-tal nagyobb volt, mint reggel. Az éjszakai völgy szintén sokat nőtt az évek során, a 2016-os 3750 MW-os értékhez képest 2021-ben már 4150 MW volt. A napközbeni rendszerterhelésre nem mondható el ilyen változás, 100 MW-os sávon belül mozognak az évek értékei, de nincs folyamatos növekedés vagy csökkenés. Az éven belül viszont változik valamilyen szinten a görbe alakja, télen 17 óra környékén van az esti csúcs, míg nyárra ez kitolódik egészen 20-21 óráig.



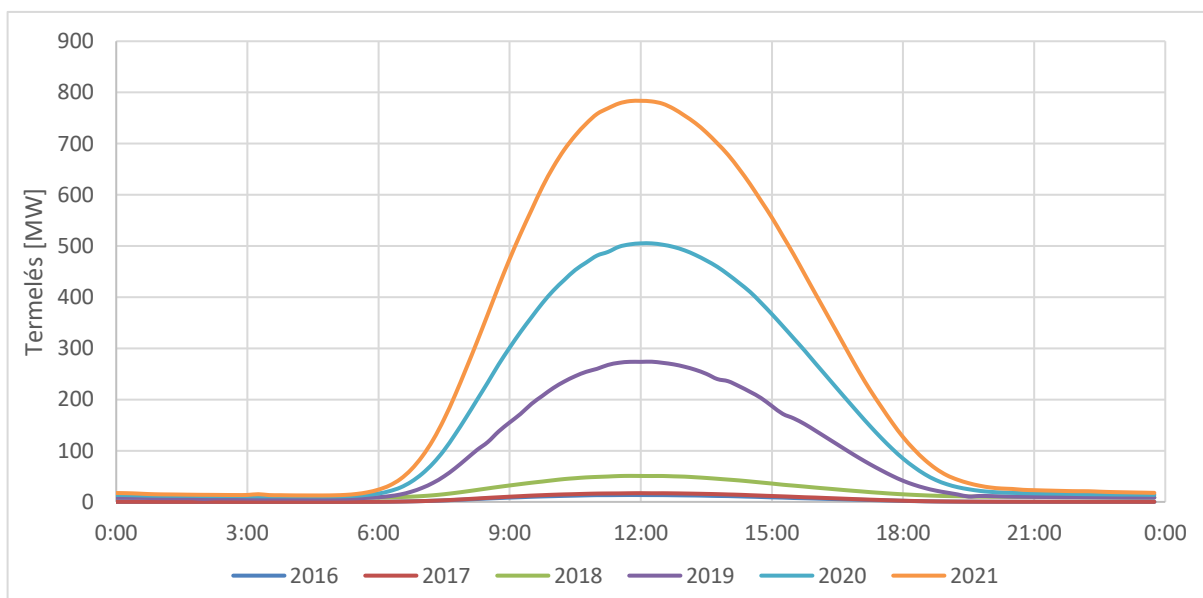
ábra 9: Napon belüli rendszerterhelés változása havonta 2021-ben (forrás: MAVIR adatok [9] – saját szerkesztés)

A termelés esetében főleg a naperőművi termelés az, ami változik napon belül. Éjszaka a gáztermelés általában csökken körülbelül 10%-ot, de napközben szinte konstans. Láthatjuk is ebből, hogy napon belül a termelés nem követi le a rendszerterhelés változását, a szükséges energia importtal van kompenzálva.



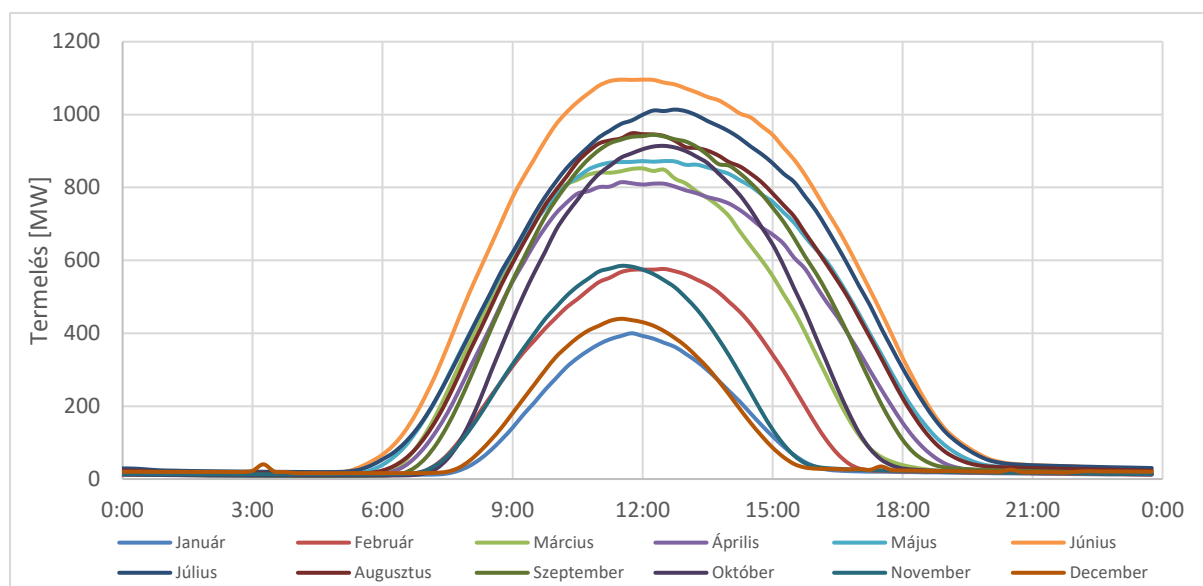
ábra 10: Átlagos napi energiamix 2021-ben (forrás: MAVIR adatok [9] – saját szerkesztés)

A naperőművi termelés reggel 6 óra után kezd el növekedni, egészen délig, amikor is eléri a csúcst, majd egészen este 7-ig csökken. Az évek alatt a görbének lényegesen nőtt a nagysága, köszönhetően a beépített kapacitások- és ezáltal a termelések növekedésének, de alakja nem változott.



ábra 11: Napon belüli naperőművi termelés változása évente (forrás: MAVIR adatok [9] – saját szerkesztés)

Ahogy már említettem a naperőműveknek van szezonális is, ez a görbék méretét is befolyásolja napon belüli alakulás terén, illetve látható, hogy a téli hónapokban el van kissé tolódva a görbe balra, nyári hónapokban pedig jobbra. Ha megvizsgáljuk mely hónapok merre vannak eltolódva látható, hogy ennek valószínűleg az óráátállítás lehet az oka. Az is látható, hogy télen sokkal kisebb az időszak, amikor termelnek a napelemek, reggel 7-től 16-17 óráig, viszont nyáron már 6 óra előtt elkezdnek termelni és csak este 8 után csökken le teljesen a görbe.

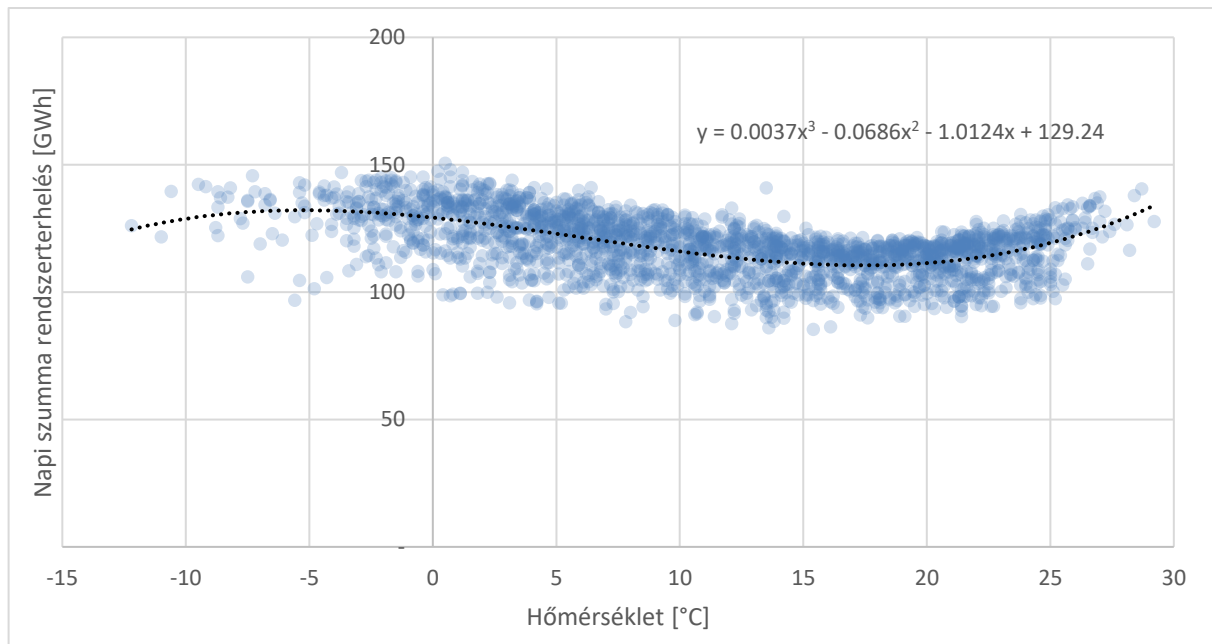


ábra 12: Napon belüli naperőművi termelés változása havonta 2021-ben
(forrás: MAVIR adatok [9] – saját szerkesztés)

2.3.4 Hőmérsékleti hatás

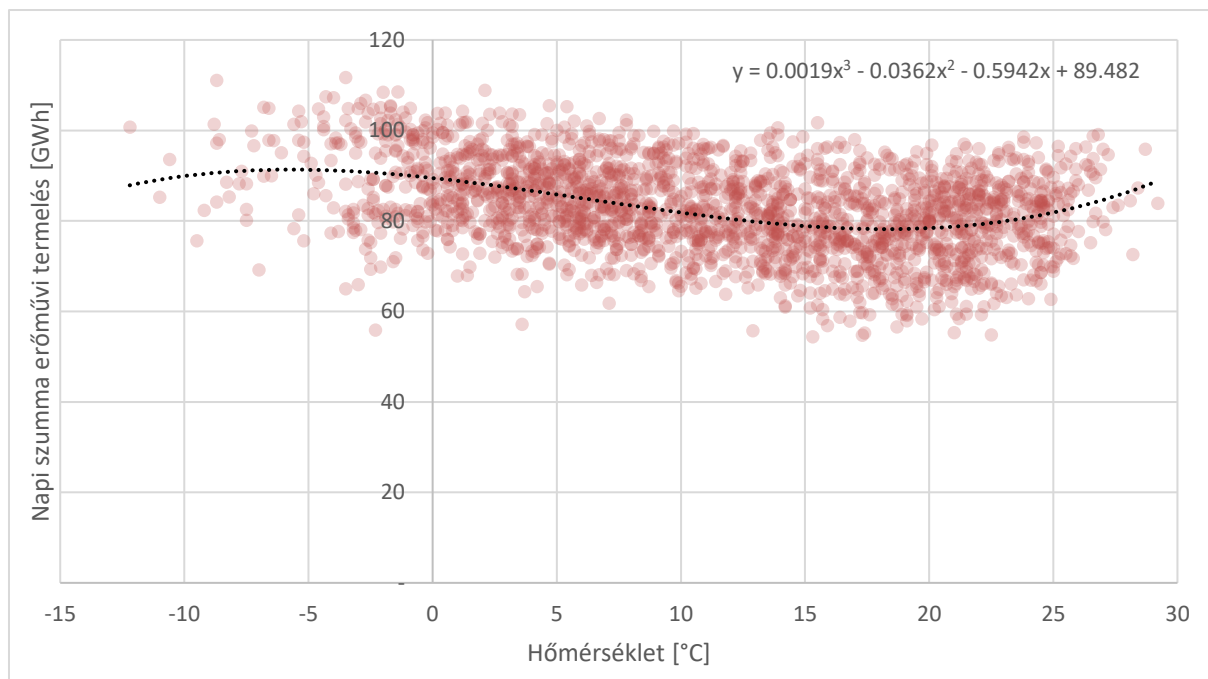
A következő lépésben a villamosenergia-rendszer hőmérsékletfüggését vizsgáltam. Ehhez a magyarországi napi középhőmérséklet adatokat használtam, melyeket az Országos Meteorológiai Szolgálat online adattárából töltöttem le. [12] A vizsgált időszak hasonlóan 2016-2021-ig tart.

Először a kereslet változását vizsgáltam. Ábrázoltam a napi összes villamos energia fogyasztást az adott napi középhőmérséklet függvényében. Erre egy harmadfokú trendvonal illeszthető, melynek egyenlete a diagramon található. Ezután elemeztem a különbségeket a valós, illetve a hőmérséklet alapján számolt fogyasztások között. Az átlagos valós napi kereslet 118,27 GWh, a hőmérséklet alapján számolt pedig 118,68 GWh. Az átlagos eltérés a kettő között 7,75 GWh (7%). A maximális eltérés 99 GWh az adatok alapján, azonban ez hibás adat, hiszen ez 2016. május 5-ére vonatkozik, amikor volt egy kiemelkedő mérési hiba egész nap. A reális maximális eltérés 36 GWh (37%) lefelé. Ami érdekesség, hogy hiába lefelé nagyobbak az eltérések, felfelé több volt, az esetek 57%-a. Ami érdekes, hogy ezzel a harmadfokú illesztőgörbével számolva az esetek 9%-ában 1 százalék, 45%-ában 5 százalék, 81%-ában pedig 10% alatt volt az eltérés a valós értékhez képest. A kereslet a hőmérséklet csökkenésével elkezdi csökkenni, majd 17,5 °C környékén ismét elkezdi növekedni, majd 7 °C környékén a növekedés mértéke elkezdi csökkenni egyre jobban. Valószínűleg ennek az lehet az oka, hogy 17,5 °C felett elkezdi bekapcsolni a légkondicionálókat, illetve alatta a villamos energiával működő fűtőtesteket, azonban 7 °C alatt már nem elég az a fűtés, el kell kezdeni használni nagyobb hatásfokkal rendelkező fűtési technológiákat is használni.



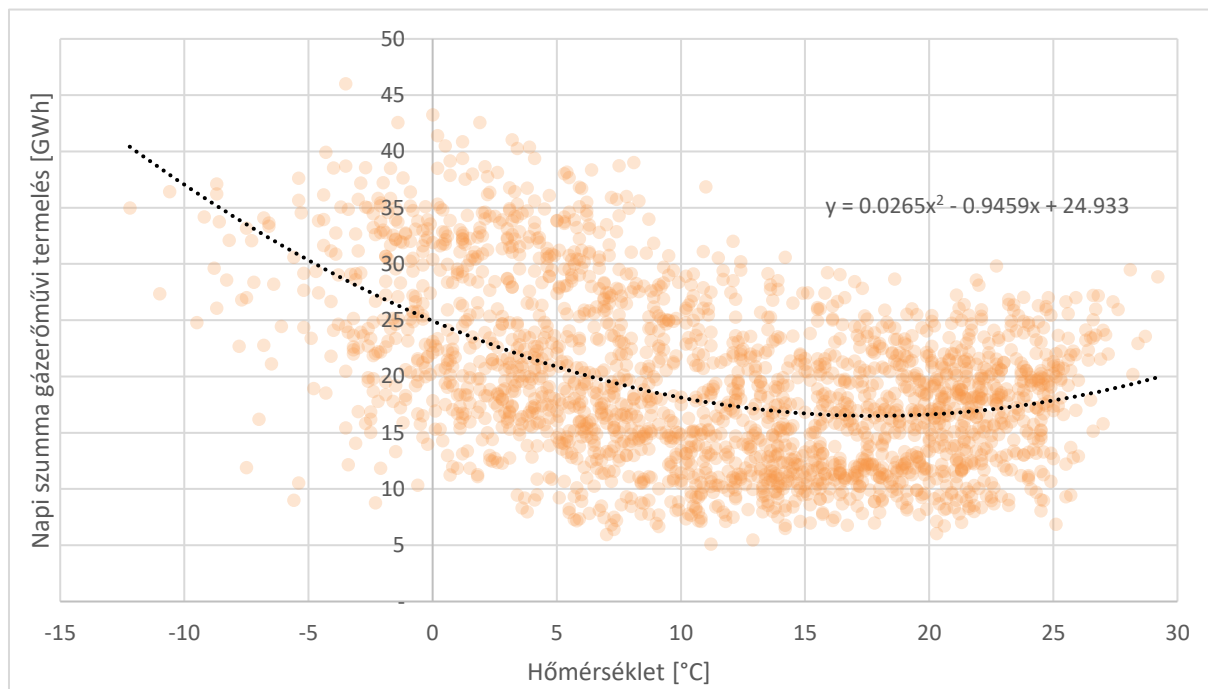
ábra 13: Napi keresletváltozás a hőmérséklet függvényében
(forrás: MAVIR adatok [9], OMSZ adatok [12] – saját szerkesztés)

A termelés változásának hőmérsékletfüggését azonos módszertan alapján vizsgáltam. A pontokra azonban egy másod és egy harmadfokú görbe is ráilleszthető, mindkét esetben 9%-os átlagos eltérést tapasztalunk, csupán 0,0159%-os az eltérés a másodfokú görbe javára, azonban mivel a fogyasztást is harmadfokú görbe alapján vizsgáltam (és a kettő összefüggésben van) a termelés esetében is azzal számoltam tovább. Az átlagos valós napi termelés 82,79 GWh, a hőmérséklet alapján számolt pedig 83,16 GWh. Az átlagos eltérés a kettő között 7,34 GWh (9%). A maximális eltérés 35,42 GWh (63%) lefelé. Ami érdekes, hogy a termelések szórása lényegesen nagyobb a kereslethez képest, sokkal kevésbé a görbe környezetében helyezkednek el a pontok. A harmadfokú illesztőgörbével számolva az esetek 7%-ában 1 százalék, 31%-ában 5 százalék, 62%-ában pedig 10% alatt volt az eltérés a valós értékhez képest. Az esetek 48%-ában volt felfelé eltérés. A görbe lokális minimumja itt kicsit magasabb 18,4 °C, az inflexiós pont viszont itt is 7 °C.



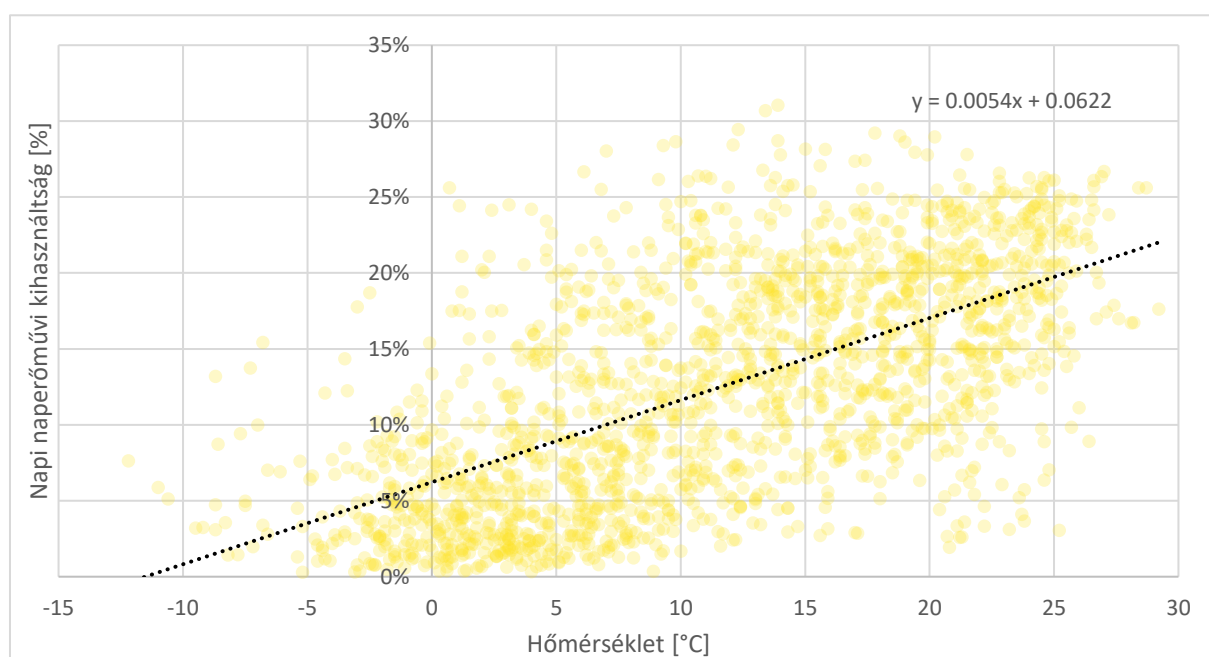
ábra 14: Napi erőművi szumma termelésváltozás a hőmérséklet függvényében
(forrás: MAVIR adatok [9], OMSZ adatok [12] – saját szerkesztés)

A gázerőművi termelésre egy másodfokú görbe illeszthető, azonban itt lényegesen nagyobb a szórás. Hiába lett a valós és a hőmérséklet alapján számolt átlag napi termelés is 19,49 GWh, az átlagos eltérés 33%. A görbe lényegesen meredekebben nő a hőmérséklet csökkenésével, mint az erőművi szumma termelés másodfokú görbéje. A maximális eltérés 247% lefelé. Az illesztőgörbével számolva az esetek csupán 20%-ában volt még 10% alatt is az eltérés a valós értékhez képest. A pont ahol irányt vált a görbe igencsak közel van a kereslet minimumpontjához, 17,8 °C.



ábra 15: Napi gázerőművi termelésváltozás a hőmérséklet függvényében
(forrás: MAVIR adatok [9], OMSZ adatok [12] – saját szerkesztés)

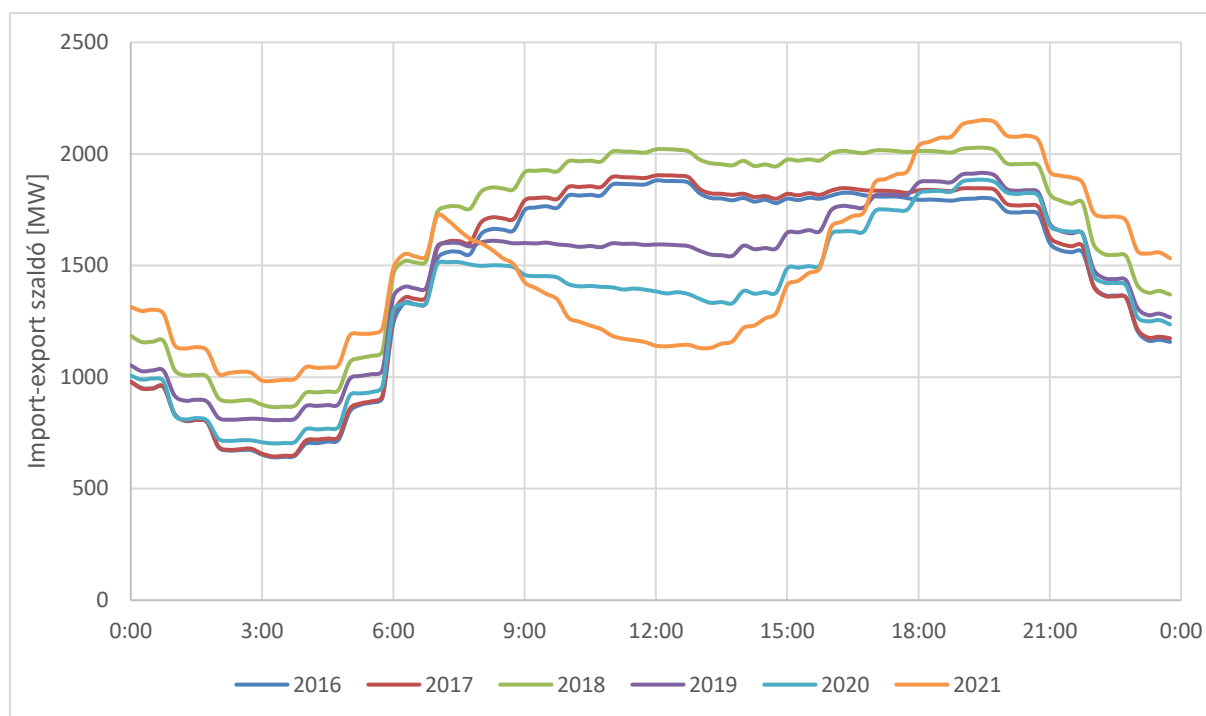
A naperőművi termelés esetében a rohamos tempóban növekvő beépített kapacitások miatt nem a napi termelést vizsgáltam, hanem havi (éves adatokból kalkulált) beépített kapacitások függvényében számoltam a napi százalékos kihasználtságot, majd ezt ábrázoltam hasonlóan a hőmérséklet függvényében. Természetesen ez nem teljesen pontos, különösen az első évben, ahol irreálisan magas értékek is vannak (pl. 109%-os kihasználtság), azonban emiatt csak a 2017-es évtől vizsgáltam. Az ábrán remekül látszik a PV termelés hőmérsékletfüggése, a pontokra egy lineáris trendvonal illeszthető. Az átlagos napi kihasználtság 16%, a hőmérsékletekből számolt pedig 12%. Az átlagos eltérés magas, 89% a valós értékekhez viszonyítva. Látható, hogy az értékek szórása igen nagy, azonban ez várható is volt részben amiatt, hogy a beépített kapacitási adatok csak közelítések, illetve abból is, hogy a magasabb hőmérséklet nem jelent feltétlen napsütéses időt sem.



ábra 16: Napi naperőművi kihasználtságváltozás a hőmérséklet függvényében
(forrás: MAVIR adatok [9], OMSZ adatok [12] – saját szerkesztés)

2.4 Import-export szaldó alakulása

Az import energia elég nagy részét teszi ki hazánk energiafogyasztásának, körülbelül 30%-át. Az évek során nem sokat változott, az évi átlag 25-32% között mozgott. Éven belül annál többet változott rendszerszerűen az import-export szaldó, minél nagyobb volt a naperőművi termelés. Az összefüggés egyértelműen látszik abból is, hogy a nyári időszakban átlagban körülbelül 75%-a volt a téli importnak 2021-ben, míg 2016-ban egy szinten mozogtak. Természetesen akkor is voltak változások, eltérések és most is vannak a napenergia termeléssel nem összefüggőek, ezek néha elég nagyok is, de ezekben nincs rendszer. Napon belül is változik természetesen az import-export szaldó, ahogy már említettem ezzel követi le a rendszer a terhelést és mivel a naperőműveken kívül nem sokat változik a termelés, ezért ennek a görbének is hasonló az alakja a rendszerterheléshez, viszont le kell vonni belőle a fotovoltaikus termelést, így minden évben egyre mélyebb lesz a délutáni völgy benne.



ábra 17: Átlagos import-export szaldó havi bontásban (forrás: MAVIR adatok [10] – saját szerkesztés)

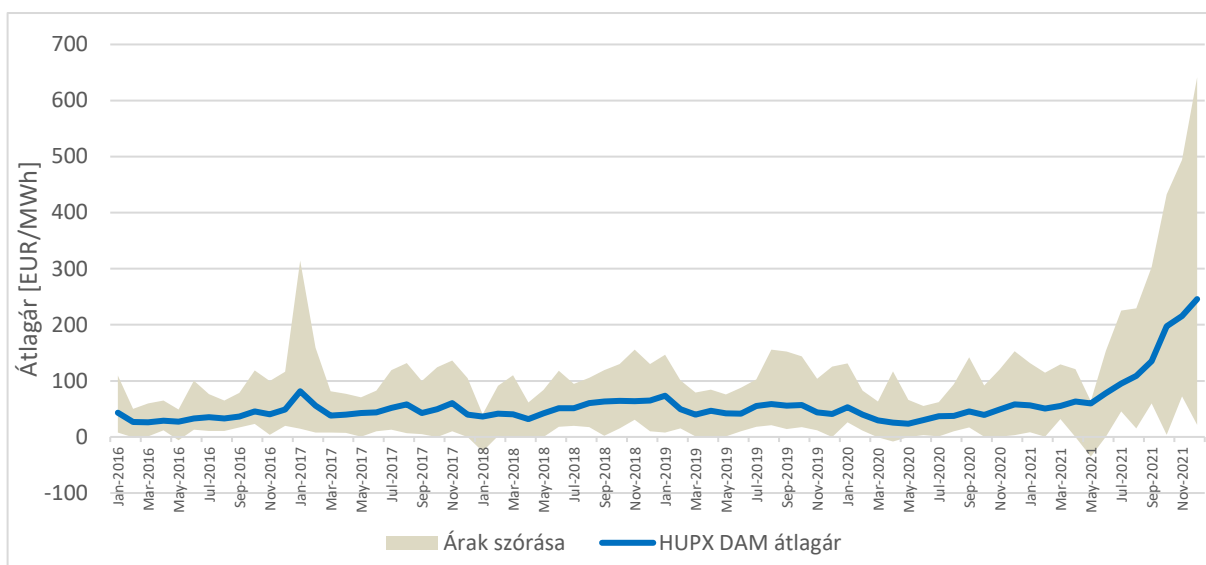
Az elmúlt 6 évben csupán az idő 0,3%-ában volt nagyobb az exportunk, mint az importunk, viszont vannak különösen kirívó esetek. 2021. április 5-én volt, hogy több mint 800 MW-tal több volt az export, mint az import. Ekkor reggel 9-től egészen délután 5-ig negatív volt az import-export szaldó. Ennek az oka valószínűleg az lehet, hogy ez a nap húsvét hétfő volt, ami munkaszüneti nap Magyarországon, viszont külföldön nem, így ott sokkal inkább volt szükség energiára, mint nálunk. Emellett volt néhány kiemelkedő hónap, ahol az idő körülbelül 3,5%-ában exportáltunk, ilyen volt 2016 júliusa és 2020 áprilisa.

3 Másnapi piaci árak vizsgálata

A hazai erőművi forrásszerkezet vizsgálata mellett a HUPX DAM (Day-Ahead Market), másnapi piaci árak elemzésével is foglalkoztam kutatásom során és ezek kapcsolatával. Az magyarországi másnapi piaci árakat a HUPX oldalán található Piaci adatok fül alatti Másnapi piac Historikus adatok oldalról gyűjtöttem ki 2016-tól 2021 végéig, majd ezek változásait vizsgáltam. [13] A HUPX DAM árak a negyedórás rendszeradatokhoz képest órás bontásban vannak H1-től H24-ig.

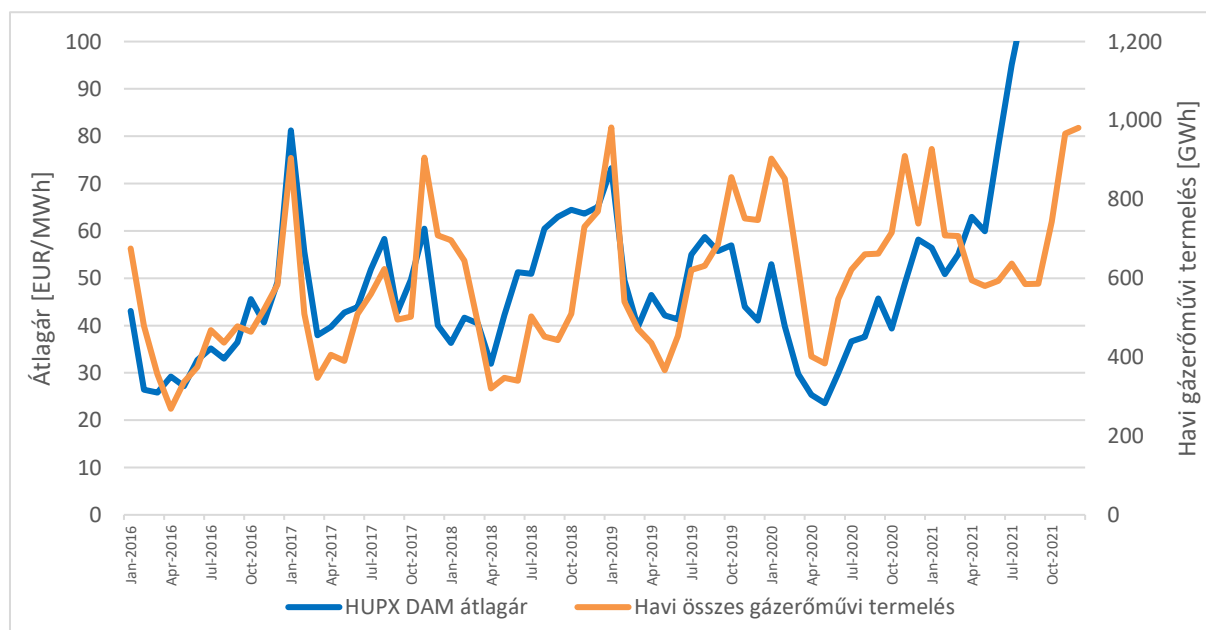
3.1 Éves változások

Az évek alatti változásokat vizsgálva látható, hogy a havi átlagárak nem változtak lényegesen egészen 2021 nyaráig. A 2016-os átlag 35 EUR/MWh-s ár 2017-re 50-51 EUR/MWh-ra növekedett majd 2020-ban esett vissza 39 EUR/MWh-ra vélhetően a koronavírus járványnak köszönhetően. Májusban 23,59 EUR/MWh volt az átlagár, mely a vizsgált időszakban a legalacsonyabb havi átlag. Innentől kezdve közel folyamatosan növekedett (2020-21 téli időszakában volt egy-két kisebb csökkenés). A 2021-es átlagár 114 EUR/MWh volt, mely annak köszönhető, hogy 2021 júniusában jelentős mértékben elkezdtek növekedni a havi átlagárak, egészen a decemberi 246 EUR/MWh-s átlagáig. Az is látható, hogy ezt az átlagot elsősorban a havi maximum árak tolták fel. Minden éven egy kisebb növekedés figyelhető meg bennük, kivéve 2017-ben mikor január 1-én (vasárnap) a H18-as ár 300 EUR/MWh volt, de utána visszaesett a trendhez. 2021-ben viszont az eddig kb. 10%-os növekedéshez képest 313%-kal növekedett az előző éveshez képest a maximum ár. December 21-én (kedden) (szintén) a H18-as ár rekordnagyságú, 620 EUR/MWh, a napi átlagár pedig 420 EUR/MWh. Minimum árak terén nem igazán volt ilyen kiugró érték. A vizsgált időszakban a rekord -35 EUR/MWh volt 2021. május 9-én (hétfőn) H15-ben. Az árak átlagárhoz viszonyított havi százalékos szórása nem növekedett hirtelen jelentőset az előbbiekhöz képest 2021-ben. Míg 2016-2019-ig 37%-os volt (2017 itt is kivétel a maga 48%-ával), 2020-ban már 45%-ra nőtt, 2021-ben viszont nem növekedett több száz százalékkal, mint az átlag- és a maximumárak, csupán 45%-ról 70%-ra. 2017-ben és 2019-ben nem volt negatív ár. 2016-ban 6, 2018-ban 2, 2020-ban 4 és 2021-ben 8 órában volt negatív az ár. Ezutóbbi 2021. május 9-én (hétfőn) történt egyhuzamban H10-től H17-ig, akkor, amikor a rekordalacsony -35 EUR/MWh is volt.



ábra 18: HUPX DAM árak havi alakulása (forrás: HUPX adatok [13] – saját szerkesztés)

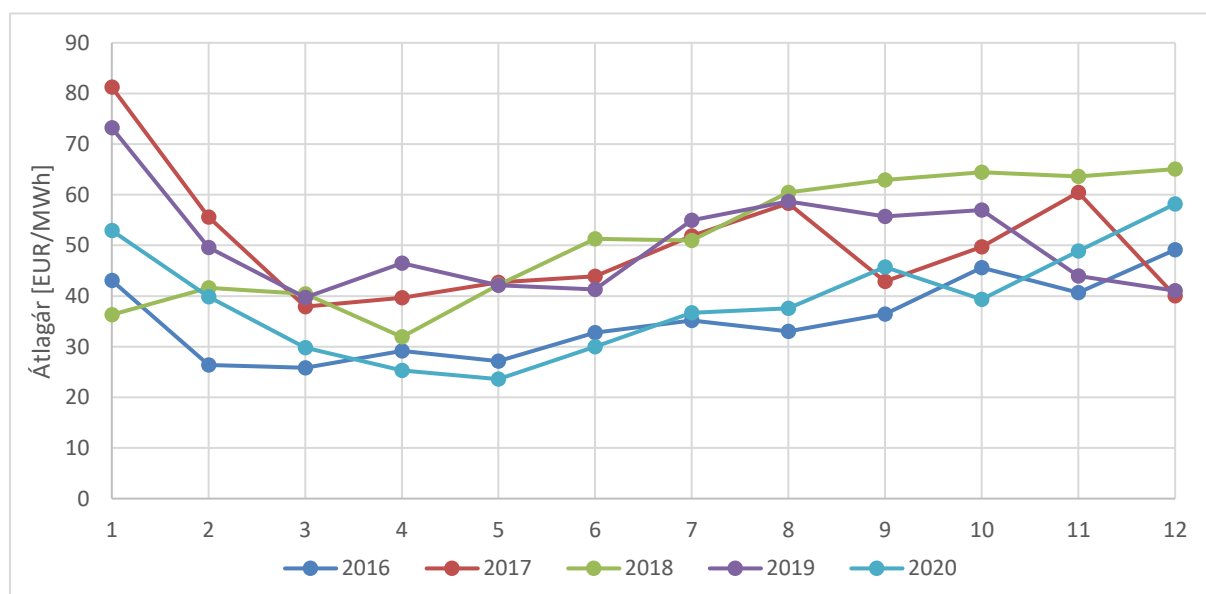
Egyértelműen látható, hogy a másnapi piaci árakat jelentős mértékben határozza meg a gázerőművi termelés hosszútávon. A növekedések, csökkenések trendje szinte folyton azonos, azonban sok esetben (főleg a vizsgált időszak elején) teljesen leköveti egymást a két görbe. Az idő előre haladtával egyre kisebb mértékben illeszkedik egymásra a görbe, de ez sok esetben inkább csak egy-egy nagyobb eltérésnek köszönhető. A 2021-es évben ez az összefüggés nem látszik, hiszen már viszonylag korán elkezdtek elszállni az árak és megállás nélkül növekedtek. A naperőművi termeléssel csupán kis mértékben látszik összefüggés (fordítottan), hiszen az előző fejezetben taglaltak szerint is a naperőművi termelés hiánya részben van csak gázerőművekkel kompenzálva, viszont 2018-ban kezdett el jelentősnek mondható fotovoltaikus termelés megjelenni az energiamixben, amikor már elkezdtek az árak kevésbé a trendek szerint alakulni.



ábra 19: HUPX DAM árak és gázerőművi termelés kapcsolata (forrás: HUPX adatok [13] – saját szerkesztés)

3.2 Szezonális változások

Az árak éven belüli alakulását vizsgálva egyértelműen megmondható, hogy van bennük szezonális. Hasonlóan viselkedik, mint a rendszerterhelés, vagy a termelés, télen a legmagasabbak az árak (december-január), míg tavasz végén a legkisebbek. Az erőművi szumma termelés és az átlagos másnap piaci árak görbáját összehasonlítva a mozgásuk erősen korrelál, amikor az egyik növekszik, akkor a másik is és fordítva viszont a változások nagyságában vannak eltérések, nem pont ugyanolyan arányban változnak az átlagárak, mint ahogy a termelés, néha kisebb, néha nagyobb mértékben. Éven belül nagyobbak a különbségek, mint a termelés esetében, itt a tavasz-végi nyár eleji és a téli árak között kb. 2,5-szeres szorzó van átlagosan. A görbéket vizsgálva a 2019-es év egy kissé kakukktójás, ott nyárra igencsak megnőnek az árak, majd novemberben visszaesnek a tavaszi minimumszintre. Illetve 2017 is érdekes, ahol az év második felében ugráltak a havi átlagárak, decemberre le is esett és valószínűsíthetően ezért maradt alacsony a 2018. januári átlagár is. Az ábrán a 2021-es évet nem tüntettem fel, hiszen az év végi 5-szörös növekedés miatt eltorzul a diagram és nem figyelhető meg elég részletesen a többi év görbéje.



ábra 20: HUPX DAM árak szezonális alakulása évente (forrás: HUPX adatok [13] – saját szerkesztés)

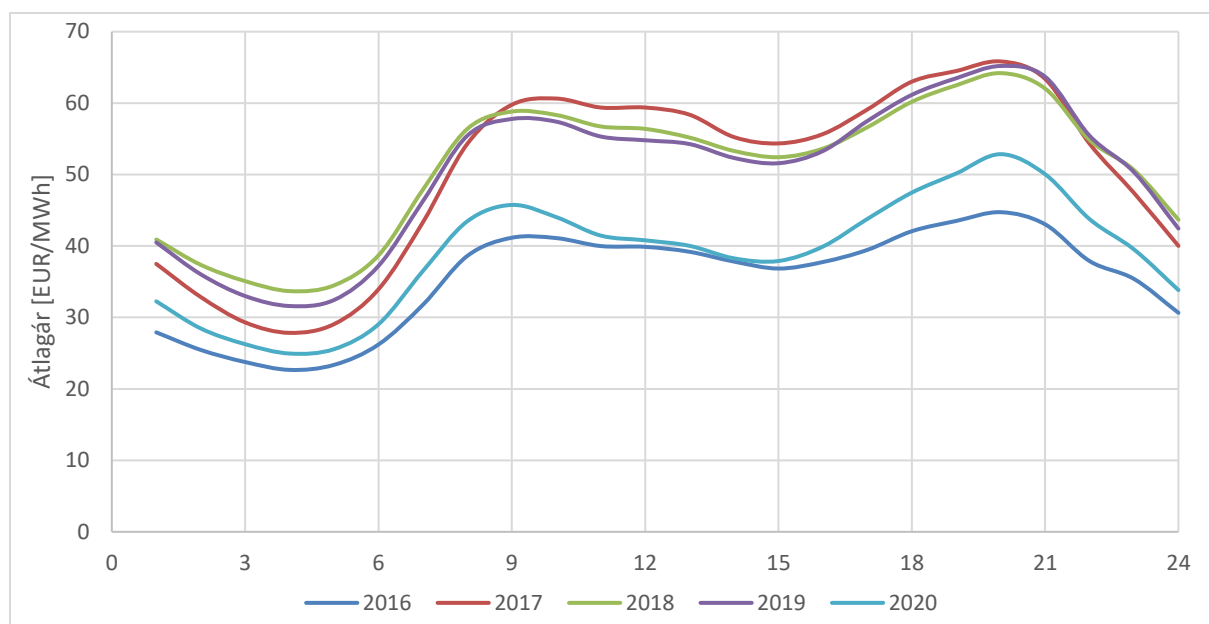
Az árakat összehasonlítva a naperőművek termelési görbéjével (illetve az előző fejezetben és bekezdésben taglaltak szerint) egy fordított arányosság fedezhető fel. A kettő között valós összefüggés is magyarázható lenne, hiszen a naperőművek alapvetően a KÁT mérlegkör tagjai. A KÁT (*Kötelező Átvételű Termelés*) támogatási rendszer lényege, hogy a rendszerirányító köteles hatóságilag meghatározott és támogatott áron megvásárolni KÁT szerződéssel rendelkező termelők által termelt villamos energiát. [14] A KÁT mérlegkör mérlegkörfelelőse a rendszerirányító, azaz Magyarországon a MAVIR. A mérlegkör által megtermelt energiát a másnap piaci piacon értékesítik. [15] Mivel a naperőművek általi villamosenergia-termelés viszonylag olcsó, így feltételezhető, hogy a piacon is alacsonyabb áron

értékesítik, ami lejjebb húzza az árakat. Ennek az a tény mond ellent, hogy a nyári és téli árak között nem lett nagyobb a különbség a vizsgált időszak előre haladtával annak ellenére, hogy a beépített naperőművi kapacitás több tízszeresére növekedett.

Az árak relatív szórásában hasonló szezonális figyelhető meg, mint az átlagárakban, hiszen látható, hogy nem a minimumárak határozzák meg, hiszen azok nem sokat változnak az év során sem (bár abban a kevés változásban is megfigyelhető a szezonális), de a maximum áraknál sokkal kiemelkedőbb. Az átlagárhoz viszonyított százalékos szórás tekintetében semmi rendszer nem fedezhető fel, teljesen véletlenszerű, 20-50% között mozog.

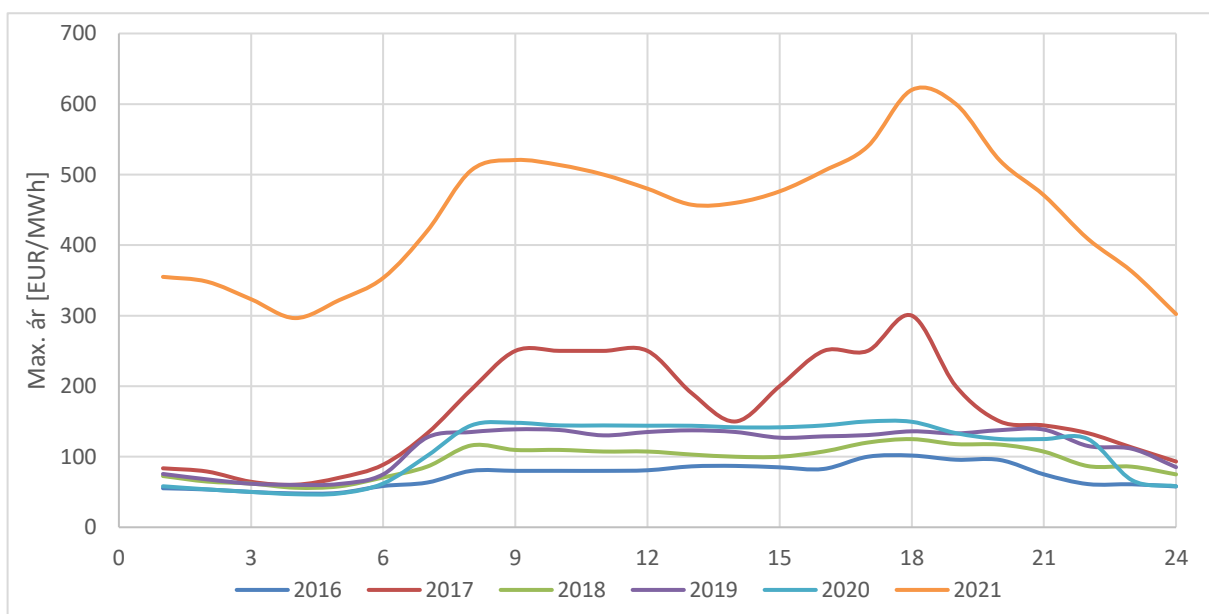
3.3 Napon belüli változások

A napon belüli árakat vizsgálva egyértelműen látható az összefüggés a rendszerterheléssel, közel ugyanolyan görbét rajzol le. Ez az eredmény várható is volt, hiszen a növekvő kereslet az árakat is feljebb húzza. Amiben jelentősebb az eltérés, hogy az árak görbéjében sokkal inkább megfigyelhető a délutáni völgy, mint a rendszerterhelés esetében. Az eltérés a délutáni völgy és a csúcsok között valamivel nagyobb (de nem jelentősen), így ezt az eltérést akár magyarázható lehet a naperőművi termeléssel is. Megfigyelhető, hogy évekre bontva az átlagárak napon belüli alakulását, két árszintre fekszenek rá a görbék nagyjából napközben, a nagyobbakra (50-65 EUR/MWh között változó) a 2017-2018-2019, a kisebbekre (35-50 EUR/MWh között változó) pedig a 2016 és a 2020 (ahogyan az éves átlagárak is hasonlóan viszonyultak egymáshoz), viszont éjszaka egyenletesen oszlanak el 20-35 EUR/MWh között, de nem időrendi sorrendben. 2016 és 2020 nem teljesen fekszik egy görbére, a csúcsoknál van valamilyen szintű eltérés, délután közel egymáson vannak. A reggeli csúcs 9 órakor, az esti pedig 20 órakor van, ez az évek alatt nem változott (kivéve 2017, amikor épphogy 10 órára tolódott az átlag reggeli maximális ár). Megfigyelhető, hogy átlagosan az éjszakai völgyhöz képest a reggeli csúcs kb. 80%-kal, a délutáni völgy kb. 60%-kal, az esti csúcs pedig kb. 100%-kal nagyobb. Megfigyelhető az is, hogy az évek előrehaladtával az éjszakai csúcs, habár csak kis mértékben, de egyre nagyobb lesz a reggelihez képest. A diagramon nem tüntettem fel a 2021-es év görbéjét, illetve a fenti összehasonlításban nem mindenhol tértem ki rá, mivel az áremelkedés miatt lényegesen magasabban helyezkedik el, azonban alapvetően ugyanúgy viselkedik, ugyanazok a trendek figyelhetők meg, mint a többi év esetében.



ábra 21: HUPX DAM árak napon belüli alakulása évente (forrás: HUPX adatok [13] – saját szerkesztés)

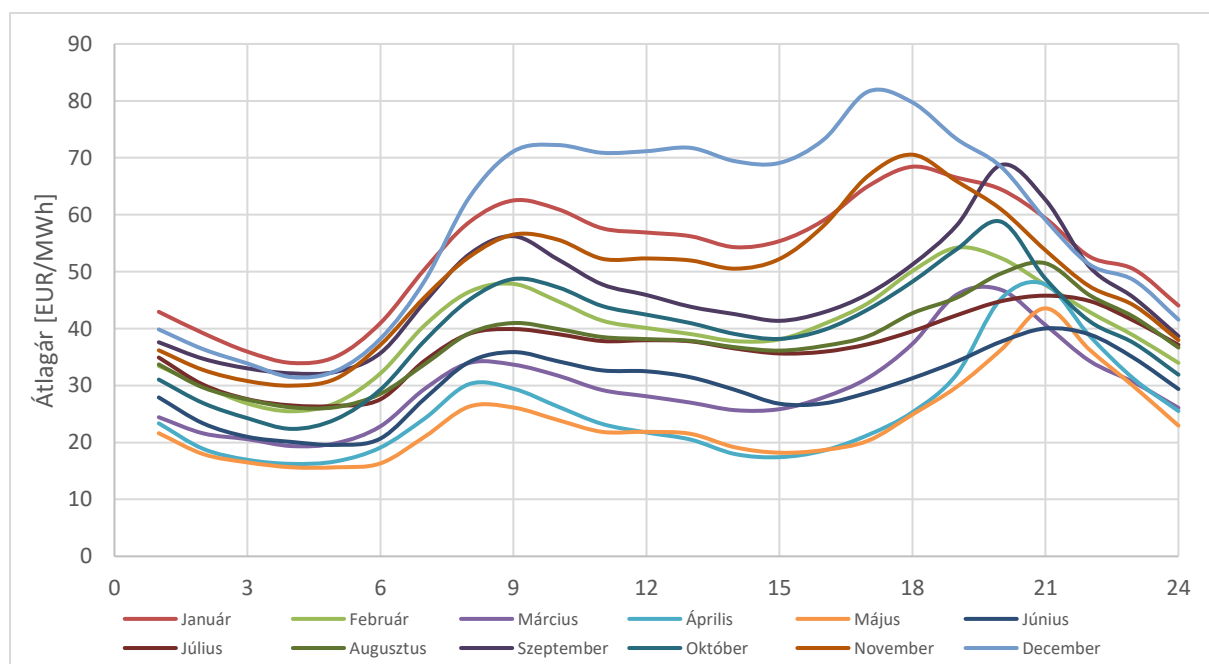
Amennyiben azt vizsgáljuk évekre bontva, hogy az adott órákban melyek voltak a legmagasabb árak szintén egy érdekes görbe rajzolódik ki. Az évek nagy részében két árszinten áll a görbe viszonylag konstansan, éjszaka 50 EUR/MWh, napközben pedig 100 EUR/MWh környékén, azonban 2017 és 2021 kivétel. 2017-ben az éjszakai és délutáni völgyidőszak óráiban tartja az imént említett szinteket, viszont 9-12 és 16-19 óra között megnövekszik 250 EUR/MWh-s szintre. 2021-ben már méginkább az átlagárak görbéjének alakját veszi fel, a csúcsok nem laposodnak el.



ábra 22: Max HUPX DAM órás maximum árak napon belül éves bontásban (forrás: HUPX adatok [13] - saját szerkesztés)

A minimum árakat vizsgálva megfigyelhető, hogy körülbelül egész nap a 0 körül mozognak a görbék minden évben, azonban 17-18 óra környékén hirtelen felugrik 20 EUR/MWh felé, majd lassan csökken vissza a 0 szintre éjfélre. A negatív árak számát elemezve a vizsgált időszak alatt megfigyelhető egy fordított arányosság a rendszerterheléshez képest. Reggel 4 és 7 óra között, illetve 10 és 17 óra között vannak negatív árak, melyből 5, 6 és 15 óra a csúcspontok a maguk 3 darab negatív árukkal.

Szezonálisan is egyértelműen látható a függés a kereslettől. Ahogy már az előző részfejezetben is említettem a téli árak a legmagasabbak, a tavasziak a legalacsonyabbak ám ezen kívül is vannak különbségek a napon belüli görbékben. Egyrészt megfigyelhető, hogy nyáron kissé ellaposodik a görbe, míg tavasszal és ősszel hegyesebbek lesznek a csúcspontok, így nagyobb is a különbség a völgyek és a hegyek között. Ezen kívül az is megfigyelhető, hogy az esti csúcspontok eltolódnak a hónapok múlásával. Télen 18, nyáron pedig 21 óra körül van a csúcspont. Legkorábban decemberben van 17 órakor, míg legkésőbb májusban, illetve a nyári hónapokban van este 9-kor. Éjszaka sokkal közelebb állnak egymáshoz az árak, csupán egy 20 eurós sávban helyezkednek el a görbék, napközben viszont ez a sáv már több, mint 40 euró.



ábra 23: HUPX DAM árak alakulása havi bontásban 2020-ban (forrás: HUPX adatok [13] - saját szerkesztés)

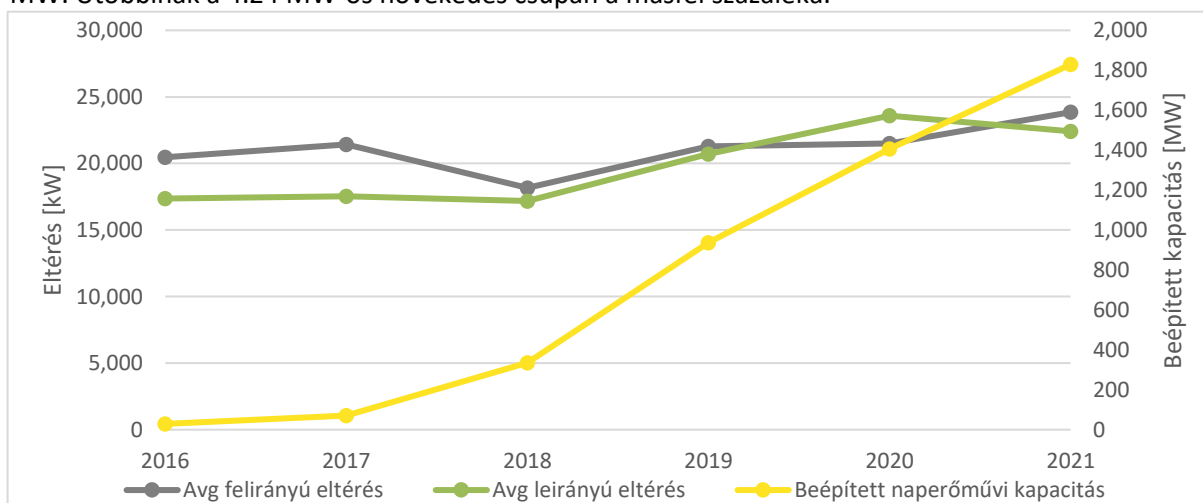
4 A kiegyenlítőenergia egységárák vizsgálata

A hazai erőművi forrásszerkezet, illetve a másnapi piaci árak elemzése mellett a kiegyenlítőpiac vizsgálatával is foglalkoztam kutatásom során és ezek kapcsolatával. A kiegyenlítő energia árának dimenziója Ft/kWh és 15 perces időszavokra vannak meghatározva. Eredetileg kétáras rendszer volt, azonban 2021. május 1-jén egyárássá vált. Az ár meghatározásához figyelembe veszik a kiegyenlítő energia irányát, nagyságát, a rendszerállapotot, a HUPX DAM árakat a Magyar Nemzeti Bank által meghatározottadott napi átlagárfolyamon átszámítva, az átlagos szabályozási energiaárakat (a kétáras rendszerben külön a fel- és le irányút is), illetve különböző korrekciós tényezőket is, amelyek az évek során változtak. [6] Az kiegyenlítőenergia egységárákat, illetve a rendszerállapot negyedórás idősoros adatokat a MAVIR honlapján található Kiegyenlítő energia egységárák oldalról gyűjtöttem ki 2021-től egészen 2016-ig visszamenőleg, majd ezeket elemeztem. [16]

4.1 A kiegyenlítőenergia egységárák és az erőművi forrásszerkezet kapcsolata

4.1.1 Éves változások

Amennyiben az eltérések éves átlagait nézzük, látható, hogy mindkét irányban abszolútértékben valamilyen szinten növekedett, egy-egy évben volt csökkenés, ennek valamilyen szinten lehet a beépített naperőmű kapacitásokhoz köze, hiszen mint tudjuk, a naperőművek termelését nem tudjuk úgy szabályozni, mint például egy gázerőművét, az időjárás pedig nem teljes mértékben kiszámítható, így a termelések megbecslése sem. Ezt is vártam volna a vizsgálat előtt, viszont az eltérés növekedése nem olyan nagy, ha az abszolútértékű eltérések átlagát nézzük, 18,96 MW-ról 23,2 MW-ra növekedett 2016 és 2021 között, ez csupán 20%-os növekedés. A beépített naperőművi kapacitás a 2016-os elhanyagolható mennyiséghez képest 2021-ben már 1829.3 MW volt, az átlagtermelésük pedig 252 MW. Utóbbinak a 4.24 MW-os növekedés csupán a másfél százaléka.

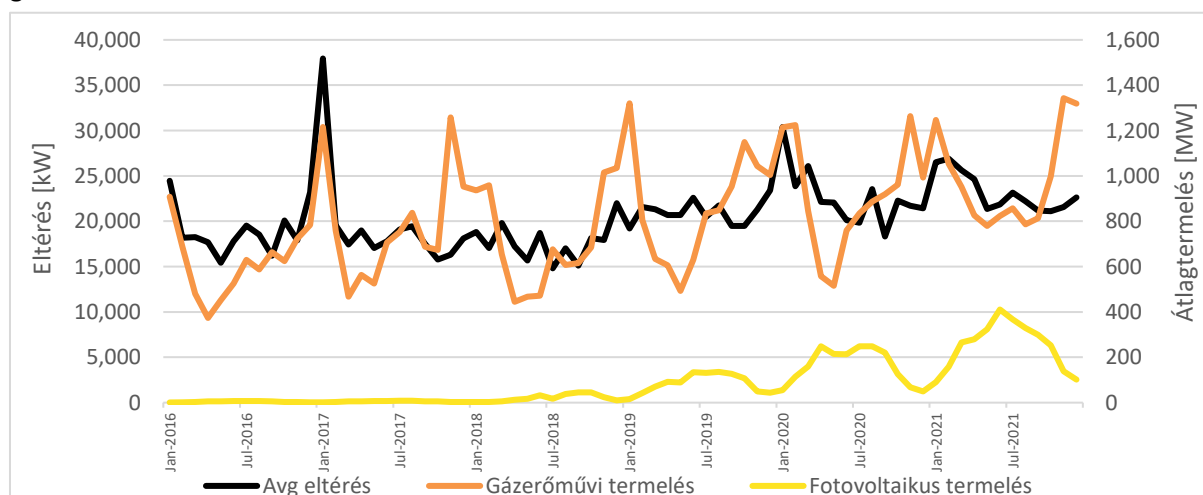


ábra 24: Éves átlagos fel- és leirányú eltérések és az éves beépített naperőművi kapacitás kapcsolata
(forrás: MAVIR adatok [7] [16] – saját szerkesztés)

A kiegyenlítő energia egységekről nem mondható el ilyen növekedés. Az éves átlagárakat vizsgálva kiderül, hogy ez nem volt egyértelmű összefüggésben a beépített naperőművi kapacitások növekedésével. Valószínűsíthetően ezen árak elsősorban a másnapi piaci ártól függenek. Az elszámolási változások hatása egyértelműen látszik az átlagárak görbéjén. 2019 januárjában jóval közelebb került egymáshoz a pozitív és negatív ár, majd 2020 januárjában is látni egy kisebb közeledést. 2021 májusában pedig egyaránt lett az elszámolás, itt egy hirtelen növekedés is megindult az árakban, viszont valószínűleg ennek az oka is a másnapi piaci árak növekedése lehet. 2019 előtt a negatív ár viszonylag kisimult volt, a pozitív átlagár ugrált nagy mértékben, azóta mindkettő. Az is megfigyelhető, hogy előtte a negatív ár átlaga szinte folyton ténylegesen negatív volt, azóta pedig összesen 2 hónapban volt az, 2020 májusában és 2021 márciusában.

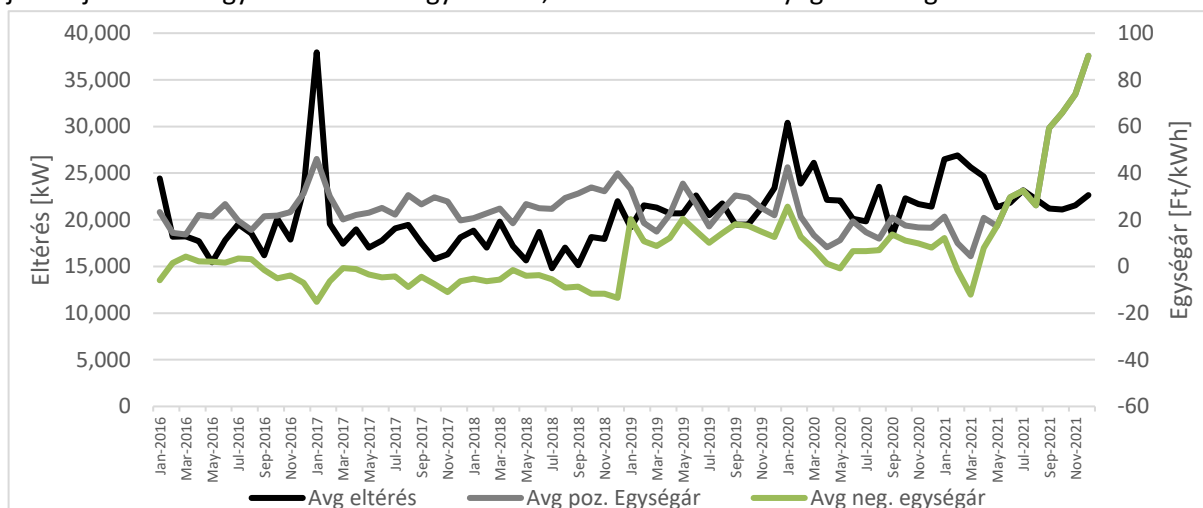
4.1.2 Szezonális változások

Éven belül nem sokat változik az abszolútértékű eltérés havi átlaga, 15-25 MW között mozog. Valamilyen szintű szezonális változás látható benne, de nem minden évben, télen kb. 20%-kal nagyobbak az eltérések. Az adott havi átlag rendszerterheléshez viszonyítva az eltéréseket százalékban vizsgálva nagyon hasonló görbék rajzolódnak ki, mint a kW-ban számolt értékeknél, így valószínűleg nem a téli megnövekedett rendszerterhelés okozza ezt a növekedést, melyek egyébként is csupán 5-10%-kal nőttek meg télen. Az egyik legkiemelkedőbb érték 2017 januárja, ahol százalékosan is kétszerese az eltérés az év többi hónapjához képest. Nem mondható el, hogy egyértelmű összefüggés lenne a naperőművek termelésével, hiszen a szezonális pont ellentétes és ha hónapokra megvizsgáljuk a pontos ellentét sem igaz. Viszont, ha a gázerőművek havi átlagtermelésével vetjük össze az abszolúteltérést, akkor látható a hasonlóság, viszont valószínűleg nem az eltérések függenek a gáztermelésről, hanem fordítva, ebből is látszik, hogy a rendszer kiegyenlítésére elsősorban gázerőműveket használunk.



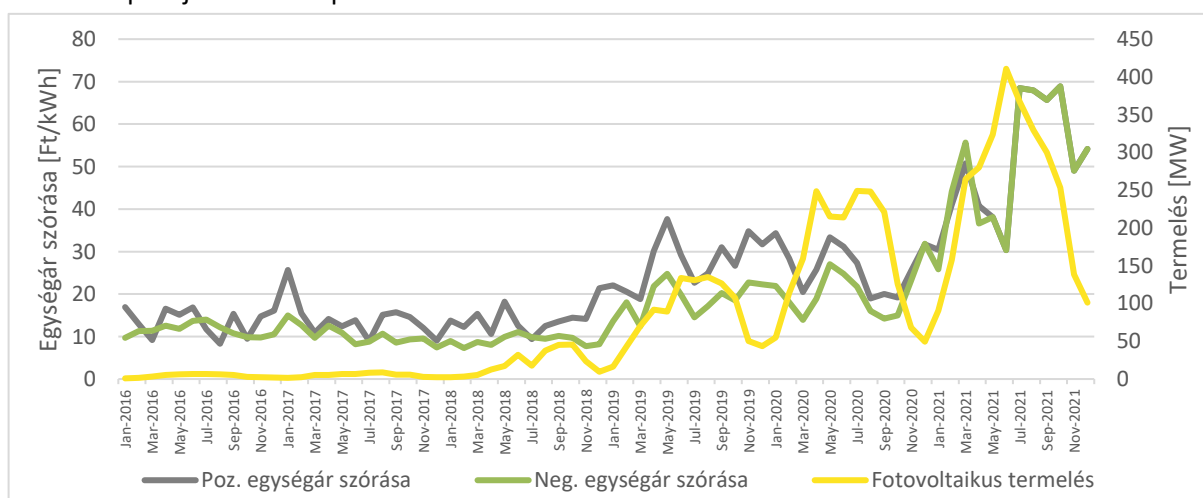
ábra 25: Gáz-, illetve naperőművi termelés és az abszolút eltérések kapcsolata
(forrás: MAVIR adatok [9] [16] – saját szerkesztés)

Az áraknak nincs sok köze a naperőművi termeléshez, inkább csupán kicsit ellentétesen, csakúgy, mint az eltérés. Ebből és az alábbi ábrából is látszik, hogy a kettő erősen függ egymástól, hasonlóan enyhén szezonális ez is, viszont 2019 óta ez az összefüggés sokszor inkább ellentétes egyes hónapok közötti változást tekintve, leszámítva a 2020. téli időszakot. Ennek is valószínűleg az elszámolási változásokhoz lehet köze, hiszen, ha jobban megvizsgáljuk látható, hogy 2019 előtt a pozitív és negatív ár is inkább ellentétesen mozgott (abszolútértékben viszont ugyanúgy), míg azóta fordítva. Ahogy az eltérés is összefüggésben van a gázerőművek termelésével, úgy a kiegyenlítőenergia egységárai is. 2017 januárjában volt egy szokatlanul nagy eltérés, ekkor az árak is lényegesen megnövekedtek.



ábra 26: Átlagos kiegyenlítő energia egységárai és az átlagos abszolút eltérés kapcsolata
(forrás: MAVIR adatok [16] – saját szerkesztés)

A kiegyenlítőenergia egységárai havi szórása viszont komolyabb összefüggésben van a naperőművek termelésével. Látható egyrészt valamilyen szinten szezonális is, de az nem annyira jellemző, ellenben látható egy folyamatos növekedés is. Az éves szórásokat vizsgálva ennek görbéje majdnem az éves átlag fotovoltaikus termelés görbéjére illeszkedik, viszont itt is láthatóak az elszámolási változások. 2021-ben ez az arányosság kissé eltűnik, viszont amivel erősen összefüggésben van, főleg a nagy júniusi esés szempontjából az a napi maximum fotovoltaikus termelések szórása havi bontásban.

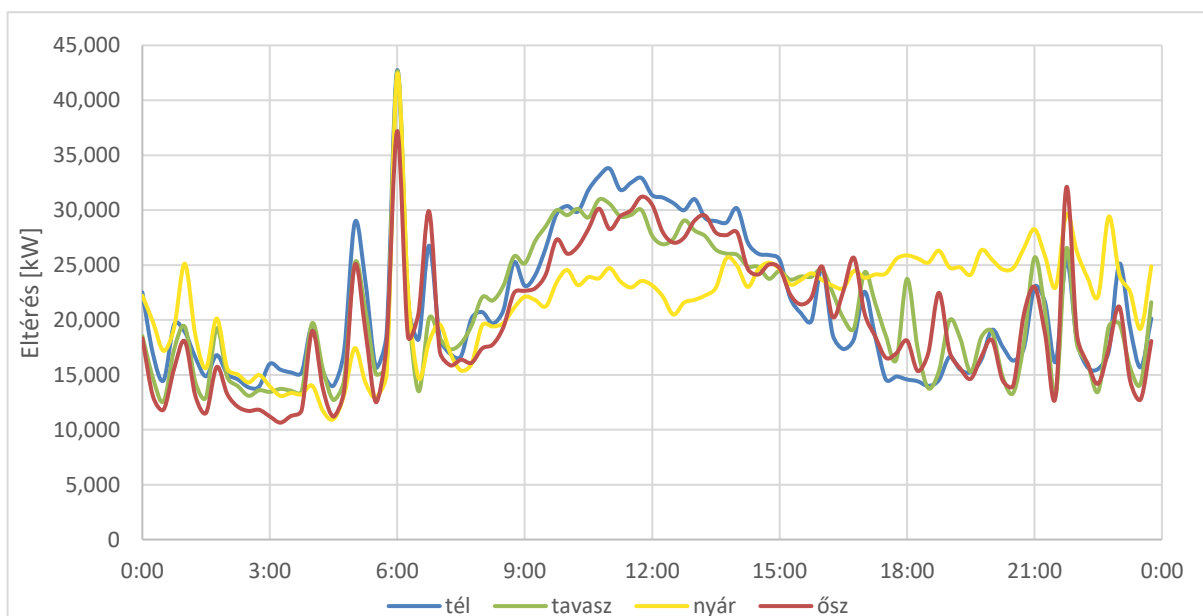


ábra 27: Kiegyenlítőenergia egységárai havi szórása és a havi átlagos fotovoltaikus termelés kapcsolata
(forrás: MAVIR adatok [9] [16] – saját szerkesztés)

A havi maximális árakat nézve (külön pozitívát és negatívát előjelhelyesen) 2019-től az látható, hogy az átlagos naperőművi termeléssel valamilyen szinten ellentétesen mozog szezonálisan, csakúgy, mint az átlagár. Itt is észrevehető az elszámolási változások hatása, 2019 előtt nem sokat változtak a havi maximum értékek, míg onnantól kezdve akár többszáz-százalékos változások is történtek, ezek közül a legnagyobbak 2019 októbere és novembere, illetve 2019 decembere és 2020 januárja között. Utóbbinak az elszámolásbeli változás is lehet valamilyen szinten okozója. A legnagyobb pozitív ár 2019 decemberében 1160,92 Ft/kWh, míg negatív oldalon -599,57 Ft/kWh 2021 márciusában.

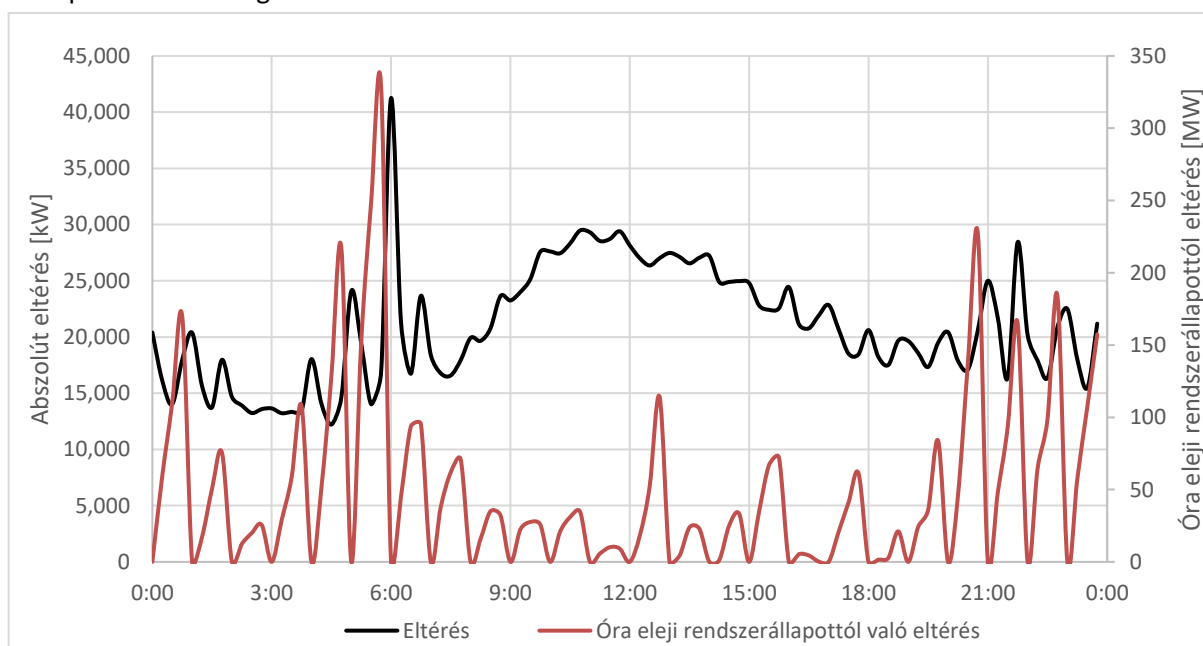
4.1.3 Napon belüli változások

Az eltérések napon belüli alakulásában felfedezhető valamilyen szintű szezonalitás, télen a legmagasabbak napközben az átlagos abszolút eltérések, majd aztán ősszel és tavasszal, végül nyáron. Éjszaka nagyrészt hasonlóak. Ellenben ez nem annyira egyértelmű, mint például a naperőművek termelése esetében, vannak eltérések egyes években, illetve a különbségek sem olyan nagyok. Egy példa erre a 2019-es év, mikor a nyári eltérések este jóval nagyobbak, mint a többi hónapban, vagy 2016, mikor tavasszal a legalacsonyabbak az eltérések napközben. A különböző éveket vizsgálva észrevehető, hogy az idő előrehaladtával a téli görbe kevésbé nagy mértékben lesz eltérő a többitől, jobban szétoszlanak a görbék. Előzetesen azt vártam, hogy nyáron lesznek nagyobbak az eltérések, főleg napközben, mikor a naperőművek termelnek.



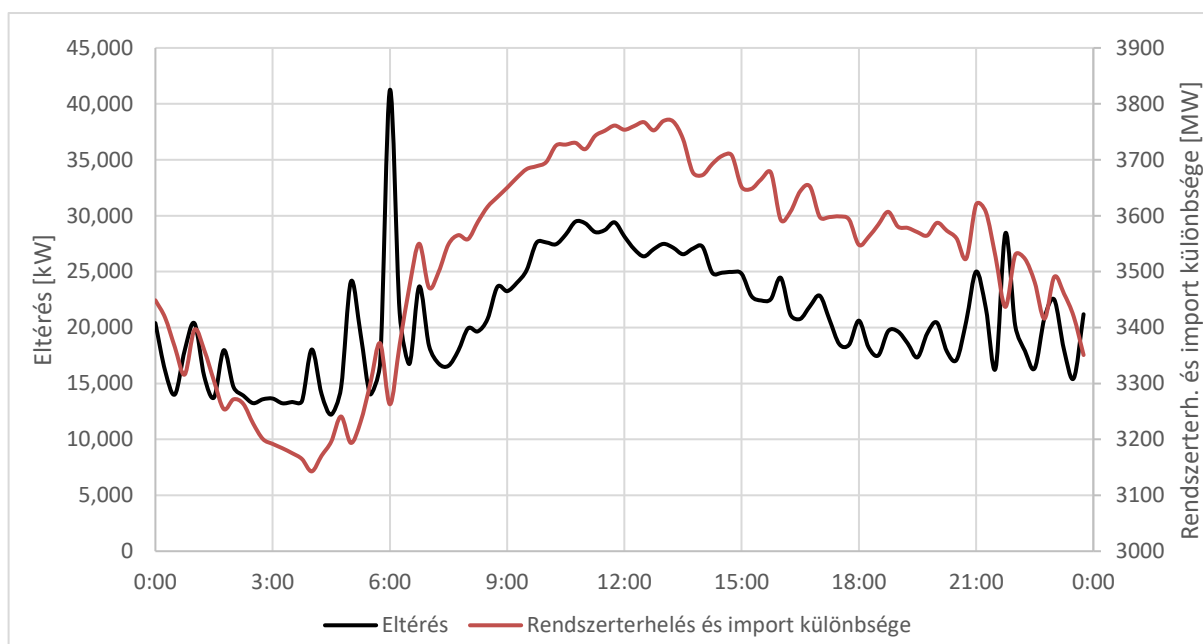
ábra 28: Átlagos abszolút eltérések alakulása napon belül évszakonként 2019-ben
(forrás: MAVIR adatok [16] – saját szerkesztés)

Az abszolút eltérések évi negyedórás átlagát vizsgálva észrevehető, hogy a görbe 2016-tól 2019-ig napközben viszonylag sima, majd aztán egyre jobban ingadozik. Megvizsgáltam, hogy az adott negyedórák rendszerterhelései mennyivel térnek el abszolútértékben az azonos óra elejétől. Ha ezeket átlagoljuk negyedóránként az évben és ezt a görbét ráillesztjük az átlagos negyedórás eltérések görbéjére látszik a hasonlóság, elsősorban az éjszakai időszakban. Ez a görbe azt is megmutatja, hogy a rendszerterhelés az adott órában mekkora mértékben változik. Az eltérések általában egészkor, vagy háromnegyedkor a legnagyobbak, míg a változások görbéjén természetesen háromnegyedkor, az óra végén. Az is látszik, hogy amikor nagyobb mértékben változik a rendszerterhelés, akkor az eltérések is jobban ingadoznak. Ha negyedórával eltolnánk az utóbbi ábrát, akkor éjszaka szinte illeszkednének a csúcsok egymásra. Látható, hogy az eltérések reggel a leginstabilabbak, 15-40 MW között ugrál, mikor egyébként a rendszerterhelés is a legnagyobb mértékben növekszik. Emellett még az éjszakai időszakban vannak viszonylag nagyobb ingadozások, kb. 10 MW nagyságúak, mikor a rendszerterhelés csökken. Ha a reggel 6 órás kiugrást megvizsgáljuk 2019-ben, kiderül, hogy azt főleg a le irányú eltérés okozza. Nem csupán az idő 52%-ában volt negatív a rendszerállapot, de az átlagos eltérés negatív esetben 43 MW, míg pozitív esetben csak 16 MW. Ez nincs minden évben így, a 2019-es ilyen szempontból különleges.



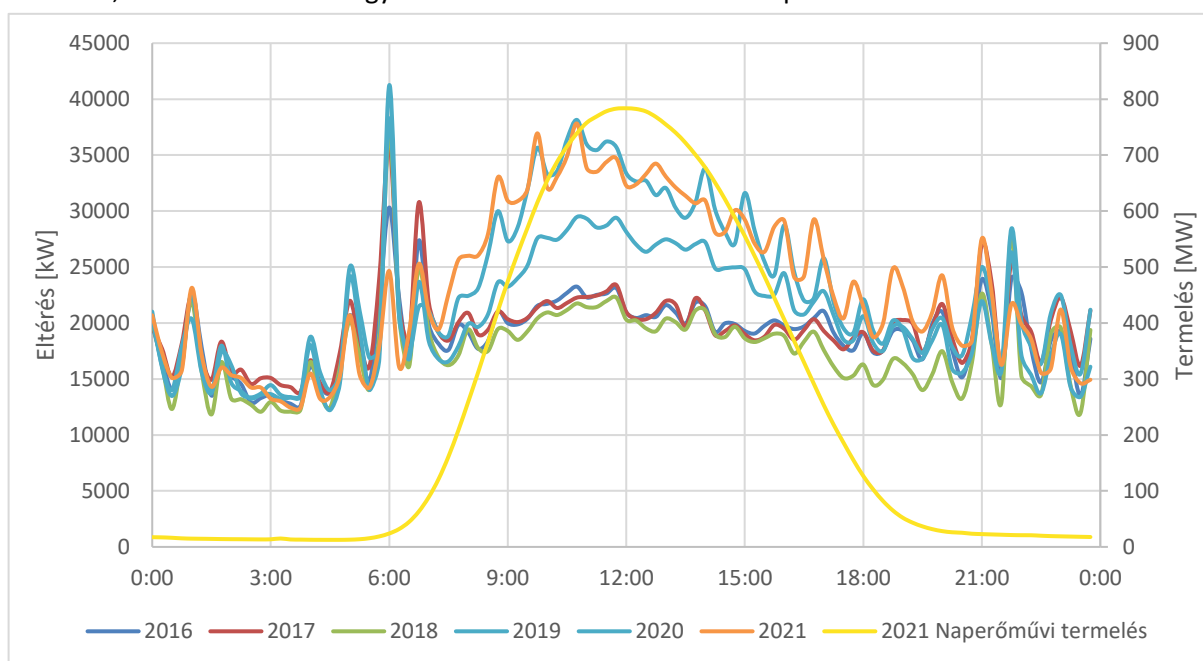
ábra 29: Abszolút eltérés és az óra eleji rendszerállapottól való eltérés napon belüli alakulása
(forrás: MAVIR adatok [9] [16] – saját szerkesztés)

Ha erre a görbére ráillesztjük a rendszerterhelés és az import-export szaldó különbségét szintén hasonlóságot fedezhetünk fel. Látható a görbén, hogy az import energia órák egységekké működik, így az sem olyan sima és úgy fog mozogni, mint az eltéréseké.



ábra 30: Abszolút eltérés, illetve a rendszerterhelés és az import-export szaldó különbségének napon belüli alakulása 2019-ben (forrás: MAVIR adatok [9] [10] [16] – saját szerkesztés)

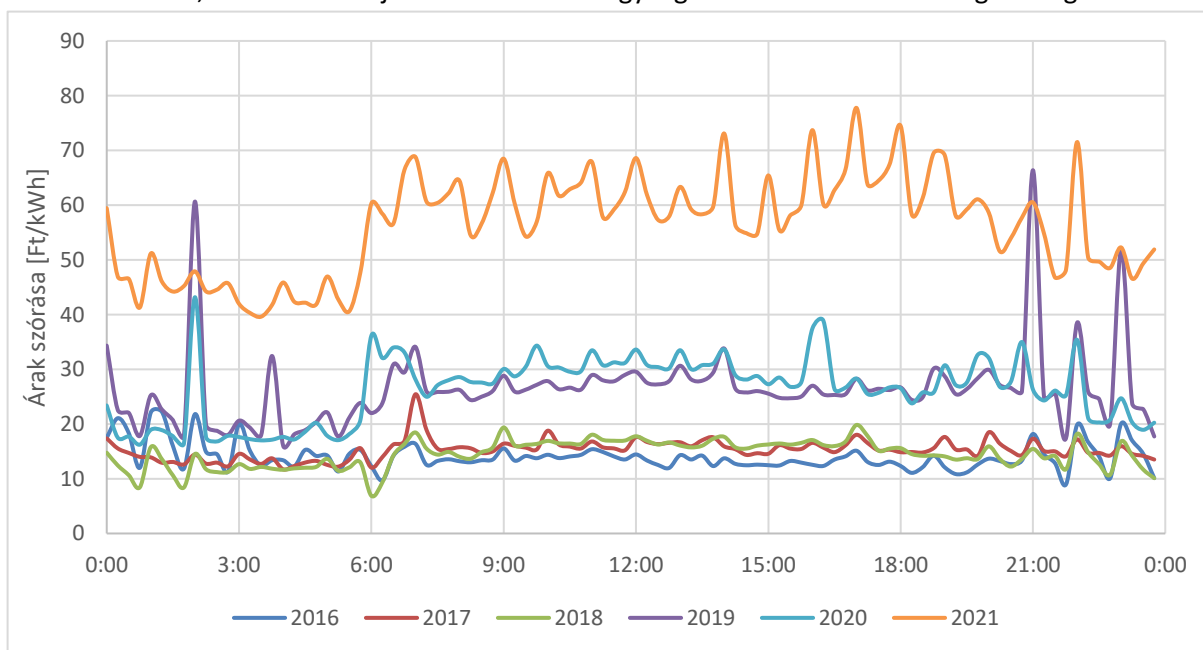
Egyértelműen látszik az eltérések összefüggése a naperőművi termeléssel, hiszen, ha megvizsgáljuk minden évre, látható, hogy eleinte nem emelkedik meg napközben az eltérések átlaga, viszont az évek haladtával egyre jobban. Ami érdekes, hogy 2021-ben hiába nőtt meg nagy mértékben a fotovoltaikus termelés, az eltérések nem nagyon növekedtek az előző évhez képest.



ábra 31: Abszolút eltérések napon belüli alakulása évente és a 2021-es átlagos naperőművi termelés (forrás: MAVIR adatok [9] [16] – saját szerkesztés)

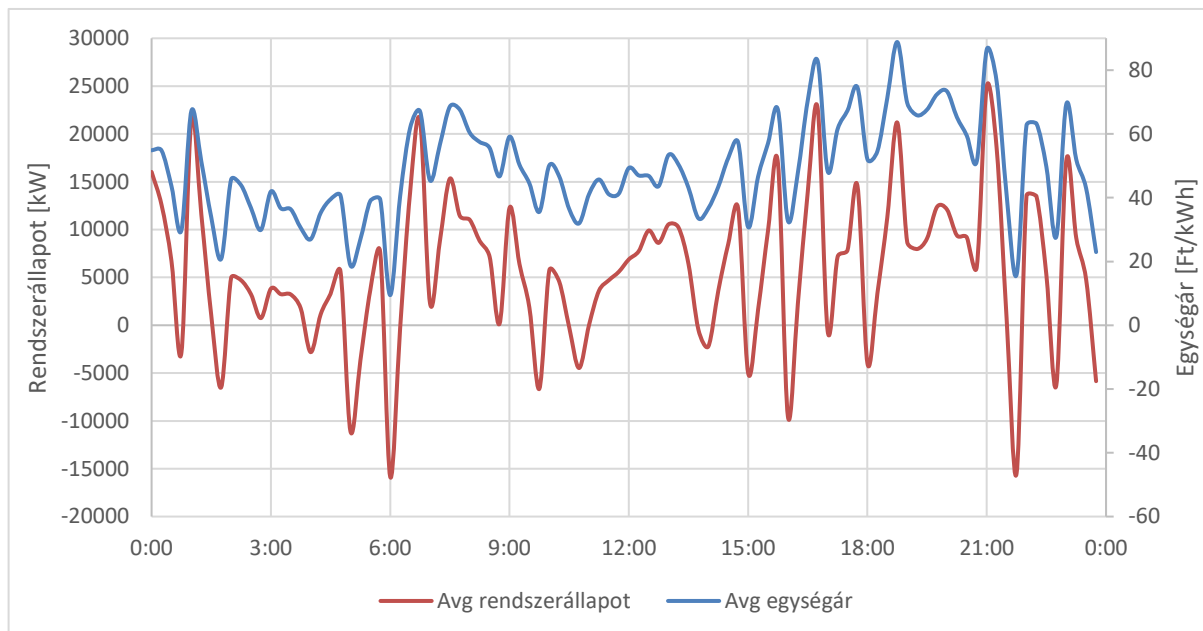
A kiegyenlítőenergia egységárak hasonlóan viselkednek, mint az eltérések, éjszaka nagyobbak az ingadozások, míg napközben, főleg kb. 8 és 12 óra között, viszonylag stabil, de nem növekszik meg napközben. Az évek alatt 2019-ig egyre jobban kisimul, majd onnantól kezdve ismételten egyre labilisebb lesz. A pozitív átlagárak a fel irányú átlageltéréssel, míg a negatív átlagárak a le irányú átlageltéréssel mozognak szinte teljesen együtt, ahogy az várható is volt. A délelőtti időszakban az eltérések egyre nagyobbak, majd dél felé visszacsökkennek, viszont az árak nagyjából egy szinten maradnak, nem található bennük ilyen domb.

Az árak szórása terén észrevehető, hogy eleinte éjszaka sokkal jobban ingadozott a görbe, mint napközben, viszont az évek előrehaladtával ez egyre kevésbé észrevehető, 2021-ben már inkább fordítva volt. A pozitív és a negatív árak szórása hasonlóan mozgott, az elszámolási változások bejövetelével egyre inkább ugyanúgy. Az évek előrehaladtával az is észrevehető, hogy az éjszakai szórások lecsökkentek a nappalihoz képest, amíg 2016-ban egy szinten mozogtak, addig 2021-ben este 11 és reggel 6 óra között kb. kétharmada a napközbeni szórásoknak. Ezekből is következtethető, hogy az ár szórásaihoz is köze lehet a naperőművi kapacitások bővítésének, hiszen a nappali időszakban, amikor a naperőművek termelnek, egyre jobban ingadozik a szórás. 2019 éjszakája is kissé kiemelkedik a többi év közül, hiszen ekkor éjszaka különösen nagy ingadozások vannak az átlagot vizsgálva.



ábra 32: Pozitív kiegyenlítőenergia egységárak szórásának napon belüli alakulása évente
(forrás: MAVIR adatok [16] – saját szerkesztés)

A 2021 május óta élő elszámolási módot vizsgálva egyértelműen látható az összefüggés az átlagos rendszerállapot, illetve az átlagos kiegyenlítőenergia egységar között, szinte egymásra simul a két görbe, viszont a kiegyenlítőenergia egységarra nem megy át negatívba, amikor a rendszerállapot, (valójában egyik negyedórán sem megy át).



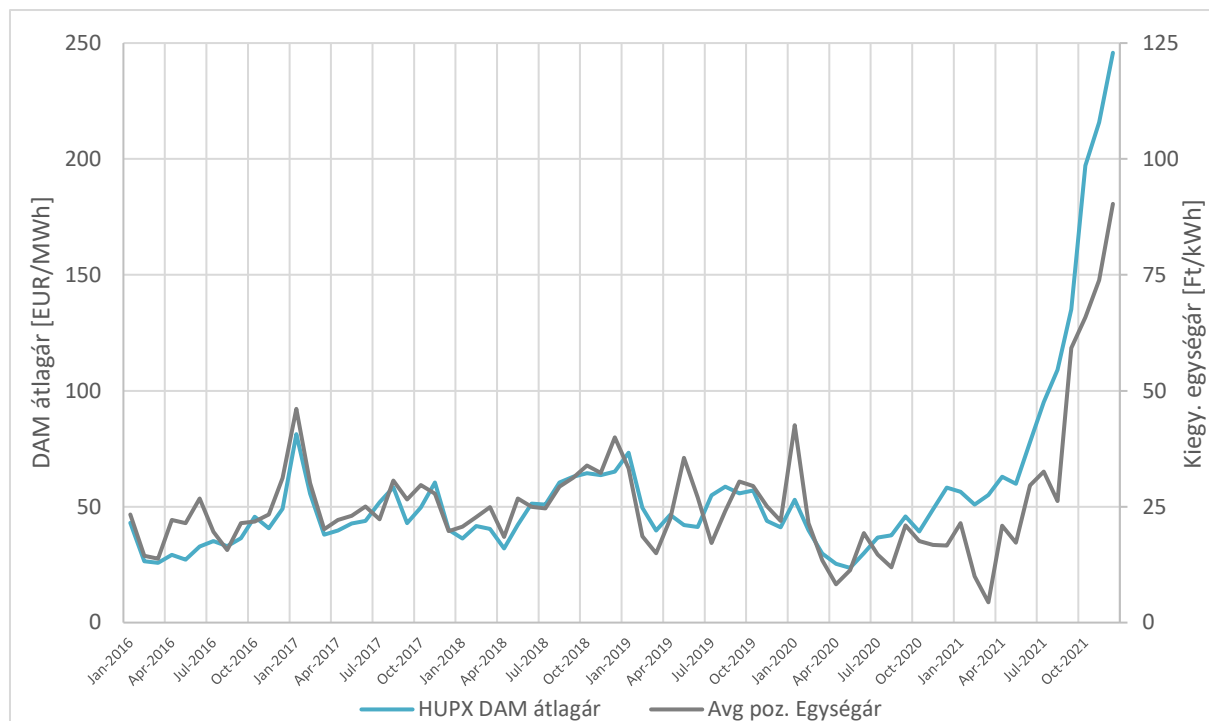
ábra 33: Átlagos rendszerállapot és az átlagos kiegyenlítőenergia egységar napon belüli alakulása 2021-ben az egyáras elszámolás rendszerében (forrás: MAVIR adatok [16] – saját szerkesztés)

Mindezekből egyértelműen következtethető, hogy a naperőműveknek van befolyása a kiegyenlítőpiacra, viszont nem közvetlenül az árakra, hanem elsősorban részben az eltérésekre, melyek természetesen valamilyen szinten összefüggnek az árakkal, főleg napon belül, éven belül ez ennyire nem mondható el. Viszont, amire jobban hatással van, az az árak szórása, valószínűleg azért, mert minél több a naperőművi kapacitás, annál nagyobb ingadozások lehetnek a termelésben és az eltérésben, illetve annál bizonytalanabb hogyan fog alakulni a rendszer.

4.2 A másnapi piaci és a kiegyenlítőpiaci árak kapcsolata

A kiegyenlítőenergia egységarak és a másnapi piaci árak között egyértelmű az összefüggés, hiszen előbbi meghatározásához figyelembe veszik az utóbbit is. Ennek köszönhetően nem okozott meglepetést, hogy a havi átlagárakat összehasonlítva leköveti egymást a két görbe. Természetesen nem teljes mértékben, hiszen a kiegyenlítőenergia egységarak mástól is függenek, de látható, hogy meghatározó számára az évek előrehaladtával. Az is látható, hogy amíg a DAM árak görbéje kissé kiegyenlítettebb lesz, a felirányú kiegyenlítőenergia egységaraké egyre ingadozóbb hozzá képest, ez valószínűleg annak is köszönhető, hogy a pozitív és negatív ár egyre közelebb került egymáshoz, míg végül 2021. májusától egyáras lett a rendszer. Míg a DAM árak 2021. első felében elkezdtek egyenesen emelkedni, addig a kiegyenlítőárakban voltak kisebb visszaesések, illetve a növekedés mértéke is kicsit kisebb. Emiatt, hogy így lekövetik egymást a kettő között a szezonális összefüggés is

egyértelműen látszik. Szórások tekintetében is látszik valamilyen szinten az összefüggés (főleg az első években), ha görbék változásának irányát nézzük, ám az évek előrehaladtával a kiegyenlítőenergia árak szórása egyre csak nő és egyre inkább ingadozik, míg a másnapi piaci áráké tartja az adott szintet egészen 2021-ig.



ábra 34: HUPX DAM és kiegyenlítőenergia egységárak kapcsolata
(forrás: HUPX adatok [13], MAVIR adatok [16] – saját szerkesztés)

Azonban az összefüggés a kettő között csupán hosszútávon lényeges, napon belül vizsgálva a görbét nem látható hasonlóság, a kiegyenlítőárak esetében nincs meg a rendszerterhelésre hajazó görbe, illetve ott az adott órák eleje és vége között mindig nagy a különbség, a másnapi piaci árák között ez már csak azért sem lehetséges, mert ott órás termékekről beszélünk negyedórás helyett.

5 Konklúzió

Kutatásomnak elvárásokkal kezdtem neki a várható eredményekkel kapcsolatban, mint például a másnapi és kiegyenlítőpiaci árak egymástól való függése, a fogyasztás hőmérsékletfüggése, illetve a naperőművek és a kiegyenlítetlenség, ezáltal a kiegyenlítőpiaci árak kapcsolata, azonban nem minden elvárásom teljesült be olyan mértékben és módon, ahogy azt gondoltam volna, ám a vizsgálataim által sok érdekes változásra és jelenségre fényt deríthettem.

Eredményeimből kiderül, hogy a villamosenergia-rendszernek egyre nagyobb kihívásokkal kell szembenéznie, mind a folyamatosan növekvő rendszerterhelés, mind az újabbnál újabb fenntarthatósági szabályozások és az emiatt folyamatosan bővülő beépített naperőművi kapacitás miatt, melyek közül utóbbi kiszámíthatatlansága miatt egyre nagyobb problémát jelent a rendszer kiegyenlítése szempontjából, így közvetetten, de lassan egyre inkább csak feltornázza a kiegyenlítőenergiaárakat, főleg a nyári, napsütéses időszakban. Látható, hogy hazánk villamosenergia-ellátása milyen nagymértékben alapszik az importált energiára, azonban találhattam olyan különleges napokat is, mikor az átlagos 30%-os import mellett képesek voltunk exportálni, akár több száz MW-ot is. Eredményeimből kiderül, hogy a bizonytalan naperőművi termelés kompenzálása érdekében szükségünk van a gázerőműveinkre, melyek termelése jelentősen meghatározza a másnapi piaci árak alakulását hosszútávon, azonban adott napon belül elsősorban a fogyasztói szokások által kreált változó kereslet a meghatározó, mely az évek alatt és éven belül is változik, illetve függ a hőmérséklettől. Ahogy az várható volt, a naperőművi termelés jelentősen összefüggésben van a hőmérséklettel, ám viszonylag nagyobb szórással, hiszen a magas hőmérséklet nem jelent feltétlen sok és erős napsütéses órát.

A villamosenergia-rendszerben minden összefügg mindennel és a fotovoltaikus termelés egy meghatározó tényező. Magasabb naperőművi termelés esetén kevesebb importenergiára van szükségünk napközben. Nagyobb hőmérséklettel változik a kereslet, azonban nőhet a naperőművek termelése, melyek bizonytalan működésének kiegyenlítésére gázerőműveket használunk, amik megszabják a másnapi piaci árakat, amelyek erősen befolyásolják és feltornázzhatják a kiegyenlítőenergia egységárakat.

6 Irodalomjegyzék

- [1] Barta Péter Dávid, Szervezett piacok likviditásának értékelése és piacfejlesztési célok meghatározása a 2020-as évek kihívásainak leküzdése érdekében, Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat, 2020
- [2] Sőrés Péter Márk, Villamosenergia-piac (BMEVIVEMA05) tantárgy, Rendszerszintű szolgáltatások c. előadás, 2021. október 11. [Diasor]
- [3] An overview of the European balancing market and electricity balancing guideline, 2018. november, ENTSO-E, Dátum: 2022.05.13. [Online] Elérhető: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Network%20codes%20documents/NC%20EB/entso-e_balancing_in%20_europe_report_Nov2018_web.pdf
- [4] Versenybírálati Dokumentáció, 2022. március 08., MAVIR Zrt., Dátum: 2022.04.21. [Online] Elérhető: https://www.mavir.hu/documents/10258/20730633/VD_20220308_clean.pdf/480824df-3ea6-41d4-d214-dbad889c3950?t=1646749022413
- [5] 3.1.15. Kiegyenlítő szabályozási szolgáltatókra, valamint a mérlegkörfelélőkre vonatkozó feltételek - 12. b. sz. módosítás – hatályos: 2022. január 1-jétől, MAVIR Zrt., Dátum: 2022.04.21. [Online] Elérhető: https://www.mavir.hu/documents/10258/240327733/3_1_13_EBGL_BSP-BRP_12.b.m%C3%B3d%20os%C3%ADt%C3%A1s_03_BSP-BRP+Felt%C3%A9telek_2019.pdf/5c2d89cf-c4b6-dfb6-2ad1-21f3b37b8b9d?t=1640004736984
- [6] 3.1.15. Kiegyenlítő szabályozási szolgáltatókra, valamint a mérlegkörfelélőkre vonatkozó feltételek – hatályos: 2019. január 1-jétől, MAVIR Zrt., Dátum: 2022.04.21. [Online] Elérhető: https://www.mavir.hu/documents/10258/228741465/01_1_sz_mell%C3%A9klet_M%C3%B3d%20os%C3%ADt%C3%A1s_03_BSP-BRP+Felt%C3%A9telek_2019.pdf/5c2d89cf-c4b6-dfb6-2ad1-21f3b37b8b9d?t=1624610203667
- [7] Energia MIX - Erőművi Beépített teljesítőképesség adatok, MAVIR Zrt., Dátum: 2022.03.23. [Online] Elérhető: <https://www.mavir.hu/web/mavir/energia-mix-eromuvi-beepített-teljesitokepesseg-adatok>
- [8] Energia MIX - Erőművi Bruttó Termelés és Teljes Bruttó Villamosenergia-Felhasználás adatok, MAVIR Zrt., Dátum: 2022.03.23. [Online] Elérhető: <https://www.mavir.hu/web/mavir/energia-mix-eromuvi-brutto-termeles-es-teljes-brutto-villamosenergia-felhasznalas-adatok>
- [9] Energia MIX - Erőművi termelés primer források szerinti megoszlása és az import-export szaldó - Nettó üzemirányítási mérés alapján – idősoros adatok, MAVIR Zrt., Dátum: 2022.03.23. [Online] Elérhető: <https://www.mavir.hu/web/mavir/energia-mix-eromuvi-termeles-primer-forrasok-szerinti-megoszlasa-es-az-import-export-szaldo-netto-uzemiranyitasi-meres-alapjan>
- [10] Import-export – idősoros adatok, MAVIR Zrt., Dátum: 2022.04.12. [Online] Elérhető: <https://www.mavir.hu/web/mavir/import-export>
- [11] Szücs Botond, Energiaátalakítás, erőművek (BMEGEENBEER) tantárgy, 1. gyakorlat, 2021. szeptember 10., szóban említett

- [12] Országos napi középhőmérséklet – idősoros adatok, OMSZ, Dátum: 2022.10.20. [Online] Elérhető:
https://odp.met.hu/climate/observations_hungary/avg_daily/historical/HABP_AVG1D_HUN_20020101_20211231_hist.zip
- [13] Másnapi piaci historikus adatok, HUPX Zrt., Dátum: 2022.10.04. [Online] Elérhető:
<https://hupx.hu/hu/piaci-adatok/dam/historikus-adatok>
- [14] Barta Péter Dávid, A KÁT mérlegköri energia értékesítése a másnapi piacon, Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat, 2018
- [15] A KÁT és Prémium támogatási rendszer működésének statisztikai adatai 2018. III. negyedév, MAVIR Zrt., Dátum: 2022.10.18. [Online] Elérhető:
https://www.mavir.hu/documents/10258/0/K%C3%81T_%C3%A9s_Pr%C3%A9mium_t%C3%A1mogat%C3%A1si_rendszer_m%C5%B1k%C3%B6d%C3%A9si_statisztikai_adatai_2018_III_.pdf/897ed577-75e8-d5e5-9970-ab7d617d9b5b
- [16] Kiegyenlítő energia egységárai, MAVIR Zrt., Dátum: 2022.03.23. [Online] Elérhető:
<https://www.mavir.hu/web/riportok/kiegyenlito-energia-egysegarak>