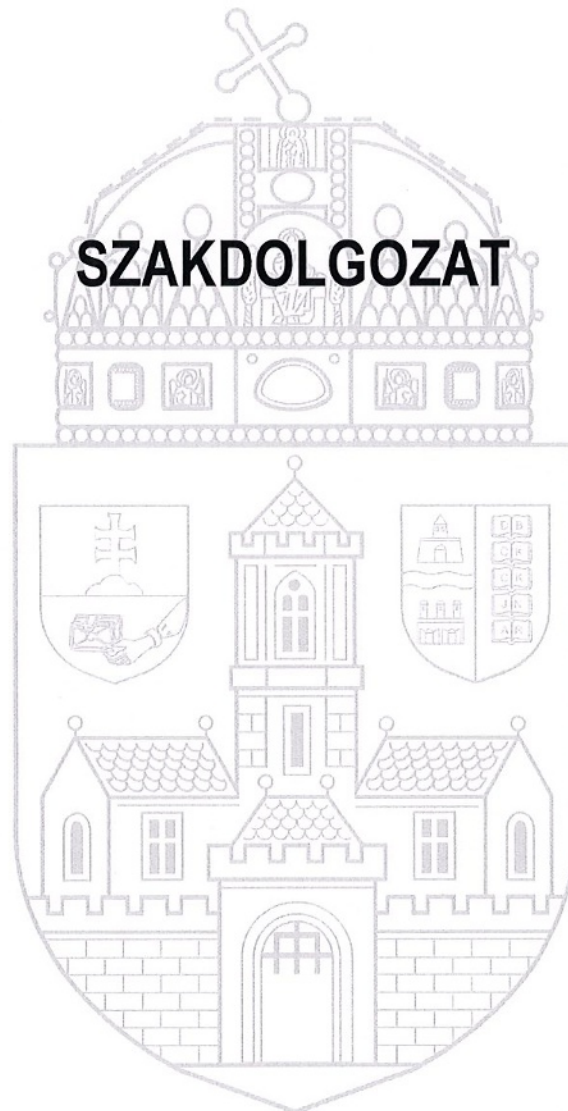




**ÓBUDAI EGYETEM**

**Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar  
Automatika Intézet**



**OE-KVK  
2021.**

**Pálfi Szabolcs**  
[REDACTED]  
**T008338/FI12904/K**



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem  
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar  
Automatika Intézet

## SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Pálfi Szabolcs

Szakdolgozat száma: SZD21080907519830

Törzskönyvi száma: T008338/FI12904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: villamosmérnöki

Specializáció: Automatizálási specializáció

A dolgozat címe: Naperőmű termelés optimalizálása villamosenergia-tároló alkalmazásával

A dolgozat címe angolul: Optimization of solar photovoltaic power plant generation using electric energy storage

A feladat részletezése: 1. Az akkumulátoros energiatárolóra és naperőműre vonatkozó telepítési és üzemeltetési jogszabályok áttekintése

2. Meglévő akkumulátoros energiatárolással kombinált naperőművek költségének, működési módjának és tapasztalatainak áttekintése

3. Üzemelő naperőmű termelési adatainak, menetrend adatainak és kiegyenlítő energia igényének vizsgálata

4. Különböző forgatókönyvek vizsgálata, a kiegyenlítő energia díjat csökkentő optimális akkumulátor méret megtalálása érdekében.

Intézményi konzulens neve: Dr. Holcsik Péter

Külső konzulens neve: Gaál Tibor

Munkahelye: Phlegon Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. december 15.

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2021. 12. 06.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens

**PHLEGON**  
Energetikai Fejlesztő Kft.  
1097 Budapest, Albert Flórián út 3/B.  
Adószám: 14522163-2-43 1.



## 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, 2021.12.14.....

*Pálfy Szabolcs*  
.....  
Hallgató aláírása

## TARTALOMJEGYZÉK

|        |                                                                             |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | BEVEZETÉS .....                                                             | 1  |
| 2.     | HAZAI JOGSZABÁLYOK .....                                                    | 2  |
| 2.1.   | 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról [44] .....                  | 2  |
| 2.2.   | A KÁT-os erőművek termelésarányos bevételeit szabályozó rendelet [43] ..... | 3  |
| 2.3.   | A magyar villamosenergia-rendszer Kereskedelmi Szabályzata [45] .....       | 5  |
| 2.4.   | A KÁT rendszer .....                                                        | 5  |
| 2.5.   | Kiegyenlítő energia a KÁT rendszerben .....                                 | 12 |
| 2.5.1. | Napelemes termelés jelleggörbéje .....                                      | 16 |
| 2.5.2. | Menetrendezés naperőműveknél .....                                          | 17 |
| 2.5.3. | Pótdíj .....                                                                | 19 |
| 3.     | MEGLÉVŐ MEGOLDÁSOK .....                                                    | 20 |
| 3.1.   | Akkumulátorok típusa és ára .....                                           | 21 |
| 3.2.   | Megvalósult energiatárolók .....                                            | 22 |
| 3.2.1. | Primer szabályozó energiatároló a Zuglói fűtőműnél .....                    | 23 |
| 3.2.2. | Primer szabályozó energiatároló a soroksári alállomáson („ENTÁR-1”) .....   | 25 |
| 3.2.3. | Feszültség szabályozás KIF hálózaton .....                                  | 27 |
| 3.2.4. | Feszültség szabályozás KÖF hálózaton .....                                  | 28 |
| 3.3.   | Teljesítmény és energiakapacitás megválasztása .....                        | 29 |
| 4.     | MŰKÖDŐ NAPERŐMŰVEK ADATAINAK ELEMZÉSE .....                                 | 31 |
| 4.1.   | Vizsgált időszak(ok) .....                                                  | 31 |

|        |                                                                             |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.   | Vizsgált naperőművek.....                                                   | 32 |
| 4.3.   | 1 db kiserőmű vizsgálata .....                                              | 34 |
| 4.4.   | Kiserőműportfóliók vizsgálata .....                                         | 38 |
| 5.     | ENERGIATÁROLÁSSAL KIEGÉSZÍTETT NAPERŐMŰ ELEMZÉSE .....                      | 41 |
| 5.1.   | Energiatároló menetrendkövetési módjai, a kettős költség visszaosztás ..... | 41 |
| 5.2.   | Teljesítmény méretezés .....                                                | 41 |
| 5.3.   | Energiatárolási kapacitás méretezés.....                                    | 42 |
| 5.3.1. | Akkumulátoros kiegyenlítések eredménye .....                                | 44 |
| 6.     | ÖSSZEFOGLALÁS .....                                                         | 46 |
| 7.     | SUMMARY .....                                                               | 47 |
|        | KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS .....                                                   | 48 |
|        | IRODALOMJEGYZÉK .....                                                       | 49 |
|        | ÁBRAJEGYZÉK.....                                                            | 54 |
|        | TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....                                                    | 55 |
|        | MELLÉKLETEK.....                                                            | I  |

## 1. BEVEZETÉS

A villamosenergia rendszer (VER) egy olyan több szereplős rendszer, ahol előre lefektetett szabályok alapján valósul meg a villamosenergia termelése, szállítása és fogyasztása, egyszóval kereskedelme, melyet a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító (MAVIR) felügyel. A kereskedést azonban nehezíti, hogy a villamosenergia piacon a terméket, a villamos energiát, az előállítás pillanatában el kell fogyasztani, mivel a VER egyensúlya csak így maradhat fenn. Az egyensúly fenntartását sok minden könnyíti: az erőművek szabályozása, egyes fogyasztók vezérlése [42], a jövőbeli fogyasztás viszonylag pontos előrejelezhetősége [41], a különböző országok VER-inek összekötése határkeresztező távvezetékekkel és a villamosenergia tárolók. [39]

A dolgozatban az utóbbi megoldásról lesz szó, a villamosenergia tárolás kiegyenlítő hatásáról. A villamosenergia tárolásnak több módszere is van ugyanakkor közös problémája mindegyik módszernek, hogy a VER-re jellemző váltakozó áramú (AC) energia tárolására közvetlenül nincs mód. A villamosenergiát elektromos formában csak egyen áramú (DC) állapotban lehet tárolni, vagy nem elektromos formában, amire számos megoldás létezik, de minden megoldás közös problémája, hogy átalakítással és veszteséggel jár, továbbá, hogy a tárolás költsége gyakran a termelés költségét is meghaladja.

A napelemes erőművek (naperőművek) számának növekedése a VER-re komoly hatást gyakorol, mind az elosztóhálózat üzemeltetőjének (DSO), mind az átviteli hálózat üzemeltetőjének (TSO, MAVIR) szintjén. [1] Mindkét szinten megjelenik a villamosenergia tárolás, mint megoldás a naperőművek okozta hatások ellensúlyozása érdekében, azonban fontos tisztázni, hogy a különböző szereplők különböző módon vannak ösztönözve. A DSO-t az energiatárolásra a lokális feszültségparaméterek szabványos értéken tartása, míg az átviteli hálózat üzemeltetőjét (TSO, MAVIR) az országos teljesítményegyensúly fenntartása ösztönzi.

Dolgozatomban azt fogom vizsgálni, hogy a MAVIR a legnagyobb naperőműállományt, a Kötelező Átvételi jogosultságot megállapító határozattal rendelkező (KÁT) naperőmű állományt hogyan ösztönzi villamosenergiatárolók alkalmazására és hogy ezeknek a KÁT-os erőműveknek milyen keretek között, milyen mennyiségben és milyen szabályozással éri meg villamosenergiatárolók használata.

## 2. HAZAI JOGSZABÁLYOK

Bár a dolgozat műszaki jellegű, elengedhetetlen a vonatkozó jogszabályok ismerete, ismertetése mivel ez adja a vizsgálat peremfeltételeinek egy részét. Ez azt is jelenti majd, hogy a számítási módszertanon kívül az eredmények csak a magyarországi és a jelenlegi, bemutatott viszonyok között lesznek értelmezhetőek. Más támogatási és üzemviteli környezetben a számítások egészen eltérő pontjai válhatnak hangsúlyossá. A következőben sorra veszem azokat a törvényeket, rendeleteket, szabályzatokat, melyek a vizsgálat tárgyát képező KÁT-os naperművekre és az energiatárolásra vonatkoznak és kiemelem a jogszabályok idevonatkozó részét.

### 2.1. 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról [44]

Ez a törvény (továbbiakban: VET) a magyar villamosenergia-ipar legátfogóbb törvénye. Már a legelején, az 1. § h) pontjában kiköti, hogy *„a megújuló energiaforrásból származó villamos energia termelését elő kell segíteni”*. A 3. § egyes pontjaiban olyan fogalmakat tisztáz, amelyek a vizsgálatom során is többször elő fognak kerülni.

*„3. pont: Aggregálás”*

*„17c pont: Termelő-fogyasztó”*

*„31. pont: Kiegyenlítő energia”*

*„32. pont: Kiserőmű”*

*„45. pont: Megújuló energiaforrás”*

*„45a pont: Menetrend”*

*„45b pont: Megújulóenergia-támogatási rendszer”*

*„46. pont: Mérlegkör”*

*„50. pont: Rendszerhasználó”*

*„70a pont: Villamosenergia-tároló”*

21. § (2) és (4) alapján *„a villamosenergia termelőnek, fogyasztónak és egyéb szereplőknek, kötelező mérlegkörhöz tartoznia”*. E nélkül nem csatlakozhat a villamosenergia rendszerhez és nem tevékenykedhet rajta. Ez azt jelenti, hogy mindenki, a nagy erőművektől és nagy ipari fogyasztóktól kezdve még az egyetemes szolgáltatást igénybe vevő lakossági fogyasztók, az

egyszerű háztartások is tagjai egy mérlegkörnek, ahogy a (7) pont ezt egyértelműsíti is. A mérlegkörhöz tartozás egy struktúrát teremt, ami segíti a szereplők közti okozathelyes elszámolást, mind fogyasztott és termelt energia, de különösképpen a kiegyenlítő energia tekintetében. Fontos, hogy a mérlegkör elszámolási struktúra, nem fizikai, tehát egymástól fizikailag távol lévő szereplők is lehetnek ugyanannak a mérlegkörnek a tagjai. A mérlegkörök a működésüket előre megtervezik, amihez a hozzájuk tartozó szereplőktől menetrend adását teszik kötelezővé.

A menetrend egy adatsor, ami a kereskedelmi szabályzatban meghatározott időegységre bontva (jelenleg 15 perc) tartalmazza a szereplők tervezett villamosenergia termelésének és fogyasztásának átlagteljesítményét. A mérlegkör összesíti a saját illetékességi körébe tartozó szereplők menetrendjeit, aminek eredője 0-át kell adjon, tehát a mérlegkörbe betáplált és onnan vételezett energia mennyisége meg kell egyezzen. [2] A MAVIR összesíti az egyes mérlegköröktől kapott menetrendeket, ellenőrzi az egyensúly elméleti fennállásának tényét, majd az aktuális időegységben meghatározza a menetrendtől való eltérés nagyságát és azt, hogy a termelés-fogyasztás egyensúly fenntartása érdekében milyen beavatkozásra van szükség: a termelés fokozására vagy csökkentésére (vagy fordítva nézve a fogyasztás csökkentésére vagy növelésére). Az egyensúly érdekében beindított vagy éppen leállított energiatermelést/fogyasztást kiegyenlítő energiának nevezzük.

A kiegyenlítés miatt igénybe vett energia a VER stabilitásának fennmaradását szolgálja, nem közvetlen fogyasztási igény kielégítését, ezért ára jellemzően magasabb mint az egyszerű fogyasztás számára termelt energiáé. Mivel az előzetesen leadott menetrendek alapján erre a kiegyenlítő energiára nem is lenne szükség, ezért ezt a magasabb árat azok közt osztják szét, akik nem tartották magukat az előzetesen leadott menetrendjükhöz, akik miatt be kellett avatkozni.

## **2.2. A KÁT-os erőművek termelésarányos bevételét szabályozó rendelet [43]**

A 389/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet a megújuló energiaforrásból vagy hulladékból nyert energiával termelt villamos energia, valamint a kapcsoltan termelt villamos energia kötelező

átvételéről és átvételi áráról szóló rendelet a KÁT-os erőművek termelésarányos bevételeit írja le és az ezzel kapcsolatos értelmező rendelkezéseket foglal magába. Bár az erőművek energiaértékesítésből származó bevétele jelen vizsgálat szempontjából másodlagos, az általuk fizetendő szabályozási pótdíj, amit nevezhetünk büntetésnek, a vizsgálat központi elemét jelenti, mivel a vizsgálandó energiatárolás ezt a pótdíjat hivatott csökkenteni. Számunkra itt a következő definíciók fontosak:

2. § (1)

„a) Befogadó”

„e) KÁT termelő”

„n) önfogyasztás”

„o) szabályozási pótdíj”

A rendelet 3. §-a arról szól, hogy az országban lévő összes KÁT-os a termelő földrajzi elhelyezkedésétől függetlenül ugyanazon mérlegkörben, a „kötelező átvételi mérlegkörben” számolhatja csak el a termelt energiát, továbbá lehetővé teszi és szabályozza a különböző KÁT termelők menetrendi szempontból való együttműködésének lehetőségét, mi szerint, a „KÁT termelők összevont menetrendadási csoportot alakíthatnak”. Ez még fontos lesz a későbbiekben, hiszen ha több KÁT termelőt kezelünk együtt akkor a 3. § (1a) d) pont alapján a tervezett menetrendtől való eltéréseik előjelesen összeadódnak és eredő értékben kisebb eltérést kapok, mintha minden egyes KÁT termelőt külön vizsgálnék és eltéréseiket egyesével, abszolút értékben összesíteném. Ez a lehetőség azért is lesz fontos, mert a naperőmű mellé telepíthető energiatároló, így nem csak a fizikailag helyben lévő naperőmű menetrendjét tudja segíteni, hanem az egész menetrendadási csoportét, ami csoport minél nagyobb, annál kisebb menetrendtől való eltérést tapasztal.

Másik fontos aspektusa a rendeletnek az a 2020.04.01-én történt változása, ami az energiatárolásra vonatkozik. A 2. § n) pontja és a 7. § (6) pontja lehetővé teszik, hogy a KÁT termelő energiatároló eszközt használjon, mely tároló megújuló energiaforrással történő töltése nem számít önfogyasztásnak, ezáltal segítheti a menetrend pontosabb tartását. Dolgozatom erre a rendeletmódosításra alapul.

### 2.3. A magyar villamosenergia-rendszer Kereskedelmi Szabályzata [45]

Fontos még megemlíteni a Kereskedelmi Szabályzatot ami kiegészíti az előzőekben említett jogszabályokat és rögzíti a KÁT rendszer működtetésére vonatkozó főbb szabályokat, a következők szerint.

*„II./3.7.1. pont: szerződéskötési kötelezettség”*

*„II./3.7.2. pont: az adatszolgáltatás, különösképpen a menetrendezésről és annak részletes szabályai”*

*„IV./3. pont: a másnapi és napon belüli menetrendkezelésről”*

Ez alapján a menetrendezés egyik fontos tulajdonsága, hogy több lépcsőben történik:

1. Minden hónap 7. munkanapjáig villamosenergia-termelési prognózist kell adni havonta a következő 12 hónapra.
2. Az adott napot megelőző 10 óráig, menetrendet kell adni minden napra.
3. Az adott elszámolási időszakot megelőző (KÁT esetében) 1,5 óráig, a menetrend módosítására napon belül is lehetőség van.

Azzal hogy a menetrend módosítására az adott időpont előtt még napon belül is lehetőség van javul a menetrendek pontossága így a rendszer működése optimálisabban tervezhető, a lehető legkevesebb kiegyenlítő energia igénybevétele érdekében. Halmozottan előnyös ez a lehetőség az időjárásfüggő megújuló energiatermelőkre, ahol sokszor nagyon nehezen jelezhető előre az energiatermelés mennyisége.

### 2.4. A KÁT rendszer

A megújuló energiaforrások alkalmazása pénzügyi szempontból nem versenyképes a hagyományos fosszilis erőművekkel szemben [1], ezért 2001 óta törvény mondja ki, hogy ezen energiaforrások használatának elősegítése érdekében ezen erőműveket támogatni kell. [4] A 2001-ben hozott törvényi támogatás alapján 2003 óta működik hazánkban megújuló energiák támogatására létrehozott támogatási rendszer, ami az elmúlt 18 évben 3 fő átalakuláson ment keresztül, ami egyben a nevének átalakulását is jelentette. 2003-ban a Kötelező Átvételi Pénzeszköz (KÁP), 2008-ban a Kötelező Átvételi Rendszer (KÁT), 2017-ben a Megújuló Támogatási Rendszer (METÁR) indult el, melyek indulása egyben az előző rendszer végét is

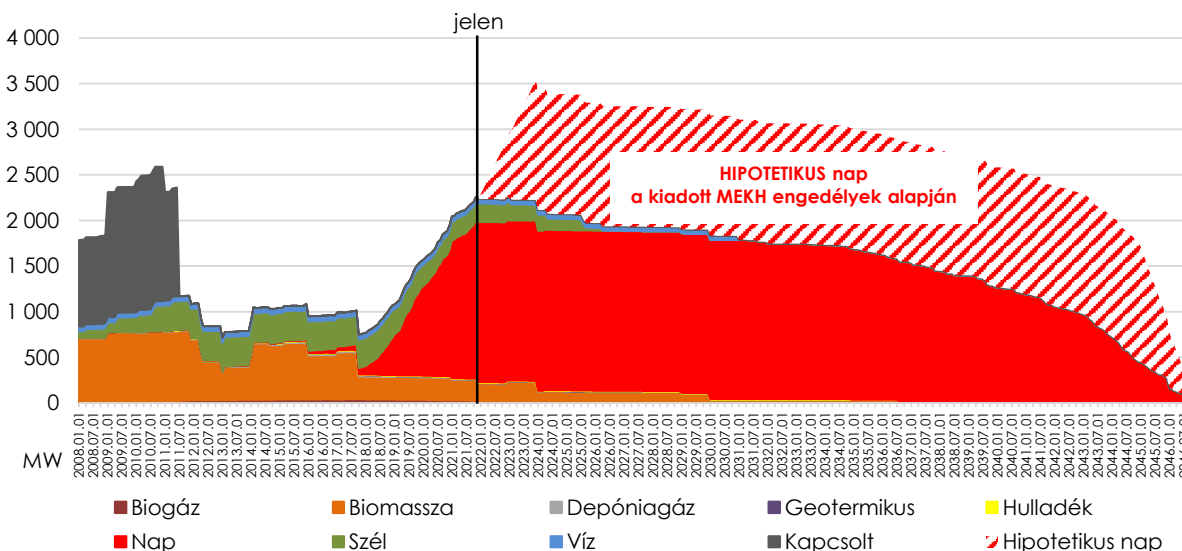
jelente, meghagyva, hogy az előző rendszerben támogatási határozatot kapó termelők annak lejáratáig még benne maradhatnak abban a (jellemzően kedvezőbb) támogatási rendszerben.

[34] A dolgozatban azért a KÁT rendszerek termelését vizsgálom, mivel:

- ezek a rendszerek bár új támogatói határozatot már nem kapnak, de még jelenleg is építés alatt állnak és 2023 év végéig még üzembehelyezhetők, ekkor indul a 25 éves támogatási idő
- a többi támogatási rendszerhez képest ebben a támogatási rendszerben működik (és még jó idei fog működni) a naperőművek túlnyomó hányada (1. táblázat)
- a KÁT-os erőművek, várhatóan 2046-ig, tehát még 25 évig működni fognak, túlnyomó hányaduk, még 2044-ig. (1. diagram)

1. táblázat 2020.09 hónapban érvényben lévő határozatok és megvalósult projektek mennyisége [6]

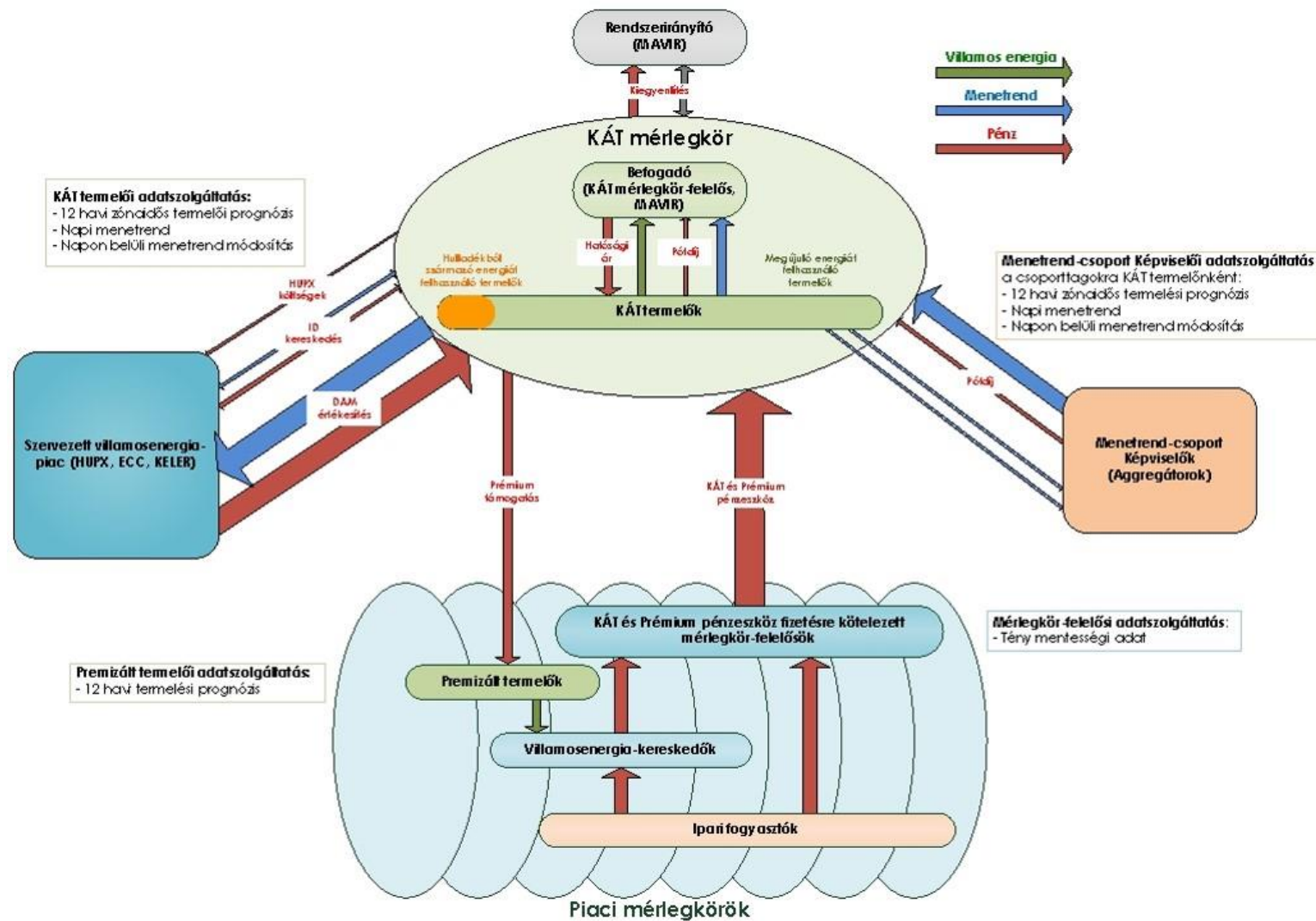
| Támogatási rendszer | Engedélyek   | Naperőmű teljesítmény (MW <sub>ac</sub> ) |     |       | 2020.09-ig megvalósult |
|---------------------|--------------|-------------------------------------------|-----|-------|------------------------|
|                     |              | MW                                        | %   | Átlag | MW                     |
| KÁT                 | 2,959        | 2,919                                     | 89% | 1.0   | 1,144                  |
| KÁT-METÁR           | 414          | 226                                       | 7%  | 0.5   | 156                    |
| METÁR               | 71           | 131                                       | 4%  | 2.0   | 2                      |
| Összesen            | <b>3,444</b> | <b>3,276</b>                              |     |       | <b>1,302</b>           |



1. diagram a KÁT mérlegkör energiaforrás szerinti összetétele és a beépített teljesítményének várható alakulása [1]

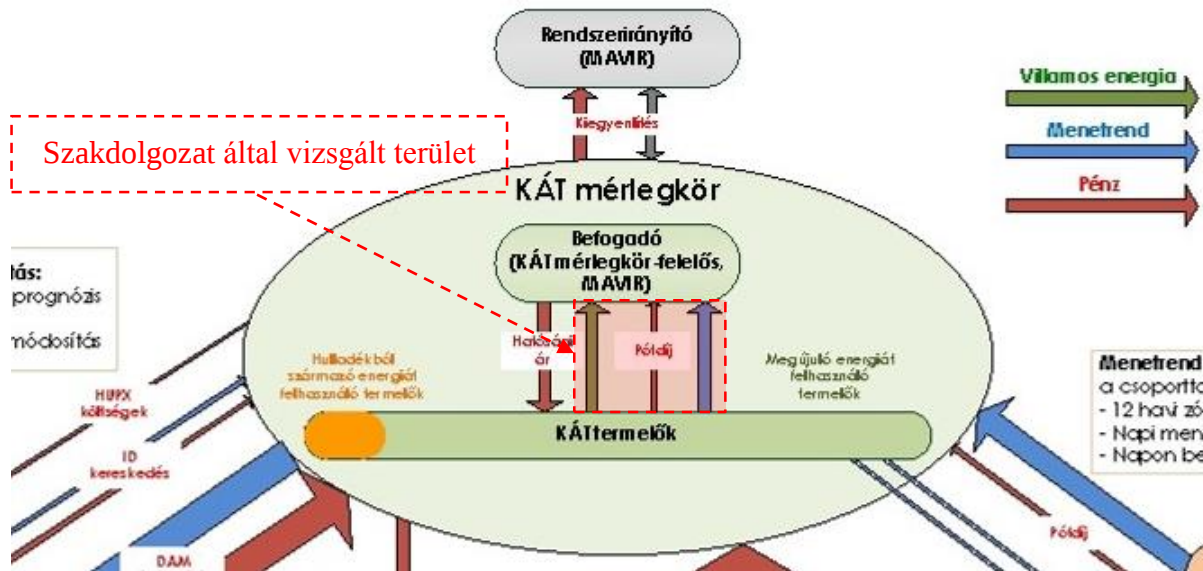
Az átvételi kötelezettség alá eső villamosenergia termelőjének a KÁT rendszerben, mint ahogy minden más szereplőnek is menetrendadási kötelezettsége van. Ezt a menetrendet a KÁT mérlegkör kötelező tagjaként, a KÁT mérlegkörnek kell megküldenie. A KÁT termelőnek a

menetrendektől való eltérés után teljes kiegyenlítési kötelezettsége áll fenn. A KÁT termelők által termelt energia kötelező befogadója a MAVIR, meghatározza az egyes KÁT termelők (vagy menetrend csoportok) menetrend eltéréseit és ez alapján pótdíjat számláz a KÁT mérlegkör tagok felé. [7] A folyamat VER rendszer elszámolásba illeszkedését mutatja az 1. ábra.



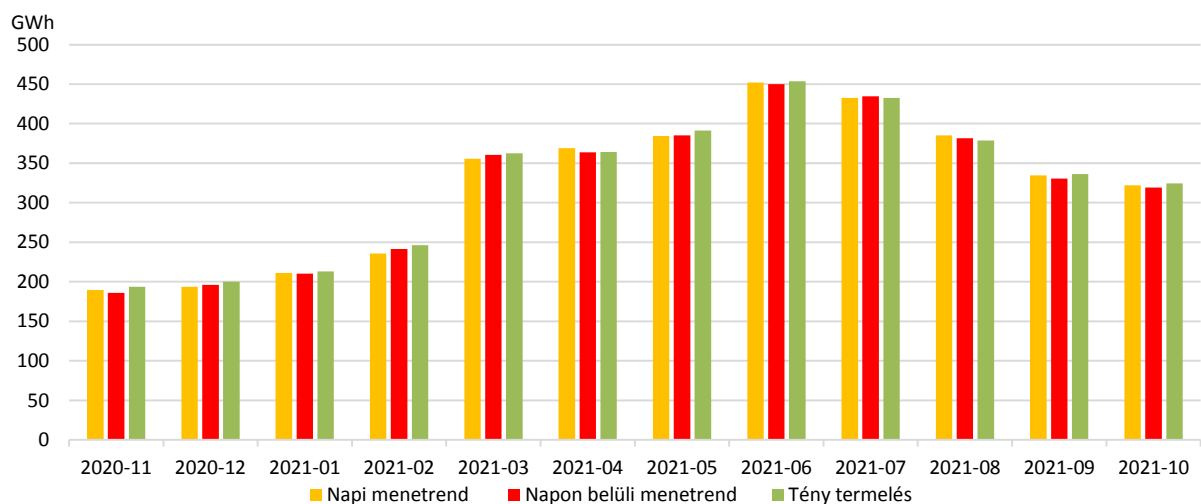
1. ábra a megújuló támogatási rendszer teljes modellje [7]

Az egyszerűbb érthetőség kedvéért a 2. ábra mutatja a dolgozat vizsgálatának szempontjából a modell legfontosabb részét.



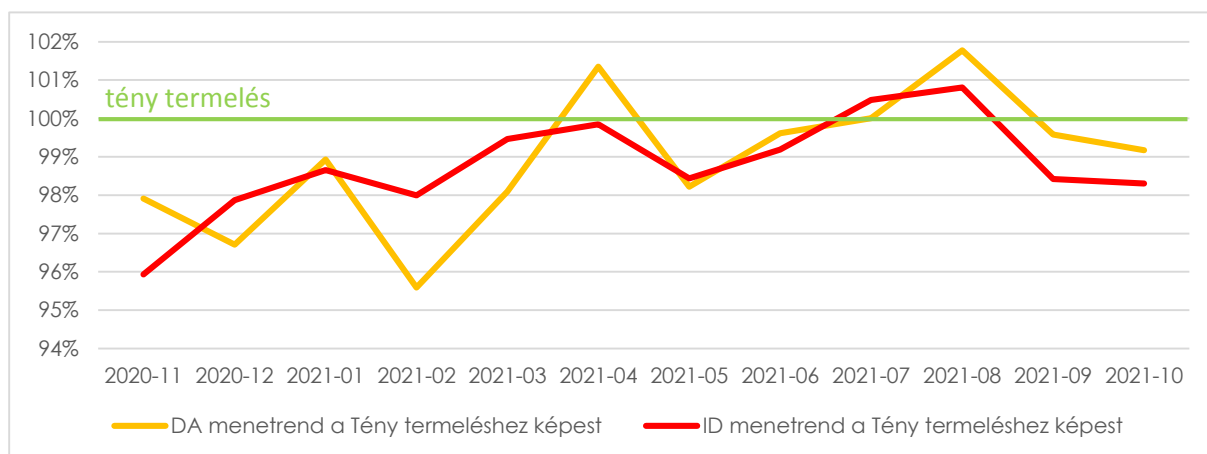
2. ábra a megújuló támogatási rendszer modelljének dolgozat szempontjából releváns részlete [7]

A vizsgálatom során kiemelt jelentőségű, hogy szaggatott piros téglalappal jelölt területen a kék nyíllal jelölt KÁT mérlegköri menetrend és zöld nyíllal jelölt KÁT mérlegkör által termelt villamos energia, mennyire fedik egymást. Ezt havi összesített értékek tekintetében mutatja a 2. diagram.



2. diagram A KÁT termelés és a napi, napon belüli menetrendek szumma mennyiségei [3]

A diagramokon (2. diagram és 3. diagram) látható, hogy tervezett és valós termelések értékei közti eltérés a termelt energia nagyságrendjéhez képest elenyésző, ugyanakkor az előrejelzés bizonytalanságával nem éves, nem is havi, de még csak nem is annyira napi szinten érdemes foglalkozni, hanem éppenséggel pont az elszámolás alapját jelentő 15 perces intervallumon.



3. diagram Menetrendek a tény termeléshez képest [3]

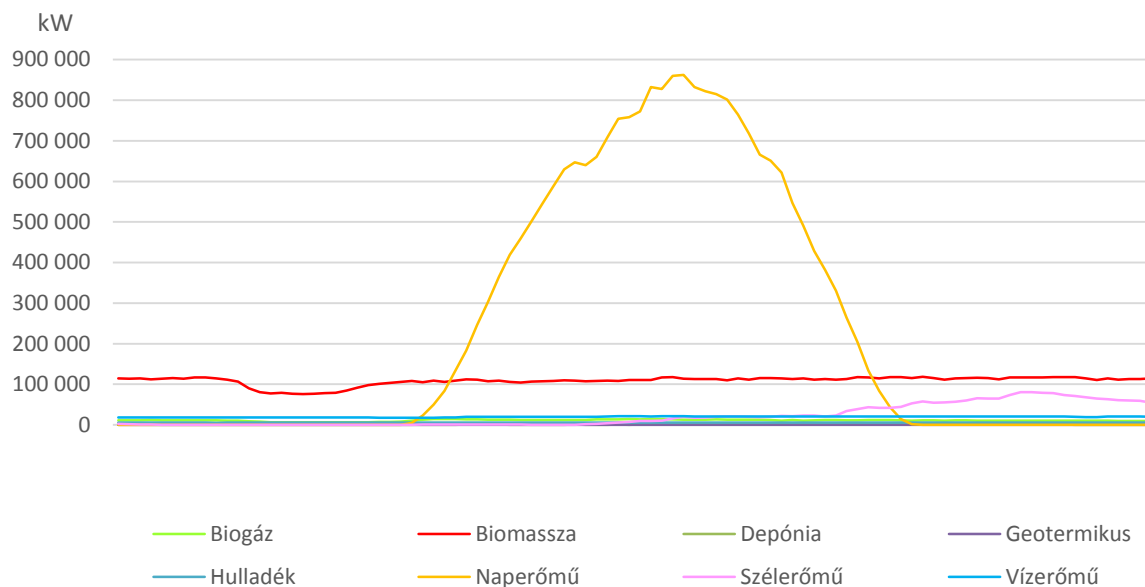
Másik érdekes megfigyelés a 3. diagram alapján, hogy végig gondolva a pirossal jelzett napon belüli menetrendnek minden esetben közelebb kéne lennie a zölddel jelölt tény termeléshez, mint a sárgával jelölt (előző) napi menetrendnek, hiszen az időjárás előrejelzés és az abból származtatott termelés előrejelzés a vizsgált időponthoz közeledve egyre pontosabbá válik, de mint látható ez az esetek felében nincs így. Ezt foglalja össze a 2. táblázat.

2. táblázat tény termeléshez közelebb lévő menetrend az egyes hónapokban [saját]

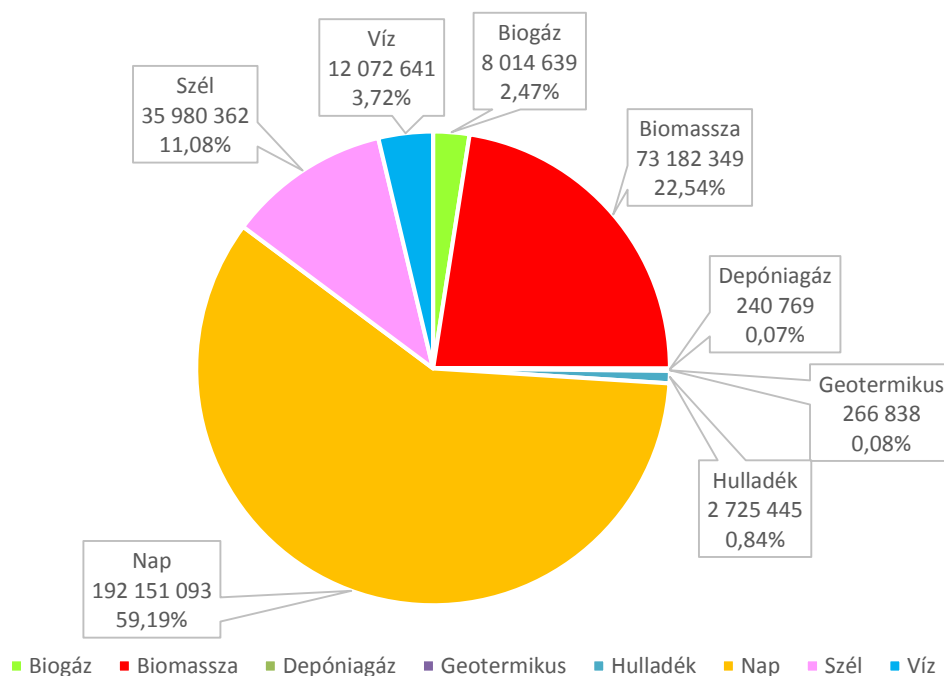
| Tény termeléshez közelebb |                        |
|---------------------------|------------------------|
| Napi menetrend            | Napon belüli menetrend |
| 2020-11                   | 2020-12                |
| 2021-01                   | 2021-02                |
| 2021-06                   | 2021-03                |
| 2021-07                   | 2021-04                |
| 2021-09                   | 2021-05                |
| 2021-10                   | 2021-08                |

A félreértések elkerülés végett meg kell jegyezni, hogy a KÁT minden megújuló energiaforrással termelő erőműtípus előtt nyitott (volt), nem kifejezetten a naperőművekre

kitalált támogatási rendszerről van szó, ennek ellenére, a KÁT mérlegköri energiatermelés legnagyobb hányadát naperőművek adják. Ezt mutatják a 4. diagram és az 5. diagram.



4. diagram Negyedórás KÁT tény termelések technológiánként egy 2021 októberi napon [5]

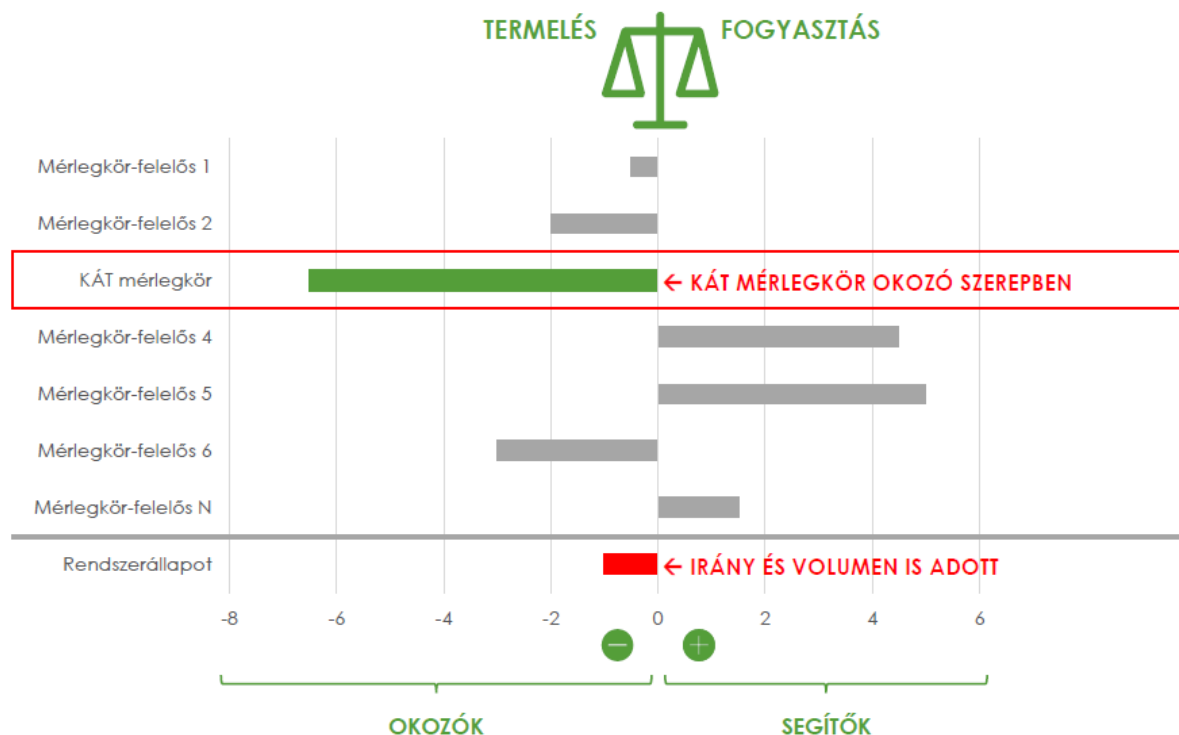


5. diagram KÁT termelés megoszlása primer energiaforrás szerint 2021 október hónapban (kWh) [5]

A 5. diagramról leolvasható, hogy 2021 októberében a KÁT mérlegkör által termelt villamosenergia közel 60%-át naperóművek termelték, az 1. diagram alapján pedig látható, hogy ez az arány a jövőben tovább fog nőni, sőt az előrejelzés szerint a KÁT mérlegkörben a napenergia egyre inkább egyeduralkodóvá fog válni.

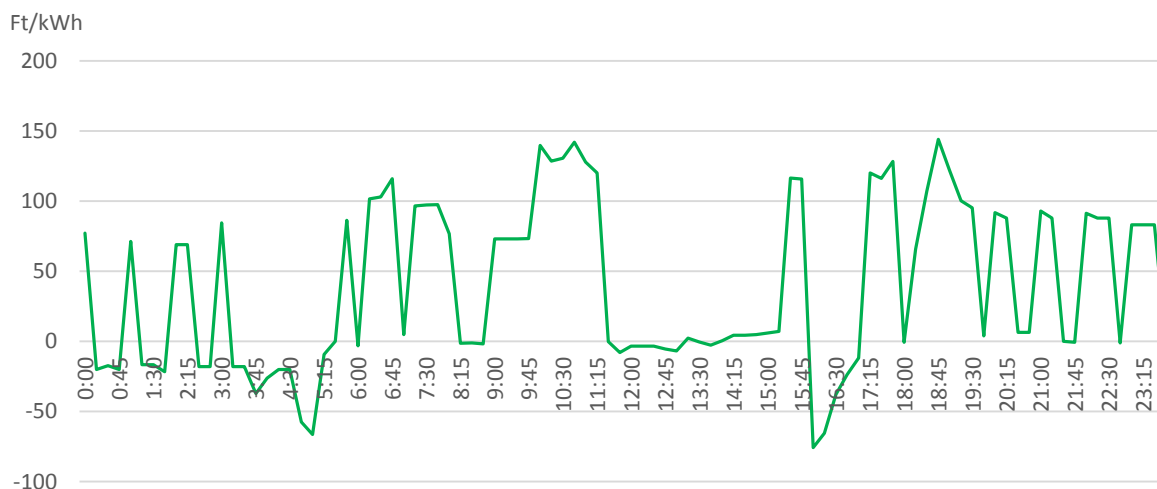
## 2.5. Kiegyenlítő energia a KÁT rendszerben

Amint a 2.1 fejezetben a VET-el kapcsolatban már bevezetésre került, azok a szereplők, akik a menetrendtől eltérő mértékű energiaáramlást valósítanak meg, kiegyenlítő energia fizetésére kötelezettek, hiszen a VER egyensúlyának megtartása érdekében a MAVIR-nak beavatkozásra volt szüksége az eltérés függvényében. A menetrendtől való eltérés azonban minden mérlegkör esetében 2 irányú lehet, amit ha összesítünk az egész magyarországi VER-re vetítve kiadódik egy eredő irány. Ehhez az irányhoz viszonyítva kell értelmezni az egyes szereplők költségviselését. Azok a szereplők akik bár eltértek a menetrendjüktől, de ezzel a rendszer egészét a kialakuló viszonyok szerint pont segítették, nem fizetnek, azok akik viszont úgy tértek el a menetrendjüktől, hogy azzal az egész rendszer állapotát rontották (a kiegyenlítési igényt „okozták”), kiegyenlítő energia díj fizetésére kötelezettek.



3. ábra Termelés és fogyasztás egyensúlya – rendszerállapot [10]

A kiegyenlítő energia ára minden 15 perces elszámolási periódusban különböző, amit az 6. diagram szemléltet.



6. diagram Kiegyenlítő energia egységárának változása 2021. október 1-én [8]

Ez a KÁT rendszerben termelő szereplők esetében sincs másképpen, azonban 2 ponton az elszámolás módja eltér. A KÁT termelők nem csak a napon belüli (végleges) menetrendjük (ID = IntraDay) után kötelezettek pótdíjfizetésre, hanem a korábban leadott napi menetrendjük (DA = DayAhead) után is, a végelszámolásnál pedig a 2 külön eltérésből számított fizetendő összeg átlaga után kell fizetniük (kettős költség visszaosztás). Ennek tőzsdei okai vannak, ugyanis KÁT mérlegkör bevétele alapvetően a napi menetrend tőzsdei értékesítéséből származik és a kereskedés szempontjából kiemelten fontos, hogy a napi menetrend és a napon belüli menetrend között minél kisebb eltérés legyen. További eltérés, hogy az így megállapított szabályzási pótdíj csökkentésre kerül a menetrenddel előre jelzett tény termelés mennyisége után, bár ez a csökkentés 2026-ig fokozatosan kivezetésre kerül, ezután a teljes kiegyenlítést ténylegesen a termelők fizetik. [3. táblázat]

3. táblázat szabályozási pótdíjcsökkentés fajlagos értékének változása 2020-2026-ig [43]

| Év   | Pótdíjcsökkentés |
|------|------------------|
| 2020 | 3 Ft/kWh         |
| 2021 | 2,85 Ft/kWh      |
| 2022 | 2,55 Ft/kWh      |
| 2023 | 2,1 Ft/kWh       |
| 2024 | 1,5 Ft/kWh       |
| 2025 | 0,75 Ft/kWh      |
| 2026 | 0 Ft/kWh         |

A teljes szabályozási pótdíj tehát a 389/2007. (XII. 23.) KÁT rendelet 14. mellékletének, 6. pontja alapján a következőképpen kerül kiszámításra:

$$\text{Szabályozási pótdíj} = \frac{\text{ID okozói pótdíj} + \text{DA okozói pótdíj}}{2} - \text{pótdíjcsökkentés}$$

A napi (DA) és napon belüli (ID) okozói pótdíjak kiszámításának módja, a 389/2007. (XII. 23.) KÁT rendelet 14. mellékletének, 1. pontja alapján:

**DA (vagy ID) okozói pótdíj =**

$$\frac{\text{DA (vagy ID) menetrend} - \text{tény termelés}}{\text{okozói eltérés}} \times \text{KÁT mérlegköri szétosztandó költség}$$

ahol a

**KÁT mérlegköri szétosztandó költség =**

$$\text{KÁT KE díj} - (\text{KÁT KE} \times \text{KÁT HUPX ár} \times \text{MNB} \left( \frac{\text{EUR}}{\text{HUF}} \right) \text{ közép árfolyam})$$

Mivel a KÁT kiegyenlítő energia díj (KÁT KE díj):

$$\text{KÁT KE díj} = \text{KÁT KE} \times \text{Mérlegköri kiegyenlítő energia egységár}$$

ezért, a KÁT mérlegköri szétosztandó költség a következőképpen is számítható

**KÁT mérlegköri szétosztandó költség =**

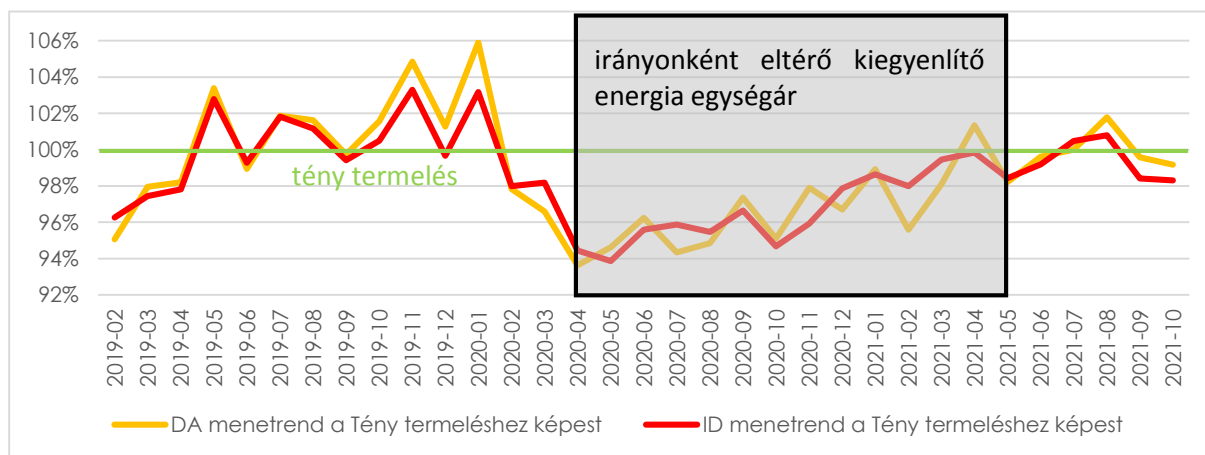
$$\text{KÁT KE} \times \left( \text{Mérlegköri kiegyenlítő energia egységár} - \text{KÁT HUPX ár} \right. \\ \left. \times \text{MNB} \left( \frac{\text{EUR}}{\text{HUF}} \right) \text{ közép árfolyam} \right) =$$

$$\text{KÁT KE} \times (\text{Mérlegköri kiegyenlítő energia egységár} - \text{KÁT energia egységár})$$

Az egyes kiserőművek tehát, nem pontosan az aktuális kiegyenlítő energia egységár és kiegyenlítő energia mennyisége alapján fizetnek szabályozási pótdíjat, hanem gyakorlatilag a KÁT-osok a kiegyenlítő energiáért annnyival kevesebbet fizetnek, amennyiért ők értékesítik a saját KÁT-os energiájukat. Úgy is lehet mondani, hogy a KÁT-os erőművek a kiegyenlítő

energia tekintetében, nem az energiáért fizetnek, hanem "csak" azért a plusszért, amennyivel ez a kiegyenlítő energia drágább mint, az általuk termelt KÁT-os energia. Ez azért van, mert 2021.01.01-től a pótdíj képlet kapott egy módosítást, ami a KÁT termelők alul menetrendezését bünteti. Tehát a KÁT mérlegkör kiegyenlítő energia költségét térítjük a kiegyenlítetlenség piaci értékével.

A vizsgálat során működő naperőművek menetrendjeinek és tény termelési adatainak felhasználásával azt fogom megnézni, hogy a múltban, egy elméletben már kiépített energiatároló használatával, mekkora pótdíj csökkenést érhetek volna el a végül kifizetett pótdíjhoz képest. A vizsgálatot nehezíti, hogy bár az adatok rendelkezésre állnak, a múltban a különböző mértékben volt ösztönözve a pontos menetrendadás, sőt a menetrendadás során a pontosság nem is mindig volt kifizetődő, így a menetrendi adatok a különböző időszakokban különböző módon vizsgálандóak. 2020 áprilistól, 2021 májusig a FEL és LE irányú kiegyenlítő energia egységára eltért egymástól úgy, hogy a LE irányú kiegyenlítésért (ami a kiserőmű szemszögéből túlermelés esetén lép fel) kevesebb pótdíjat kellett fizetnie, mint a FEL irányú kiegyenlítésért, ezért a termelőknek a termelés alulmenetrendezése volt a célja, nem a pontos menetrend adás, hiszen ez volt gazdaságilag jobb (7. diagram). Ez azt eredményezte, hogy a menetrendek 8-15%-al szándékosan alul voltak becsülve, amit jelen dolgozat vizsgálatában korrigálni kell. [9]



7. diagram Menetrendek a tény termeléshez képest 2,5 év viszonylatában [3]

| PÓTDÍJ ELSZÁMOLÁS<br>2018. JÚLIUS 1. ELŐTT |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | PÓTDÍJ ELSZÁMOLÁS<br>2018. JÚLIUS 1. UTÁN<br>2020. ÁPRILIS 1. ELŐTT                                                                                                                                                                                                                               |                                                                 | PÓTDÍJ ELSZÁMOLÁS<br>(TELJES KIEGYENLÍTÉS)<br>2020. ÁPRILIS 1. UTÁN                                                                                                                                                                                      |  |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Napi menetrend hiánya                      | 7 Ft/kWh                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $(KE_{le} + P) \cdot T$<br>[Ft/kWh]                             | A szabályozási pótdíj csökkentés előtti összege a KÁT KE költség okozathelyes visszaosztásával kerül kiszámításra, vagyis csak azok kerülnek szankcionálásra, akik az adott negyedórában a KÁT mérlegkörrel megegyező irányban tértek el menetrendjüktől |  |
| Napi menetrendtől való eltérés             | 5 Ft/kWh                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $(KE_{fel} - P) \cdot T$<br>$(KE_{le} + P) \cdot T$<br>[Ft/kWh] |                                                                                                                                                                                                                                                          |  |
| Toleranciasávok                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\geq 5</math> MW víz: <math>\pm 30\%</math></li> <li>• <math>&lt; 5</math> MW biomassa: <math>\pm 5\%</math>,</li> <li>• <math>&lt; 5</math> MW biogáz: <math>\pm 20\%</math></li> <li>• <math>&lt; 5</math> MW víz, szél, nap: <math>\pm 50\%</math> napi szumma</li> </ul> | Változás: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\geq 5</math> MW víz: <math>\pm 25\%</math></li> <li>• <math>&lt; 5</math> MW víz, szél, nap: <math>\pm 50\%</math> negyedórás</li> </ul>                                                                                                |                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                          |  |
| Szabályozási bónusz                        | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ID bónusz engedélyes és METÁR-KÁT termelőknek: 2 Ft/kWh</li> <li>• Napi bónusz 0,5 MW alatti KÁT termelőknek 3 Ft/kWh (naperőmű), 1,5 Ft/kWh (egyéb)</li> <li>• ID bónusz 0,5 MW alatti KÁT termelőknek 2 Ft/kWh (naperőmű), 1 Ft/kWh (egyéb)</li> </ul> |                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                          |  |
|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                 | Eltörlésre kerülnek a toleranciasávok                                                                                                                                                                                                                    |  |
|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                 | Eltörlésre kerül a szabályozási bónusz. Átmeneti időszakban a napi menetrend hiánnyal csökkentett tény termelési mennyiségre kerül megállapításra pótdíj csökkentés, amely nap- és széltermékek esetében 3 Ft/kWh, egyéb esetben 0,5 Ft/kWh              |  |

4. ábra Ösztönző rendszer a KÁT mérlegkör-tagi napon belüli menetrend beadásra [10]

Bár a jogszabályi környezet változásai az utóbbi években viszonylag sűrűn követték egymást, ami nehezíti a vizsgálat archív adatok általi elvégzését, ugyanakkor a változások mind egy irányba mutatnak:

- a kiserőművektől való minél pontosabb menetrend megkövetelése,
- a kiegyenlítő energia díjának egyre okozathelyesebb megtérítési kötelezettsége,
- az energiatárolás alkalmazási lehetőségének megteremtése.

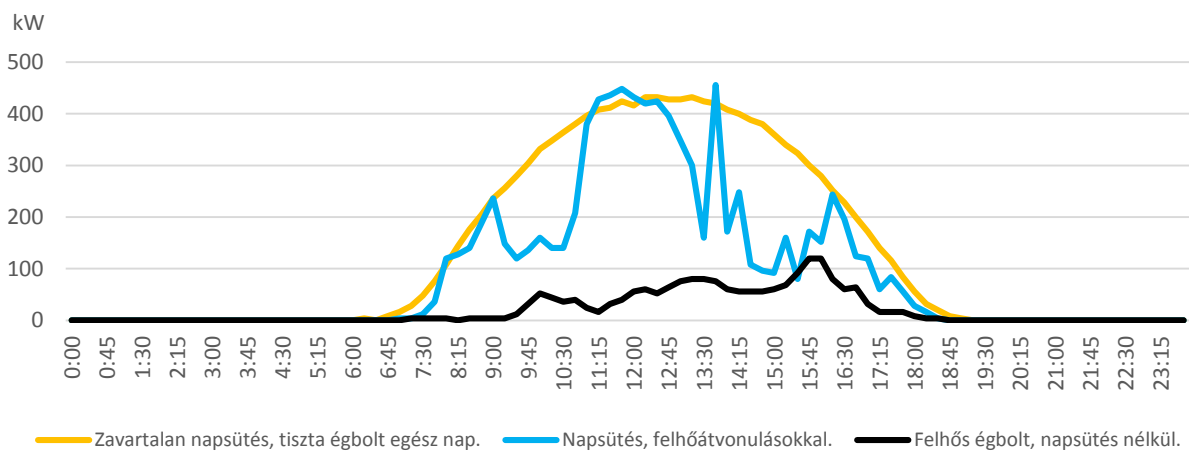
Ezek alapján a menetrendtartást segítő energiatárolás vizsgálatának időszerűsége nem kérdéses. A továbbiakban konkrét példákon és adatokon keresztül tekintem át a napelemes kiserőművek működését, a fent leírt szabályozási környezetben.

### 2.5.1. Napelemes termelés jelleggörbéje

A naperőművek termelési jellege 3 fő csoportba sorolható az időjárástól függően:

- Zavartalan napsütés, tiszta égbolt egész nap
- Napsütés, felhőátvonulásokkal
- Felhős égbolt, napsütés nélkül

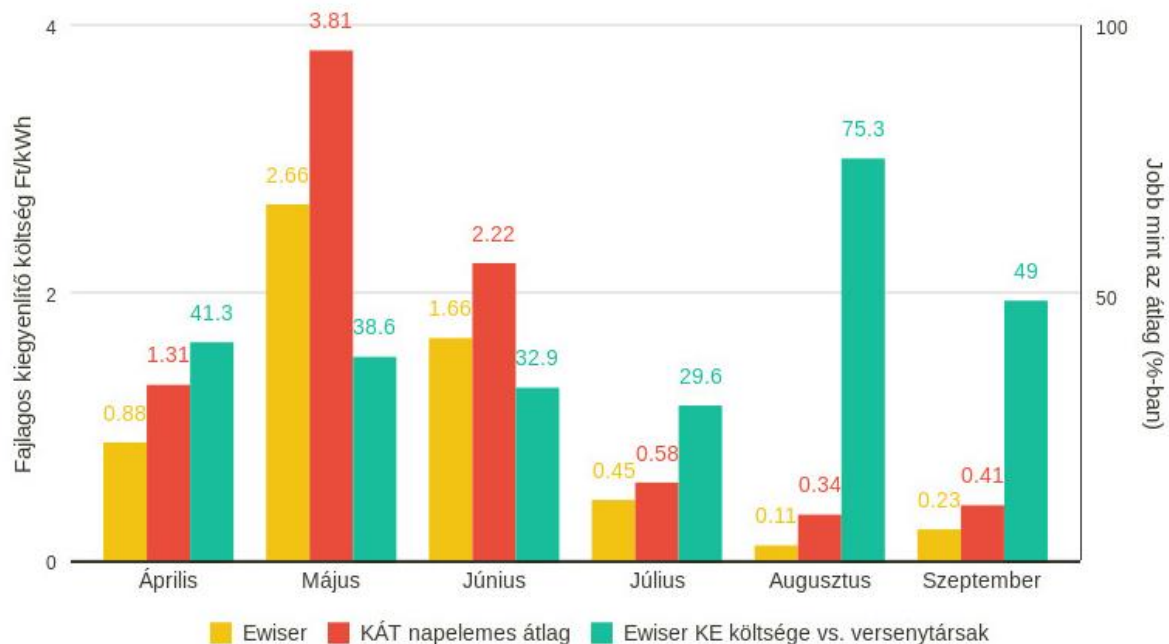
A 3 termelési jelleg napi termelési görbáját mutatja a 8. diagram. A diagrammon látszik, hogy napsütéses napon a termelési teljesítmény egyenes arányban változik a nap horizont feletti magasságával, minél magasabban van a nap, annál több energia termelhető. A felhőátvonulásokkal szabdaltnapon, a teljesítmény hol a napsütéses nappal megegyező értéket mutat, hol annál jóval alacsonyabbat. A felhős napon a teljesítmény az egész napos szórt fény erősségét követi, nagyjából függetlenül az aktuális napszaktól, az aktuális felhővastagság függvényében.



8. diagram Napelemes energiatermelés 1 napjának alapvető jelleggörbéi [saját]

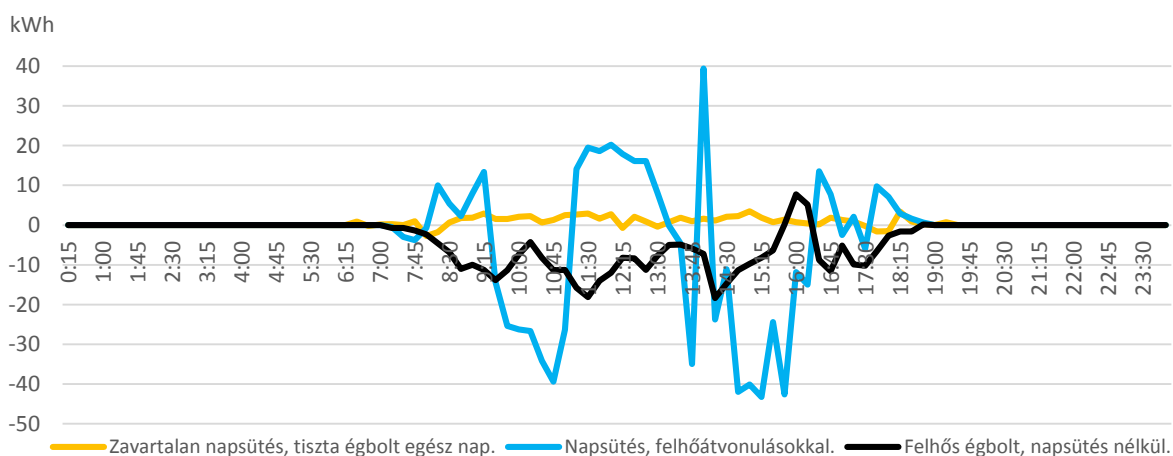
### 2.5.2. Menetrendezés naperőműveknél

Naperőművek menetrendkészítéséhez szükséges termelés-előrejelzési módszerek közül 2 alapvetően eltérő módszer létezik. A termelés-előrejelzési módszerek két alapvetően eltérő típusa a matematikai és a statisztikai modellen alapuló megközelítés. Arról azonban hogy melyik a pontosabb egyelőre nincs végső megegyezés. [11] Az általam vizsgált naperőművek menetrendjét az Ewiser Forecast Kft. készíti. Az általuk készített a menetrendek az időjárás előrejelzésen kívül, a napelemparkokból származó kameraképekre, besugárzási és pillanatnyi termelési adatokra épülő gépi tanítási eljárások alapján készülnek és elég pontosnak mondhatóak, legalább is a versenytársakhoz képest mindenképpen. Az Ewiser menetrendjének pontosságát mutatja a fajlagos kiegyenlítő költségen keresztül a 9. diagram.



9. diagram MAVIR KÁT napelemes és Ewiser fajlagos kiegyenlítő költsége, 31%-os Ewiser piaci részesedést feltételezve [9]

A 8. diagram termelési napjait alapjául véve, az adott napon érvényes Ewiser által készített menetrend (átlagos napi és napközbeni) és tény termelés eltérését mutatja a 10. diagram.



10. diagram Tény termeléstől való menetrendi eltérés (+ több tény mint várt, - kevesebb tény mint várt) [saját]

A diagramon látható, hogy a zavartalan napsütés napjára vonatkozólag (sárga görbe) viszonylag kis (kevesebb mint 5 kWh/15 perc) eltéréssel előre jelezhető volt a várható termelés. Bár a nagyobb hibával, de még mindig közepes eltéréssel volt előre jelezhető a felhős napi termelés, (fekete görbe) jellemzően túlbecsülve a ténylegesen bekövetkező állapotot. A legnagyobb

hibával az a nap terhelt, ahol tiszta égbolton felhőátvonulások és báránnyfelhők okoznak termelésesökkenést (kék görbe). Ez az a nap ahol a menetrendezésnek a legtöbbet kéne fejlődni és ahol az akkumulátoros energiatárolásnak a legnagyobb előnye mutatkozik.

### 2.5.3. Pótdíj

A korábbi fejezetekben már bemutatott pótdíj nem egyenesen arányos a menetrendi eltéréssel.

1. Függ az adott 15 percben termelt energia mennyiségétől (egyelőre), amíg a pótdíjcsökkentés 2026-ig nem fut ki az elszámolási rendszerből.
2. Függ a KÁT mérlegkör többi kiserőművének eltéréseitől és azok nagyságától a saját erőmű eltéréséhez képest.
3. Függ a KÁT mérlegkör állapotától, hiszen amennyiben az eltérés olyan, hogy segíti a KÁT mérlegkör egyensúlyát, úgy nincs pótdíjfizetési kötelezettség, legyen bármekkora is az eltérés.
4. Függ a VER állapotától, mert amennyiben a KÁT mérlegkörön kívül a VER egyensúlyát is segíti (nem következik a kettő egymásból!) akkor a termelő még jóváírást is kap (bevételt nem!)

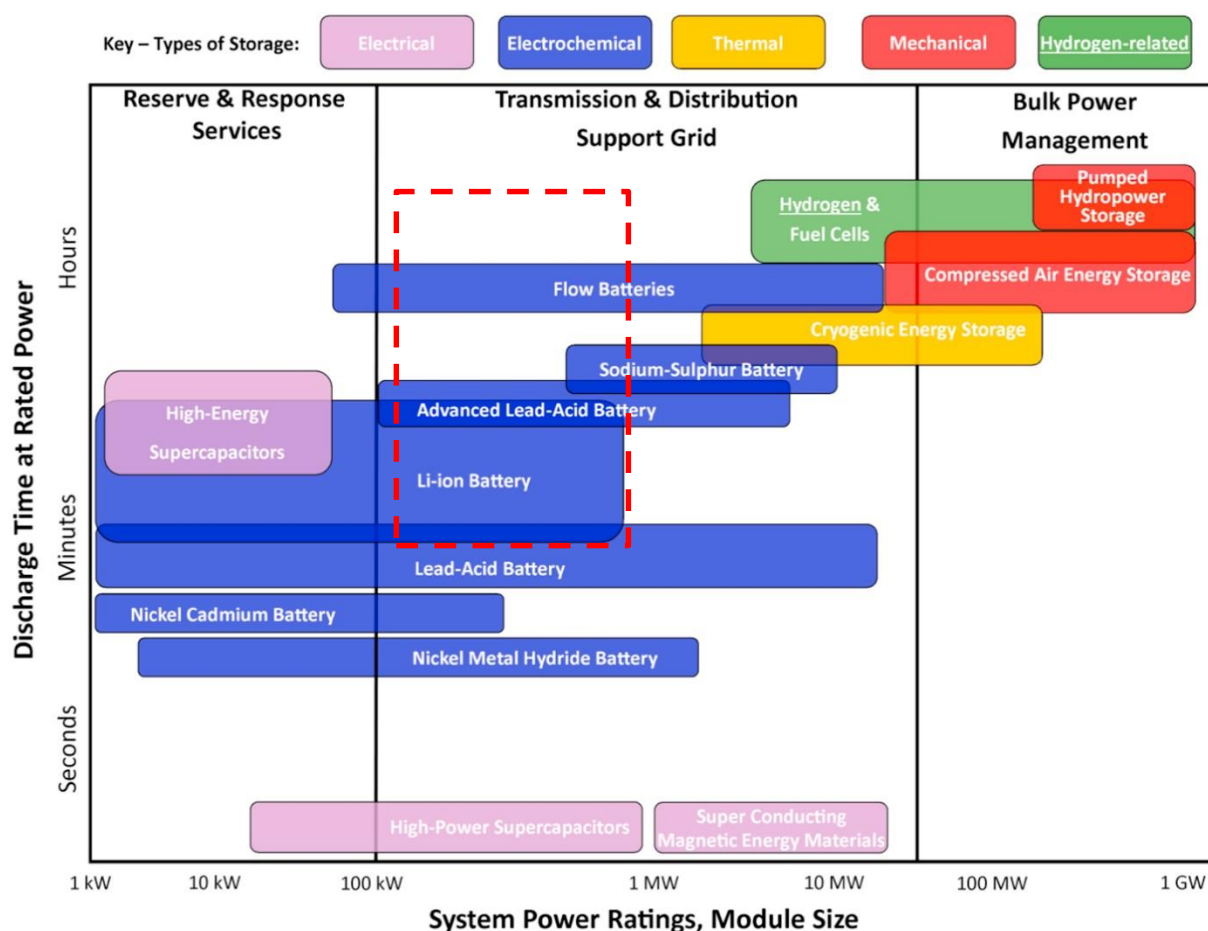
A pótdíj csökkentése 2 módon lehetséges:

- pontosabb menetrend adásával, ami pontos termelés (időjárás) előrejelzést követel meg, de az időfelbontás növelésével ez a feladat egyre nehezebb és költségesebb, illetve a pontosság egy határon túl biztosan nem javítható tovább.
- a termelés menetrendhez igazításával, energiatároló berendezés segítségével.

A továbbiakban áttekintem az elérhető villamosenergiatároló berendezések fajtáit és megpróbálom megkeresni, hogy kiserőművi menetrendkiegyenlítési célra melyik a legmegfelelőbb.

### 3. MEGLÉVŐ MEGOLDÁSOK

A villamosenergia tárolására számos megoldás létezik, azonban mint a bevezetőben említésre került váltakozó áram esetén mindegyik megoldás a villamosenergia átalakításán keresztül működik, mivel a váltakozó áram nem tárolható. A 11. diagram átfogó képet mutat a jelenleg elérhető technológiákról villamosenergia tárolás területén.



11. diagram a fő energiátárolási technológiák összehasonlítása teljesítmény és kapacitás szempontjából [14]

Mint látható, az ideális tárolási technológia kiválasztásához ismerni kell az alkalmazási mód által megkövetelt teljesítményt és a szükséges energiátárolási kapacitást, ami a jelen vizsgálat részét képezi. Előzetesen persze már lehet közelíteni a megfelelő megoldáshoz most is, ha a kiserőmű teljesítményét (500 kW) és órás-napi termelési kapacitását (500-3500 kWh) vesszük alapul, hiszen ehhez igazodó méretű energiátárolás megvalósítása a cél. A piros szaggatott

vonallal bekeretezve láthatjuk az előző diagramon, hogy ezen peremfeltételeknek mely energiatárolási típusok a legmegfelelőbbek. Ami egyértelműen látszik, hogy elektrokémiai úton történő akkumulátoros energiatárolási módban érdemes gondolkodni, melyek között átfedések vannak, így elképzelhető hogy nem 1 kifejezett akkumulátor technológia lesz az abszolút győztes megoldás. Viszont mivel akkumulátorokról van szó melyek fejlődése óriási ütemben zajlik, elképzelhető, hogy ami most 2021-ben a legjobb megoldásnak tűnik, az 2022-ben már nem lesz feltétlen így.

### 3.1. Akkumulátorok típusa és ára

A következő táblázatban összefoglalva látható, hogy az elérhető és esetünkben alkalmas akkumulátor technológiák közül melyik milyen tulajdonságokkal rendelkezik.

4. táblázat a különböző akkumulátoros elektromos energiatároló technológiák jellemzői [12, 19]

| Típus        | Teljesítmény max (MW) | Működési ciklusok száma 80% kisütéssel (x1000) | Várható élettartam (év) | Maximum kisütés (%) | Hatásfok (%) |
|--------------|-----------------------|------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| Vanadium RFB | 10                    | 10–13                                          | 15–20                   | 100                 | 75–85        |
| Zn-Br RFB    | 2                     | 5–10                                           | 5–15                    | 60–70               | 72–80        |
| Lead-acid    | 20–70                 | 2–4.5                                          | 5–15                    | 60–80               | 65–90        |
| Li-ion       | 10                    | 1.5–4.5                                        | 5–15                    | 80–100              | 85–95        |
| Ni-Cd        | 40                    | 2–2.5                                          | 10–20                   | 80                  | 60–75        |
| NaS          | 8                     | 2.5–4.5                                        | 10–15                   | 80–85               | 75–90        |

Az 4. táblázat alapján az látszik, hogy az egyes technológiák között komoly eltérések vannak, mind hatásfokban, mind várható élettartamban, ez utóbbi szorosan összefügg a működési ciklusok számával. Az 5. táblázat az egyes akkumulátorfajták költségösszetételét mutatja.

5. táblázat jelenlegi akkumulátor technológiák beruházási és üzemeltetési költségei [12][15]

| Type         | Beruházási költség \$/kWh | Tervszerű karbantartás \$/kWh-év | Hiba javítás \$/MWh |
|--------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Vanadium RFB | 460–1600                  | 3.8–19.4                         | 0.22–3.14           |
| Zn-Br RFB    | 200–595                   | 3.6–7.7                          | 0.34–2.25           |
| Lead-acid    | 206–950                   | 3.6–14.5                         | 0.17–0.58           |

| Type   | Beruházási költség \$/kWh | Tervszerű karbantartás \$/kWh-év | Hiba javítás \$/MWh |
|--------|---------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Li-ion | 500–2500                  | 2.2–15.3                         | 0.45–6.29           |
| Ni-Cd  | 632–1256                  | 4.5–26.9                         | n.a.                |
| NaS    | 200–632                   | 2.2–19.4                         | 0.34–6.29           |

A költségek jelenlegi alakulásán kívül fontos figyelembe venni a költségek várható alakulását is, mivel egy gyorsan fejlődő iparágról beszélünk. A következő kb. 10 évben 2030-ig, a technológiák beruházási költségének tekintetében körülbelül 40-50%-os ár mérséklődésre lehet számítani. [16] Ezt fontos megjegyezni, hiszen az előzőekben bemutatott KÁT naperművek támogatási időszaka ezen jócskán túlmutat, a szabályozási pótdíjak növekedése várható, ami a tárolási technológia alkalmazásának az idő múlásával egyre inkább teret fog adni, bármi is legyen a vizsgálat végső eredménye.

Mivel jelen dolgozat nem tud elég részletes lenni ahhoz, hogy az ideális akkumulátorválasztás részletes folyamatát áttekintse, ezért a következőkben megvalósult eseteket tekintek át, majd azok alapján teszek egy közelítő javaslatot az ideálisnak tűnő technológia alkalmazására.

### 3.2. Megvalósult energiatárolók

A villamosenergia tárolók elterjedésének 2 alapvetően eltérő léptéke figyelhető meg. Egy részről a háztartási méretű 5-10 kWh energia tárolására alkalmas akkumulátoros rendszerek, melyet leginkább napelemes rendszerek mellé telepítenek és jelenleg már akár állami támogatással ingyenesen is hozzájuk lehet jutni a lakosság számára a 2021. december 6-án induló RRF-6.2.1 „*Lakossági napelemes rendszerek támogatása és fűtési rendszerek elektrifikálása napelemes rendszerekkel kombinálva*” című pályázat keretében. [18] Ezek a rendszerek Li-Ion technológián alapulnak és költségük összemérhető azzal a napelemes rendszerrel amelyik mellét általában elhelyezik, de akár meg is haladhatja azt. Jelenleg a támogatáson kívül inkább csak az úttörő szemléletű fogyasztók szerzik be ezeket, de a háztartási méretű kiserőművekre jellemző szaldó elszámolás közelmúltban többször belengetett megszűnése komoly lökést jelenthet ezen berendezések térnyerésének.

A villamosenergia tárolók másik léptéke a „konténer” méretű kompakt előre szerelt energiatároló, melyek bár fajlagosan olcsóbbak mint az előzőekben említett háztartási méretű villamosenergia tárolók még csak pár pilot projekt létéről lehet tudni magyarországi viszonylatban. Ennek fő oka, hogy ezen konténer méretű energiatárolók a méretükből fakadóan rendkívül drágák és vállalatok (áramszolgáltatók) vásárolják így a felhasználási terület körültekintően kell kiválasztani és a pénzügyi megtérülést is alaposan körbe kell járni. A következőkben a Magyarországon már megvalósult energiatárolók bemutatásán keresztül mutatom be a technológiát.

### *3.2.1. Primer szabályozó energiatároló a Zuglói fűtőműnél*

2018 szeptemberében kezdte meg működését Magyarország első olyan akkumulátoros energiatárolóját, mely a VER primer szabályozásának segítése érdekében fejlesztettek és építettek. Ezt a szabályozást Magyarországon eddig csak erőművekkel valósítottak meg, azok termelési teljesítményének változtatásával, ezért jelen projekt országos szinten egyedülálló és úttörő. Oly annyira úttörő, hogy a projekt megvalósulásáig szinte csak gázturbinás erőművek végeztek primer szabályozási feladatokat, ezért a vonatkozó jogszabályok is „*forgó tartalék*”-ként hivatkoztak az ilyen jellegű gépegyeségekre, mely elnevezést „*tartalék*”-ra kellett változtatni, hogy az akkumulátoros tároló megépülhessen, de ezen kívül egyéb apró módosításokra is szükség volt, hasonló okokból. Mivel a szabályozó hatóságok hamar felismerték az akkumulátoros energiatárolásban rejlő lehetőségeket, így a jogszabályváltozások hamar és gördülékenyen végbe mehettek. [21]

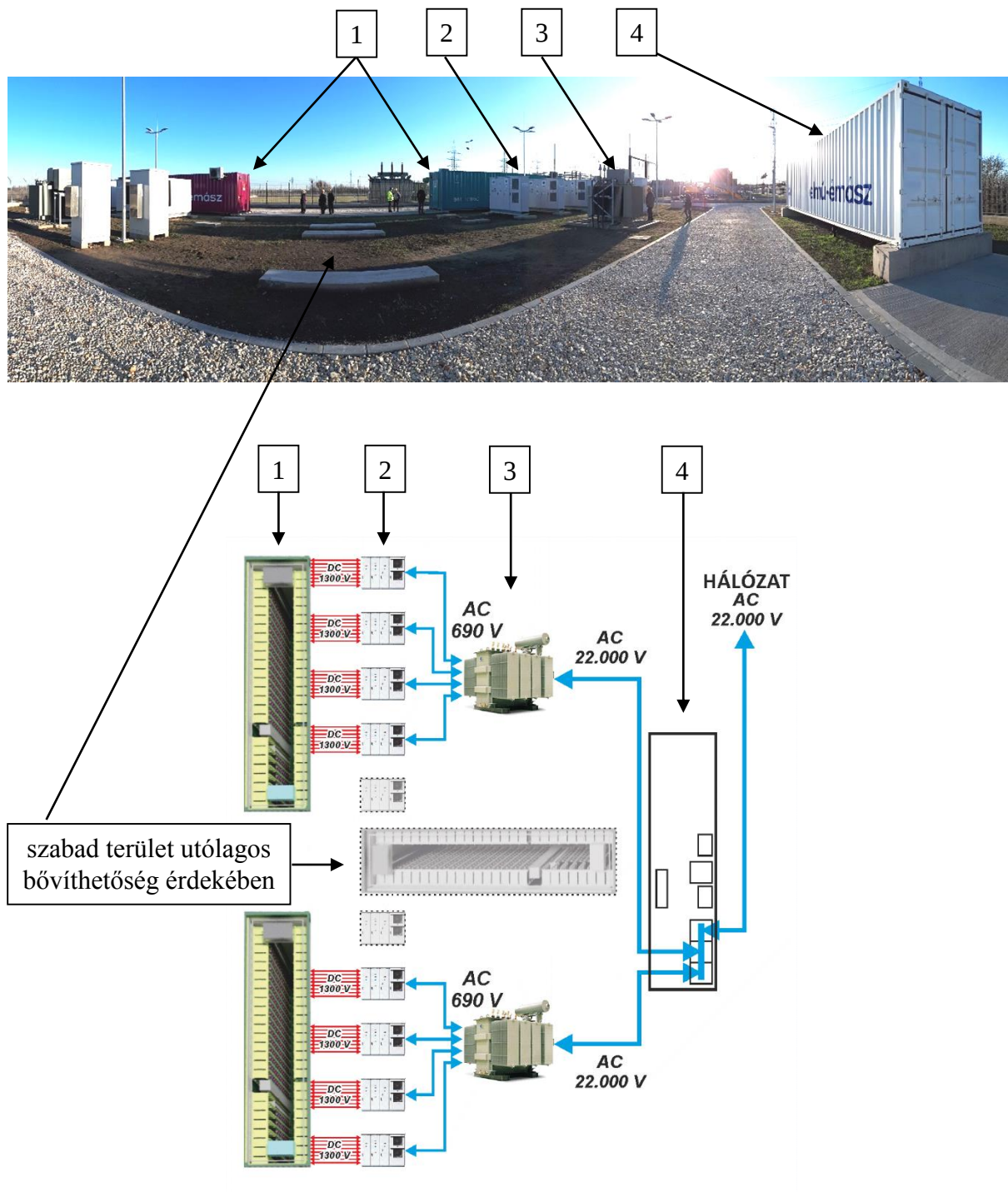
A projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési És Innovációs Alap „*Villamosenergia-tároló architektúra rendszerszintű integrációja és innovatív alkalmazási modellje*” című KFI\_16-1-2017-0152 azonosítószámú kutatás-fejlesztési projektjének keretében lett kifejlesztve és megépítve. A kutatás-fejlesztési támogatás 500 millió Ft-al járult hozzá a költségekhez, melyek összesen 1,1 milliárd Ft-ot tettek ki. Ezért a pénzért a projektet fejlesztő Synergy Kft (mely az Alteo csoport tagja) tárolókapacitásban 4 MWh-át, teljesítményben 7 MW-ot tudott elérni. Számításaik szerint a primer szabályozásban való részvételhez, amire a tárolót tervezték, ez az ideális kapacitás-teljesítmény méret. [20]

A rendszer a hagyományos akkumulátoros architektúra alapján épül fel: 16 660 akkumulátor cellából áll, melyek 595 modulba vannak rendezve. Az akkumulátorok Li-Ion technológiájúak. Az akkumulátor modulok egy 40 lábas „hagyományos” konténerben vannak elhelyezve, melyekhez 3 db inverter-transzformátor egység tartozik, külön konténerekben elhelyezve 1. kép. A projekt várható élettartama leginkább az akkumulátorok élettartamától függ, melyekre 15 évet számolnak, amikor is az akkumulátorok kapacitása 70% körülire esik. A rendszer szabályozása az akkumulátorok töltöttségét igyekszik folyamatosan 50%-on tartani, mivel a primer szabályozás kiszámíthatatlan és akár gyakran változó energiaigényét így tudja a legjobban kielégíteni, tehát a működés tekintetében itt nem az a jó ha fel van töltve az akkumulátor, hanem a teljesen töltött akkumulátor ugyanolyan rossz mint a teljesen lemerült.



1. kép a zuglói energiatároló egységei: akkumulátor konténer (alul) és 3 db inverter-transzformátor modul (felül) [20]

### 3.2.2. Primer szabályozó energiatároló a soroksári alállomáson („ENTÁR-1”)



2. kép: az energiatároló telep látképe [saját kép] és sematikus ábrája [46]

Pár hónappal az előző példa után, 2018 novemberében kezdte meg működését a soroksári 120/22 kV-os alállomáson a következő, előzőhöz hasonló elvű primer szabályozásra tervezett akkumulátoros energiatároló az ELMŰ-ÉMÁSZ Energiatároló Kft beruházásaként. A projekt költsége 1,5 milliárd Ft, valamivel több mint a zuglói rendszeré, azonban teljesítménye és kapacitása is nagyobb. 4 helyett 6 MWh-ás kapacitással és 7 helyett 10 MW-os maximális teljesítménnyel rendelkezik. A teljesítmények viszonyítása érdekében meg kell említeni, hogy Magyarország primer szabályozási tartaléka a MAVIR meghatározása alapján 28 MW. Ez azt jelenti, hogy az imént említett 2 energiatároló, ezen primer szabályozási tartalék felét lefedi (az egyes energiatárolók a névleges maximális teljesítményüknél kisebb teljesítménnyel vesznek részt a szabályozásban. A zuglói 7 helyett 6 MW-al, a soroksári 10 helyett 8 MW-al.)

A 2. képen látható az energiatároló rendszer, melynek főbb részei az alábbiak:

1. akkumulátor telep – egyen áramú rész (konténerben)
2. inverterek
3. transzformátor
4. felügyeleti és nagyfeszültségű kapcsolótér (konténer)

A rendszer becsült megtérülési ideje 5-10 év a MAVIR szabályozási tartalékokra kiírt negyedéves tender ár változásától (rendelkezésre állási díjtól) függően.

A konténerekben skálázható módon, rack szekrényekben vannak elhelyezve az akkumulátor egységek, melyek könnyen cserélhetőek és bővíthetőek. Összesen 21.120 db elemi cella van beépítve a rendszerbe, 22 db cella alkot 1 modult (a képen a ventilátoros egység) és 16 modul alkot 1 sztringet. Az akkumulátorok szabályozása ugyan úgy történik itt is mint Zuglóban, vagyis az akkumulátorok 50%-os töltöttsége az alap állapot, amitől a szabályozás függvényében eltér az energiatároló. A 30% alatti és 70% feletti töltöttséget szintén el kell kerülni, mivel a szabályozási tartalékokról rendelkező jogszabályok alapján a névleges szabályozási teljesítményt mindkét irányban 15 percig kell tudni tartani, ez pedig csak ezen határokról lehetséges. Amíg a primer szabályozásban nem jelentek meg ezek az akkumulátoros tárolók, a szabályozás 30 percet követelt meg, de a projektek megvalósíthatósága érdekében a szabályozást összhangba hozták az európai irányelvekkel 15 percre. Valószínűsíthető, hogy azért sem épült még korábban ilyen tároló, mivel a beruházónak proaktívan a szabályok változását is el kellett érnie a megvalósítás érdekében az illetékes hatóságoknál.

### 3.2.3. Feszültség szabályozás KIF hálózaton

Az akkumulátoros energiatárolás további tesztelés alatt álló területe a feszültségszabályozás kis és középfeszültségeken. A VET 33/C §. teremti meg a lehetőségét az villamosenergia elosztó társaságok számára az elosztási tevékenység optimalizálása érdekében maximum 0,5 MW teljesítményű villamosenergia-tároló használatát. Az egyik első ilyen energiatároló Kecelen és Zsombón épült 2018-ban és 2019-ben, kisfeszültségen. Ezek teljesítménye 30 kW, kapacitása, 140 kWh. A tároló méretét mutatja a 3. kép, mely nagyjából úgy néz ki mint egy külső kezelőterű betonházas 630 kVA-es transzformátor, melyből sokat láthatunk lakóövezetekben és ipari területen egyaránt. A képen látható betonházban foglal helyet minden: a vezérlés, az inverterek és az akkumulátorok is. Az akkumulátor típusa Li-ion nikkell-mangán-kobalt (NMC), mely a nagy 100 MW teljesítményű, 129 MWh kapacitású Ausztráliában a Tesla által megvalósított akkumulátoros energiatárolónál is használt akkumulátor fajta. [28, 30] A hálózati feszültség szabályozása mellett fázis-szimmetrizálásra is képes. Az energiatárolás ezen léptékét a kisfeszültségű hálózatra kapcsolódó Háztartási Méretű Kiserőművek (HMKE) terjedése indokolja, melyek elhelyezkedésükből adódóan olyankor termelnek legtöbbet, mikor a fogyasztás lokálisan jellemzően a legkevesebb, ami feszültségtorzító hatást eredményez, sok nagy napelemes HMKE koncentráció esetén. [24]



3. kép KIF-re csatlakozó akkumulátoros energiatároló Zsombón [29]

### 3.2.4. Feszültség szabályozás KÖF hálózaton

A középvezettségű hálózatra a kisvezettségű hálózathoz hasonlóan a napelemek hatása miatt telepítettek akkumulátoros energiatároló berendezést 2020-ban Földeákon, 22 kV-os csatlakozási feszültségre az MVM Démász Áramhálózati Kft szakemberei. Ez a környező naperőművek által keltett feszültségnövekedés kezelésére szolgál, csak már középvezettségén. Az energiatároló 500 kW teljesítményű, 1640 kWh kapacitású. Az eddig összegyűlt tapasztalatok azt mutatják, hogy az akkumulátoros energiatároló egységek hatékonyan el tudják látni feladatukat. [24]

Az MVM-hez hasonlóan az E.ON-is pilot projektekbe kezdett 2020-ban. Zánkán egy 500 kW teljesítményű és 1200 kWh tárolókapacitású akkumulátoros energiatárolót telepítettek, majd nem sokkal később Dúzson egy 250 kW teljesítményű és 500 kWh kapacitású energiatároló is megvalósításra került. A projektek költségvetése 1,3 milliárd Ft, melyet részben az Európai Unió IElectrix projektjéből finanszíroztak. A 4. kép mutatja az egyes helyszíneken megvalósult berendezéseket. Mivel mindkét energiatároló berendezés a KÖF-re dolgozik, ezért mind a két esetben látható egy betonházas transzformátor a konténerek mellett, mely konténerekben foglal helyet a vezérlés, az áramátalakító inverterek és az akkumulátorok. A berendezés szinte teljesen előre szerelve érkezik a helyszínre, ahol pár nap alatt beüzemelhető.



4. kép az E.ON akkumulátoros energiatárolói Zánkán (bal) és Dúzson (jobb) [27]

### 3.3. Teljesítmény és energiakapacitás megválasztása

Az előző fejezetben bemutatásra került, megvalósult akkumulátoros energiatárolók alapján levonható a következtetés, hogy bármilyen méretben (teljesítményben és kapacitásban) kivitelezhető moduláris felépítése miatt, illetve hogy különböző alkalmazási területeken is alkalmazhatóak. A méretet mind a teljesítményt mind a kapacitást, egyedül a használati cél határozza meg. Az alkalmazási terület függvényében jelentkező teljesítmény, illetve energiaigény különbségeket a 6. táblázatban foglalom össze:

6. táblázat akkumulátoros energiatárolók jellemző alkalmazási területeinek energia és teljesítmény igénye [32]

| Jellemző alkalmazás                | Működési reakcióidő | Energiaigény | Teljesítmény |
|------------------------------------|---------------------|--------------|--------------|
| Szünetmentes ellátás               | ms                  | alacsony     | magas        |
| Zökkenőmentes átmenet              | ms / mp             | alacsony     | magas        |
| Feszültség/frekvencia stabilizálás | mp                  | alacsony     | magas        |
| Meddő szabályozás                  | mp                  | nincs        | magas        |
| Forgó tartalék                     | mp / perc           | közepes      | magas        |
| Simítás                            | perc                | közepes      | közepes      |
| Csúcslevágás                       | perc / óra          | közepes      | alacsony     |
| Eltolás                            | óra                 | magas        | alacsony     |

Az esetünkben vizsgált napelemes kiserőmű menetrendtartó szabályozása, mint alkalmazási terület, nem szerepel a fenti felsorolásban. Ennek oka, hogy a fenti alkalmazási területek általánosabban vannak megfogalmazva. A mi esetünk megtalálásához vegyük segítségül a táblázat 2 oszlopában feltüntetett „Működési reakcióidő” értékeit. Mint az előzőekben bemutatásra került a kiserőművek menetrendezése 15 perces intervallumokra tagolódik. Ezen a 15 percen belül a kiserőmű a csatlakozási teljesítmény határáig, bármilyen változékonysággal és teljesítménnyel megjelenhet a hálózaton (a vonatkozó feszültségminőségre vonatkozó szabványokat természetesen betartva) az egyedüli fontos szempont a 15 perc végére elért energiatermelés mennyisége. Természetesen elosztóhálózat-üzemeltetői szempontból egyáltalán nem mindegy a teljesítményfluktuáció sűrűsége és mértéke, mint hogy láttuk is az előző fejezetben, hogy a KÖF-re telepített akkumulátoros energiatárolók pont ezt a problémát hivatottak csökkenteni, ugyanakkor termelői szempontból erre nekem nem érdekem tekintettel lenni. Ez persze így nem hangzik jól, de csak azt jelenti, hogy a teljesítményváltozás sebessége

nem tervezési szempont, viszont ettől még nem lesz feltétlenül hátrányosabb a hálózat számára egy menetrendezésre kiélezett energiatároló mint nélküle, sőt, biztosan csak kedvezőbb lesz.

Összevetve ezt 15 perces intervallumot és a táblázatot, eredményül a „simító” és „csúcs levágó” alkalmazási területekhez jutunk. Ezek teljesítmény és energiaigényét nézve energiaigényre közepes értéket, teljesítmény értékre közepes / alacsony értéket látunk. Ez ebben a megközelítésben kedvező, mert az akkumulátoros energiatároló berendezések ára döntően az akkumulátorok mennyiségétől és a teljesítményelektronika teljesítményétől függ és ezek szerint egyik tekintetében sem kell a legnagyobb léptékekre számítani. Továbbá a szabályozásnak sem kell ms sebességű beavatkozásokat végeznie, így a szabályozó gyorsaságán is adott esetben tovább lehet spórolni.

## 4. MŰKÖDŐ NAPERŐMŰVEK ADATAINAK ELEMZÉSE

Az akkumulátoros energiatároló alkalmazásának lehetséges hatását, archív termelési és menetrendezési adatok felhasználásával vizsgálom, melyek a Phlegon Kft. napelemes kiserőműveinek működéséből származnak. Másik lehetséges mód a szimulációs eljárás lenne a vizsgálat elvégzésére, de mivel jelen esetben az adatok rendelkezésre állnak, ezért azokból dolgozni pontosabb, mint bármilyen szimulációval, hiszen végső soron a szimuláció is a valóság virtuális leképezésére használatos, ami jelenleg így felesleges. Természetesen a szimulációnak amennyiben pontossága bizonyítható, megvan az az előnye, hogy a paraméterek megváltoztatásával sokfajta eset vizsgálatára alkalmassá tehető.

### 4.1. Vizsgált időszak(ok)

A naperőművekkel és minden időjárásfüggő termelővel kapcsolatos vizsgálatot 1 éves intervallumra érdemes elvégezni, mivel a rendszerek folyamatos működésűek, ezért az időjárás éves váltakozásának és ismétlődésének figyelembe vétele elengedhetetlen. 1 évnél rövidebb idejű vizsgálatból hosszú távú következtetések nem vonhatóak le, mivel a termelés jellege évszakos sajátosságokat mutat. 1 éven túlmutató vizsgálatnak van értelme, hisz több adatból nagyobb biztonsággal lehet következtetéseket levonni, ugyanakkor csak úgy, ha egész éveket vizsgálunk.

A jelenlegi vizsgálat 1 évre történő kiterjesztése elméletileg lehetséges, mivel a rendelkezésemre álló adatok több évre visszamenőleg rendelkezésre állnak, ugyanakkor a menetrendezési és kiegyenlítő energia számításának jogszabályi környezete az évek során többször is változtak, és mivel jelenleg nem önmagában a tény termelés vizsgálata feladat, hanem a menetrendek és az azoktól való eltérés is, ezért a jogszabályfüggő menetrendek torzítanak a vizsgálat eredményét. Ez érdekes körülmény, hiszen a jogszabályok elvileg arra ösztönzik az erőműveket, hogy a menetrendek pontossága minél nagyobb legyen, hiszen a pontos előrejelzés és tervezhetőség a menetrendek feladata. Mégis előállt a 2.5 fejezetben bemutatott és a 7. diagramon ábrázolt eset, ami miatt 2020. áprilistól, 2021. májusig a naperőművek nem a pontos menetrendadásban voltak érdekeltek, hanem abban hogy a tényleges termelésnél kevesebbet jelezzenek előre, szándékosan. Azért hogy ez a zavaró hatás

a vizsgálatomat ne befolyásolja negatívan, legalább is minél kevésbé tegye 2 eljárást fogok követni.

1. havi adatokat vizsgálok nem éveset
2. korrigálom a kérdéses időszak adatait, feltételezve, hogy az előrejelzés pontossága nem romlott ebben az időszakban sem, hanem az eltérést csak a jogszabályi változás okozta

Az 1. eljárás látszólag ellentmond az épp korábban tárgyalt megállapításnak, mi szerint 1 éves peridósokat érdemes csak vizsgálni, mivel azonban jelen vizsgálat tárgya az ideális teljesítmény és tárolási kapacitás meghatározása a 15 perces menetrendek kiegyenlítése érdekében vagyis az energia tárolása nem éves hanem órás intervallumokra történik, ezért már havi adatok vizsgálata alapján is várhatóan értékelhető eredményt fogunk kapni.

A 2. eljárás az 1. eljárás tükrében inkább egy ellenőrzésnek fogható fel. A korrigálást a korrigálandó időszakhoz viszonyított 1 éves időszakkal későbbi, ha ez nem áll rendelkezésre akkor korábbi időszak előrejelzési pontosságára fogom módosítani, figyelmen kívül hagyva az előrejelzési pontosság fejlődésének ezen időszakban bekövetkezett mértékét.

#### **4.2. Vizsgált naperőművek**

A vizsgálat szempontjából nem elhanyagolható, az együtt vizsgált naperőművek száma és földrajzi elhelyezkedése, mivel a kiegyenlítő energia költségét nem csatlakozási pontonként, hanem mérlegkörönként állapítják meg, a mérlegkörökön belül pedig az egyes partnerek portfóliójának tükrében kerül szétosztásra. A vizsgálatot 1 db 500 kW-os teljesítményű naperőművel kezdem, majd pár lépésben eljutok a teljes portfólióig, ami jelenlegi állás szerint 13 helyszínen, 59 csatlakozási pontra csatlakoztatott naperőművet fog jelenteni összesen 32,9 MW csatlakozási teljesítménnyel és 41 MWp beépített napelemes teljesítménnyel.

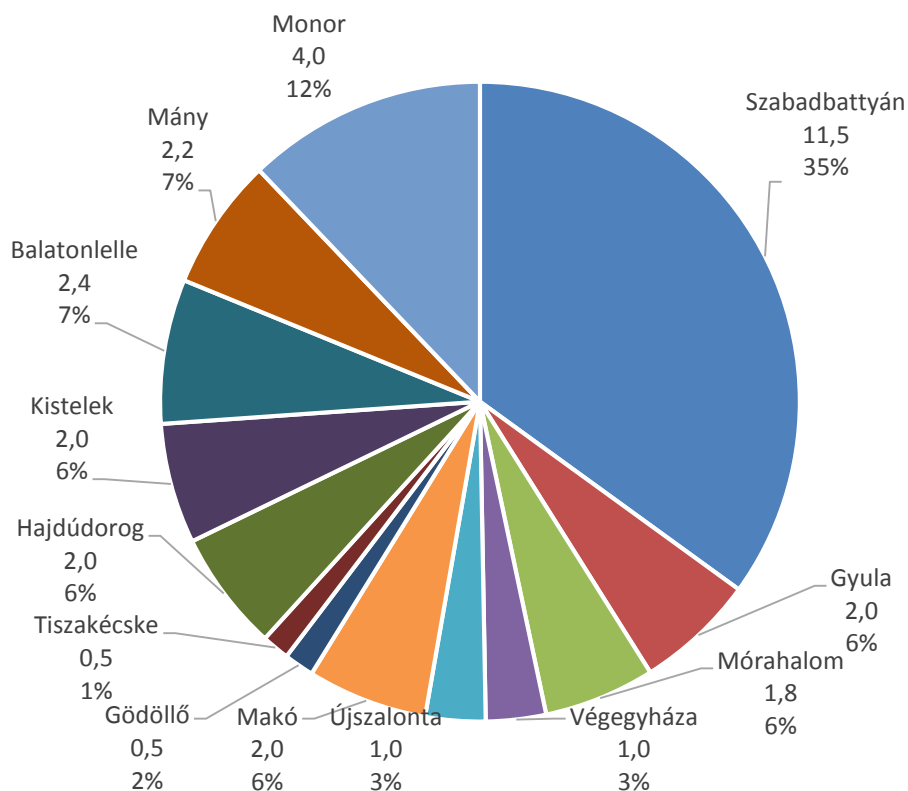
A csatlakozási és beépített napelemes teljesítmény különbsége nem véletlen. Értelemszerűen, mind az invertereknek, mind a napelemeknek van névleges teljesítményük, azonban tervezéskor nem feltétlenül cél egyforma méretű egységek összeépítése. Ennek oka, hogy az inverter névleges teljesítményét a teljesítményelektronika méretezése határozza meg, amit az inverter vezérlése nem léphet túl. Az áramszolgáltató felé történő csatlakozás során is ez az érték van figyelembe véve, hiszen a hálózat ezt a teljesítményt látja maximálisan a kiserőmű

irányából. A napelemek esetében a névleges teljesítmény mást jelent. A napelemek olyan félvezető elemek, melyek fény hatására töltésáramlást hoznak létre: kevesebb fény hatására kevesebbet, több fény hatására többet. Elméletileg a napelem szerkezeti épségének határáig, bármilyen erős napsugárzás érheti a napelemet, át fogja alakítani elektromossággá. E miatt a napelem teljesítménye bármekkora lehet, hiszen az nem a szerkezeti kialakítástól, hanem a fényerősségtől függ. Azért, hogy a napelemeket mégis össze lehessen hasonlítani, létrehoztak egy egyezményes mérési állapotot (Standard Test Conditions = STC), amely már meghatároz egy napelemes teljesítményt. Ez 25°C napelem hőmérsékletet és 1000 W/m<sup>2</sup> besugárzási intenzitáson történő teljesítménymérést jelent. [39] Ez a körülmény azonban laboratóriumi körülmény, a természetben ritkán rövid időre fordul csak elő, ezért méretezni sem feltétlen erre a körülményre érdemes, hanem a gyakorlatban gyakrabban előforduló körülményre, mely azonban alacsonyabb teljesítményt jelent. Mégis számértékké a nagyobb STC-re kiszámolt teljesítményt kell megadni minden napelemes rendszer beépített napelemes teljesítményének számításakor, mert ez az egyezményes, ugyanakkor ideális méretezés esetén ez így eltérést mutathat az inverterek névleges teljesítményétől.

A teljes portfólió elhelyezkedését mutatja az 5. ábra.



5. ábra a vizsgált naperőművek földrajzi elhelyezkedése Magyarországon [\[saját ábra\]](#)



12. diagram a vizsgált naperőművek csatlakozási teljesítményének megoszlása (MW és %-os arány) [saját]

#### 4.3. 1 db kiserőmű vizsgálata

A menetrendi eltérések vizsgálatát az egyik kisteleki 500 kW-os naperőművel kezdem. A kiserőmű főbb adatait a 7. táblázat mutatja.

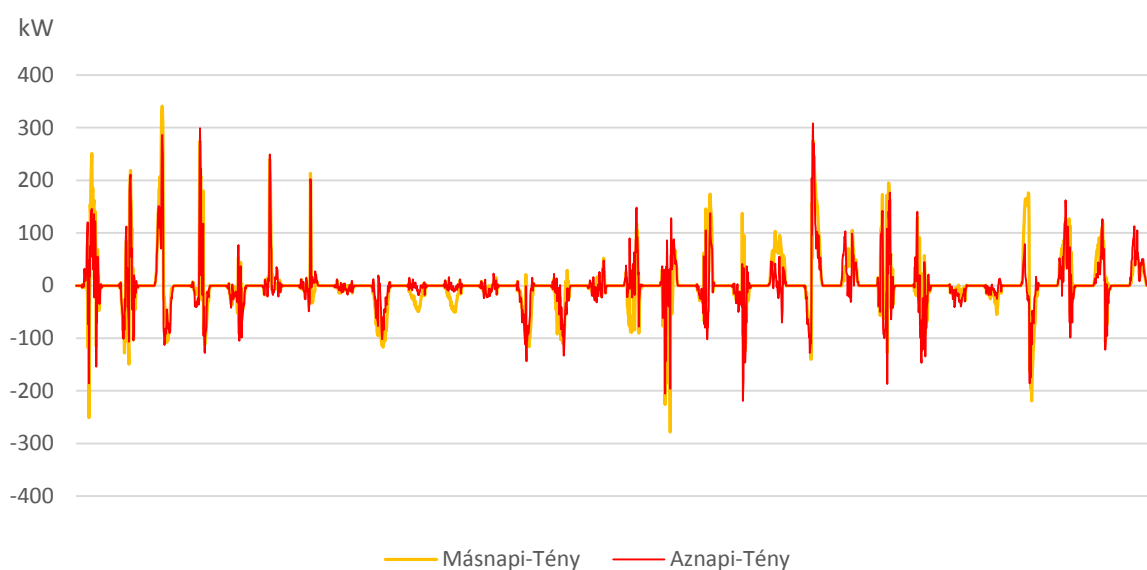
7. táblázat a vizsgált kiserőmű főbb műszaki adatai [saját]

|                                                |                   |
|------------------------------------------------|-------------------|
| Csatlakozási teljesítmény                      | 499,5 kW          |
| Inverter hatásfok                              | 97,8%             |
| Napelemek beépített teljesítménye              | 528 kW            |
| Napelem dőlésszög                              | 25°               |
| Napelem technológia                            | polikristályos    |
| Napelem tartószerkezet                         | földre telepített |
| Transzformátor veszteség (névleges terhelésen) | 5 kW              |
| Transzformátor veszteség (üresjárásban)        | 0,5 kW            |

Ez egy „hagyományos” földre telepített napelemes rendszer a leggazdaságosabb kialakításban.

A napi termelési-teljesítmény jelleggörbék alakulásával a továbbiakban nem foglalkozom, arról a 2.5.1 fejezetben már érintőlegesen volt szó és a 8. diagram bemutatta a jellemző jelleggörbe eseteket. Ami igazán érdekes és vizsgálni kell, az menetrendi és tény termelés eltérése. A

kisteleki erőmű 2021. szeptemberi adatait mutatja a 13. diagram 15 perces bontásban. A diagramon pozitív irányú eltérés a menetrendhez képesti hiányt (pozitív kiegyenlítő energia igényt), a negatív irányú eltérés a menetrendhez képesti többletet mutatja. Ha a tervezendő akkumulátor oldaláról nézzük, akkor a pozitív eltérés az eddigi kiegyenlítő energia helyett az akkumulátor által biztosítandó teljesítményt jelenti, a negatív pedig az akkumulátorba betöltendő teljesítményt, a menetrend tökéletes kiegyenlítése érdekében.



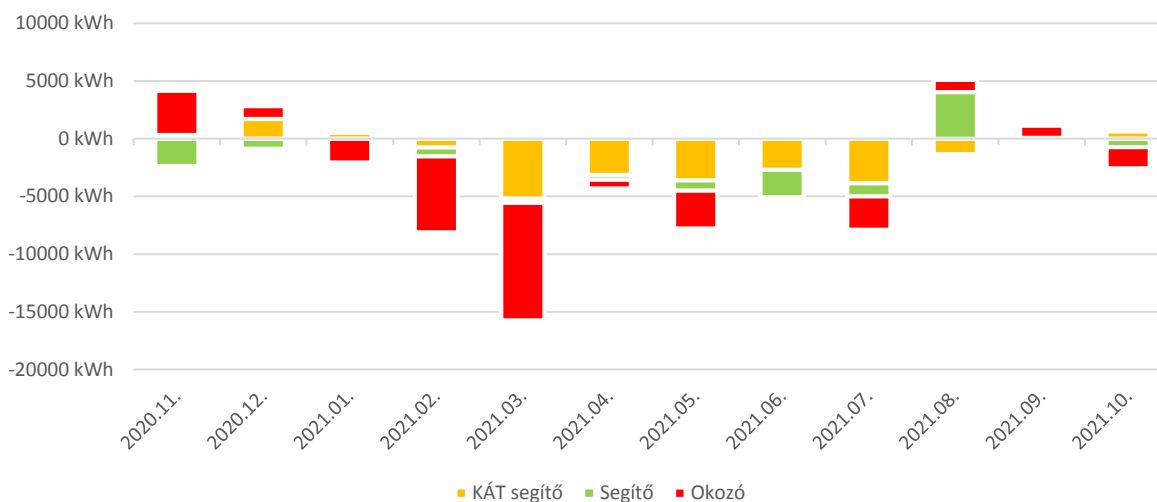
13. diagram a kisteleki erőmű menetrend-tény eltéréseinek alakulása 2021 szeptemberében [saját]

A diagram alapján több fontos megállapítást is lehet tenni az adott hónapra vonatkozólag:

1. a menetrend-tény eltérések mind többlet, mind hiány irányban hasonlóan jelentek meg, nincs domináns eltérési irány.
2. a piros színnel jelölt aznapi menetrend tény eltérése láthatóan kisebb, mint a másnapi menetrendé, de a pontosság javulása nem tűnik rendkívülinek, illetve néha előfordul, hogy az aznapi menetrend a pontatlanabb.
3. Az eltérés maximális teljesítménye megközelítőleg mindkét irányba 300 kW, a 15 perces legnagyobb energiakülönbség  $(300/4=)$  75 kWh.

A 13. diagramon látható menetrendi eltéréseket közelebbről megnézve a 14. diagram és 15. diagram következik. A 14. diagram a 13. diagramon látható sárga színnel jelölt, Másnapi-Tény

menetrendi eltérést mutatja 1 éves periódusra vetítve. A 13. diagramon látható adatok, a 14. diagramon a 2021.09 oszlopban jelennek meg.



14. diagram: DA menetrendi eltérés szerepmegoszlások szerinti szumma energiaforgalma [saját]

Az ábrából kiderül, hogy a 13. diagramon látható eltérés valójában 3 kategóriába osztható, a VER, a KÁT mérlegkör és a vizsgált kiserőmű menetrendi eltéréseinek együtt állása alapján. A kiserőmű eltérése ezek alapján lehet:

1. KÁT segítő
2. Segítő
3. Okozó

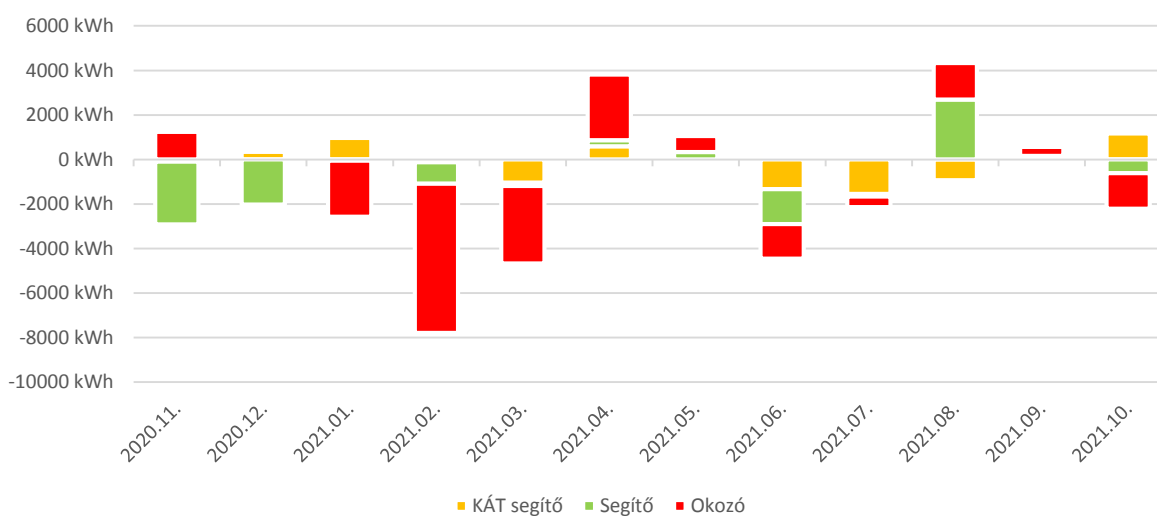
Okozó eltérésről akkor beszélünk, amikor a kiserőmű menetrendi eltéréseinek iránya megegyezik a KÁT mérlegkör szumma menetrendi eltéréseinek irányával, és a KÁT mérlegkör szumma menetrendi eltéréseinek iránya megegyezik a VER szumma menetrendi eltéréseinek irányával, tehát a kiserőmű a KÁT mérlegkör kiegyenlítő energia igényének és ezen keresztül a VER kiegyenlítő energia igényének növekedéséhez járul hozzá, „okozza” azt. Ez a rendszerállapot a kiserőmű számára szabályozási pótdíj fizetési kötelezettséget jelent.

Segítő eltérésről akkor beszélünk, amikor a kiserőmű menetrendi eltéréseinek iránya megegyezik a KÁT mérlegkör szumma eltéréseinek irányával, de a KÁT mérlegkör szumma menetrendi eltéréseinek iránya ellentétes a VER szumma menetrendi eltéréseinek irányával, tehát a kiserőmű és a KÁT mérlegkör a VER kiegyenlítő energia igényének csökkenéséhez

járul hozzá, „segíti” azt. Ez a rendszerállapot a kiserőmű számára szabályozási pótdíj jóváírást jelent.

A KÁT Segítő eltérésről akkor beszélünk, amikor a kiserőmű menetrendi eltéréseinek iránya ellentétes a KÁT mérlegkör szumma eltéréseinek irányával, és a KÁT mérlegkör szumma menetrendi eltéréseinek iránya megegyezik a VER szumma menetrendi eltéréseinek irányával, tehát a kiserőmű csökkenti a KÁT mérlegkör okozó szerepét a VER kiegyenlítő energia igényében, „segíti a KÁT”-ot. Ez a rendszerállapot, bár segíti a VER-t és csökkenti a kiegyenlítő energia igényt (ami jóváírást jelentene), de mivel a KÁT mérlegkör, ami alá a kiserőmű tartozik összességében mégis növeli a VER kiegyenlítő energia igényét (ami pótdíj fizetést jelent a KÁT-nak), ezért összességében ez az eltérés a kiserőműnek nem okoz se pótdíj fizetési kötelezettséget, se jóváírást. Az elszámolás során a szabályozási pótdíj költsége erre az időszakra 0 Ft.

A 15. diagram az aznapi menetrend és tény termelés közti eltérés tekintetében mutatja az eltérések jellegét.



15. diagram ID menetrendi eltérés szerepmegoszlások szerinti szumma energiaforgalma [saját]

Ezek a diagrammok azért fontosak, mert látszik rajtuk, hogy adott hónap eleje és vége között, a kiserőműnek mekkora kiegyenlítő energia mennyiségre volt szüksége. Az energiatárolás vonatkozásában ez azt mutatja meg, hogy az adott hónap során a tárolóban mekkora többlet/hiány energiamennyiség keletkezik, ha a tároló minden esetben az adott (másnap) vagy

aznapi) menetrend kiegyenlítésére törekszik. Az energiatárolót nem lehet csak az okozó eltérések kiegyenlítésére használni, ami pedig praktikus lenne, mivel a kiserőműnek és tárolónak nincs tudomása arról, hogy pillanatnyilag éppen milyen szerepbe esik az eltérése. A tároló tehát csak az összes eltérés kiegyenlítésére alkalmazható. Könnyen belátható hogy ez a körülmény nem kedvez a tároló megtérülési mutatóinak, hiszen nem csak a kiadást okozó szabályozási pótdíjat csökkenti, hanem a kiadást csökkentő pótdíjjóváírást is, illetve a KÁT segítő szerepre eső eltérései pedig feleslegesen terhelik a tárolót.

A kiserőmű által 1 év alatt termelt energiamennyiség 697 MWh, a megtermelés során történt menetrendi eltérések összege másnapi menetrend esetében 44 MWh, aznapi menetrend esetében 16 MWh. Látszik, hogy a megtermelt energia egészen jelentős mértékéről van szó, bár igaz az is, hogy az aznapi menetrendek már sokkal pontosabbak a másnapiaknál. Érdekes továbbá az is, hogy a 44 MWh-nyi eltérés az év során összesen 118 MWh-nyi túltermelésből és 74 MWh-nyi hiányból tevődik össze, a 16 MWh-nyi eltérés, 97 MWh-nyi túltermelésből és 81 MWh-nyi hiányból.

A költségeket nézve 1 év alatt a kiserőmű hozzávetőleges villamosenergia értékesítésből származó bevétele 23,8 MFt, miközben a szabályozási pótdíjra fordítandó összeg 2,3 MFt a kiserőmű bevételeinek majdnem 10%-a. Ha eltekintünk a jelenlegi kedvező pótdíjszámítási környezettől és a 2.5 fejezetben bemutatott pótdíjcsökkentéstől, ami 2026-tól amúgy is megszűnik, akkor a pótdíjfizetési kötelezettség 4,3 MFt lenne, a villamosenergia értékesítéséből származó bevétel 18%-a. Ez rendkívül jelentős kiadás egy kiserőmű számára, azonban mint a 4.2 fejezetben bemutattam, vizsgálatom 1 kiserőművön tovább is terjed, hiszen több kiserőmű eltérései kiegyenlíthetik egymást, ami így a tárolóberendezés megtérülésére is jótékony hatással lehet.

#### 4.4. Kiserőműportfóliók vizsgálata

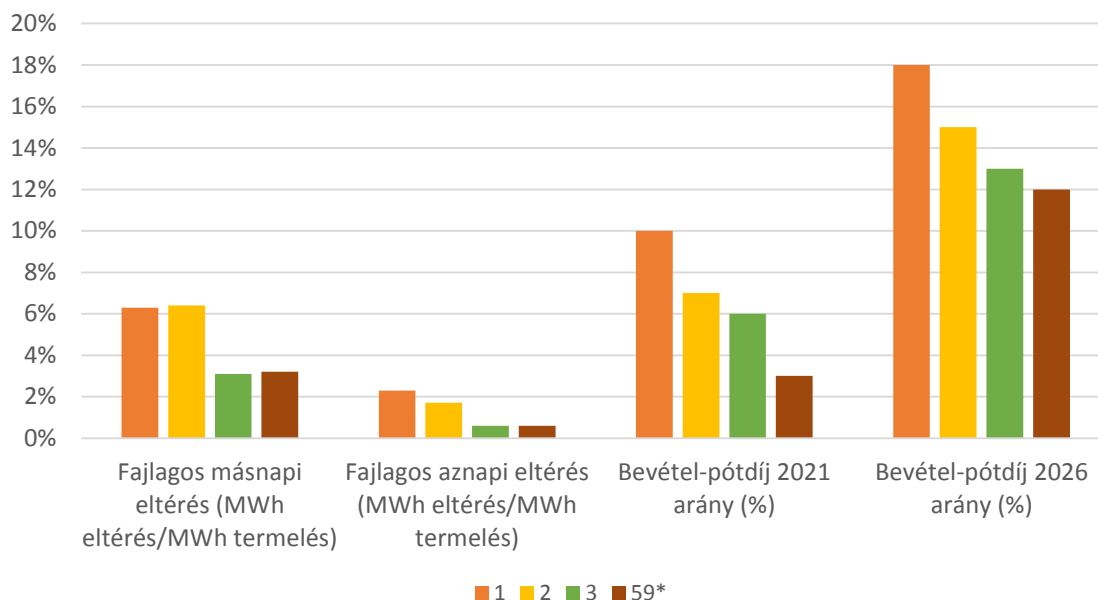
A portfólió hatás időjárásfüggő termelőknél annál nagyobb, minél nagyobb földrajzi távolságra vannak egymástól az egyes kiserőművek. A **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** pontban bemutatott KÁT rendelet lehetővé teszi, hogy földrajzilag távol eső kiserőművek közös menetrendjük alapján kerüljenek elszámolásra. A következőkben a kiserőművek portfólió

hatását vizsgálom, az előzőekben bemutatott kistéleki kiserőművel lépésenként egyre több kiserőművet együtt vizsgálva. A 2 és 3 darabos portfóliók esetében törekedtem arra, hogy kiserőművek műszaki adatai a 7. táblázatban bemutatott kistéleki kiserőmű adataival közel megegyeznek, ezek bemutatásától a továbbiakban eltekintek. A 8. táblázat mutatja a különböző portfólióösszetételek esetén alakuló menetrend eltéréseket és pótdíjakat, ezek összes termeléshez és összes bevételhez viszonyított arányát.

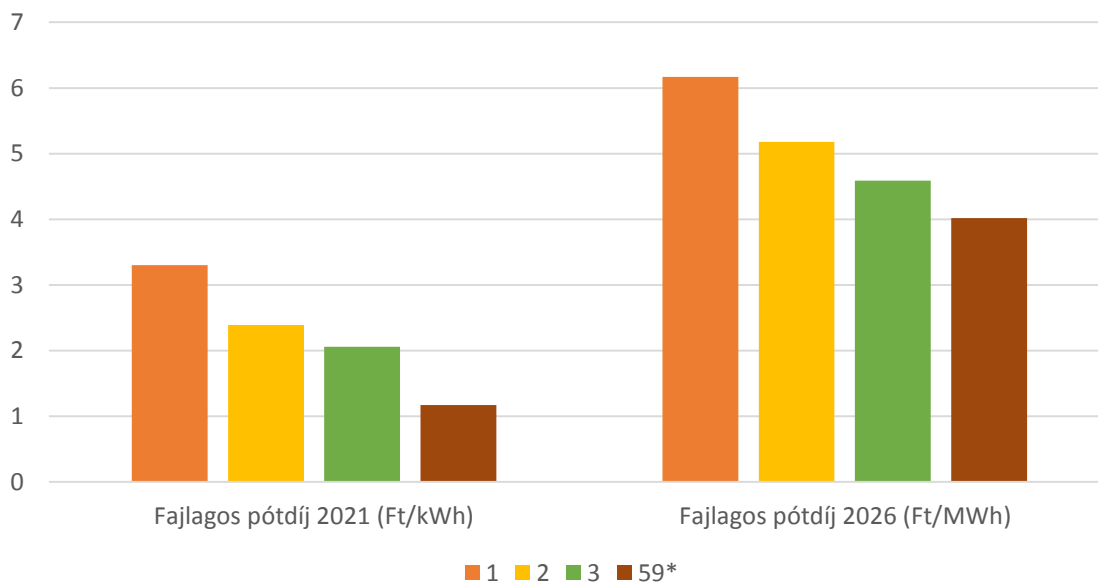
8. táblázat portfólióhatás a menetrendezésben [saját]

| Kiserőművek száma (db)                                                                                                                                                         | 1        | 2                       | 3                                   | 59*                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Helyszín                                                                                                                                                                       | Kistélek | Kistélek,<br>Hajdúdorog | Kistélek,<br>Hajdúdorog,<br>Gödöllő | 13 helyszín az 5. ábra<br>térképe szerint, a 12.<br>diagram tortadiagram<br>szerinti teljesítmény<br>arányokkal |
| Éves energiatermelés (MWh)                                                                                                                                                     | 697      | 1 467                   | 2 134                               | 43 045                                                                                                          |
| Másnapi eltérések (MWh)                                                                                                                                                        | 44       | 94                      | 66                                  | 1 394                                                                                                           |
| Fajlagos másnapi eltérés<br>(MWh eltérés/MWh termelés)                                                                                                                         | 6,3%     | 6,4%                    | 3,1%                                | 3,2%                                                                                                            |
| Aznapi eltérések (MWh)                                                                                                                                                         | 16       | 25                      | 12                                  | 244                                                                                                             |
| Fajlagos aznapi eltérés (MWh<br>eltérés/MWh termelés)                                                                                                                          | 2,3%     | 1,7%                    | 0,6%                                | 0,6%                                                                                                            |
| Bevétel (MFt)                                                                                                                                                                  | 23,8     | 50                      | 72,8                                | 1 467                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                |          |                         |                                     |                                                                                                                 |
| Pótdíj 2021 (MFt)                                                                                                                                                              | 2,3      | 3,5                     | 4,4                                 | 50,4                                                                                                            |
| Bevétel-pótdíj 2021 arány (%)                                                                                                                                                  | 10%      | 7%                      | 6%                                  | 3%                                                                                                              |
| Fajlagos pótdíj 2021 (Ft/kWh)                                                                                                                                                  | 3,30     | 2,39                    | 2,06                                | 1,17                                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                |          |                         |                                     |                                                                                                                 |
| Pótdíj 2026 (MFt)                                                                                                                                                              | 4,3      | 7,6                     | 9,8                                 | 173,1                                                                                                           |
| Bevétel-pótdíj 2026 arány (%)                                                                                                                                                  | 18%      | 15%                     | 13%                                 | 12%                                                                                                             |
| Fajlagos pótdíj 2026 (Ft/MWh)                                                                                                                                                  | 6,17     | 5,18                    | 4,59                                | 4,02                                                                                                            |
| * a teljes portfólió által tartalmazott kiserőművek száma a számítás készítése pillanatában, melyek száma a vizsgált időszak alatt nem állandó, hanem növekedett 36-ról 59-re. |          |                         |                                     |                                                                                                                 |

A 8. táblázat adatait szemlélteti a 16. diagram és a 17. diagram. A diagramokon jól látható a portfólióhatás kiegyenlítő energiára és fajlagos pótdíj költségre vonatkozó hatása.



16. diagram portfólió hatásának vizsgálata [saját]



17. diagram portfólió hatása a fajlagos pótdíj alakulására [saját]

## 5. ENERGIATÁROLÁSSAL KIEGÉSZÍTETT NAPERŐMŰ ELEMZÉSE

Az 2.5.3 és 4.4 fejezetekben bemutatásra került, hogy a pótdíj csökkentés egyik módja, ha a kiserőműveket portfólió szinten kezeljük és menetrendezzük, mely portfólió annál hatékonyabb a pótdíjcsökkentés szempontjából, minél nagyobb távolságra helyezkednek el a tagjai.

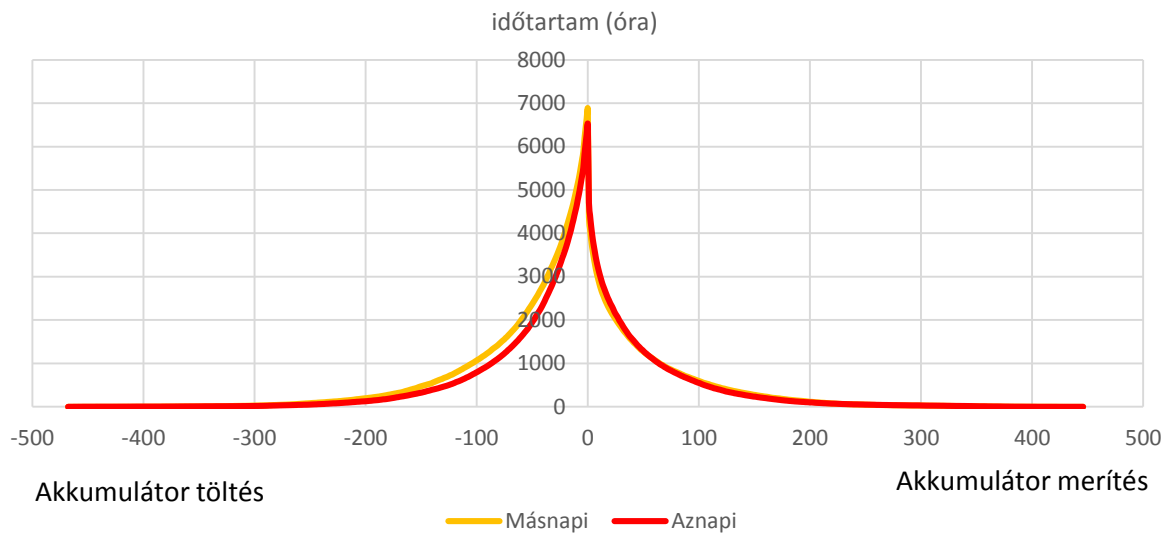
Jelen dolgozat célja a most következő vizsgálat elvégzése, mellyel azt vizsgálom, hogy egy energiatárolóberendezés telepítése mennyiben képes csökkenteni a kiegyenlítő energia igényt, és ezzel együtt a szabályozási pótdíjat.

### 5.1. Energiatároló menetrendkövetési módjai, a kettős költség visszaosztás

A 2.5 fejezetben a menetrendezéssel kapcsolatban kiderült, hogy a KÁT mérlegkörbe tartozó kiserőműveknek nem csak az aznapi, tehát legvégső menetrendjétől való eltérés után kell kiegyenlítést fizetniük, hanem az azt megelőző, másnapi menetrendjétől való eltérés után is. Ennek oka, hogy a KÁT mérlegkörbe tartozó energia értékesítése a HUPX tőzsdén a másnapi menetrend alapján történik. A napon belüli menetrend nem értékesítési, hanem a VER egyensúlyának szempontjából fontos így ez sem mellőzhető, így adódik ki a két időszakra vonatkozó pótdíjak átlagából a végső pótdíj. Az energiatárolás működésének szempontjából a dupla menetrend nem túl kedvező, hiszen ki kell választani melyiket egyenlítjük ki. A kiválasztott menetrend kiegyenlítése még ha meg is történik, a másik mentrendé nem tud egy időben megtörténni, csak ha a két menetrend egyezik. A két menetrend viszont csak úgy egyezhet, ha a napon belüli menetrendet nem frissítjük a rendelkezésre álló meteorológiával, hanem a napi menetrendet visszük tovább napon belülinek.

### 5.2. Teljesítmény méretezés

Az energiatároló berendezésnek 2 fontos méretezendő tulajdonsága a teljesítménye és energiatárolási kapacitása. Bár egy akkumulátoros energiatároló költségének nagyobbik felét az akkumulátorok, tehát az energiatárolási kapacitás jelenti, a teljesítményt is körültekintően kell megválasztani.

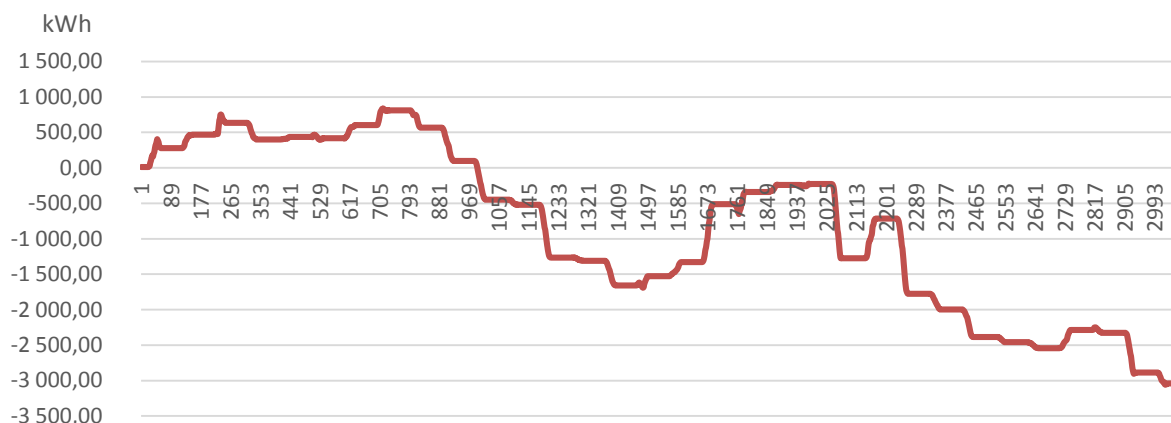


18. diagram tartamdiagram teljesítmény meghatározásához [saját]

A 18. diagram mutatja a kisteleki kiserőmű menetrend eltérés gyakoriságát tartamdiagramon szemlélítve. Látható, hogy 100 kW-nál nagyobb teljesítmény bármelyik irányban kevesebb mint 250 órát fordul elő 1 évben, 200 kW-nál nagyobb teljesítmény pedig 60 órán át. A megfelelő teljesítmény kiválasztása a (töltő/merítő) teljesítményelektronika költségének ismeretében határozható meg, összevetve, az elégtelen teljesítményből adódó veszteség mértékével. Egy 100 kW-os teljesítményű tároló már megfelelő lehet a menetrendi eltérések  $200 / 2200 = 90\%$ -ának kiegyenlítésére, egy 200 kW-os az eltérések  $60 / 2200 = 97\%$ -ának kiegyenlítésére. A teljesítményre való méretezéssel csak akkor kell foglalkozni, ha napelemes invertereken kívül külön inverter biztosítja a tároló egyenáramának átalakítását, mint amilyenekre példákat láttunk a 3.2 fejezetben. [40] Amennyiben a tárolás még az inverterek előtt, a napelemek után megtörténik, úgy a napelemes rendszer teljesítménye egyben a tároló teljesítménye is, így ez a méretezés okafoyottá válik. [33]

### 5.3. Energiatárolási kapacitás méretezés

A legfontosabb méretezési feladat a szükséges akkumulátor mennyiség meghatározása. [36] Kiindulásképpen tekintsük meg a 19. diagramot.



19. diagram görgetett kiegyenlítő energia, 1 hónap alatt (Kistelek) [saját]

A diagramon jól látszik, hogy a kérdéses hónap kiegyenlítő energia szaldója nem 0. Ez azt jelenti, hogy egy akkumulátoros energiatároló egységet 50%-os töltöttségről indítva hónap elején, a következő hónap elején már nem 50%-on talállok. Ez probléma, mert így az energiatároló egy idő után eléri valamelyik határát, ahol nem tudja már teljesen ellátni feladatát. Ha ezt el akarjuk kerülni, akkor az akkumulátoros tárolóegységet az 50%-os töltöttség közelében kell tartani, arra bizonyos időközönként vissza kell állítani, mindezt persze úgy, hogy a menetrend kiegyenlítés ezt ne érezze meg. Erre úgy van mód, ha a tároló hatást tud kifejezni a menetrendadásra és töltöttségének függvényben a napelemes rendszerre adott menetrendet módosítani tudja úgy, hogy abba beleveszi saját visszaállítási energiaigényét/többletét. A menetrend befolyásolással működő akkumulátoros energiatárolás további vizsgálatot igényel, melyre jelen dolgozat keretein belül nem térek ki.

Jelen számítást a nem tökéletes kiegyenlítés esetére végzem el, melyen belül 3 különböző esetet vizsgállok:

1. Akkumulátorral történő DA kiegyenlítés megszokott ID adással
2. Akkumulátorral történő DA kiegyenlítés DA-t másoló ID adással
3. Akkumulátorral történő ID kiegyenlítés

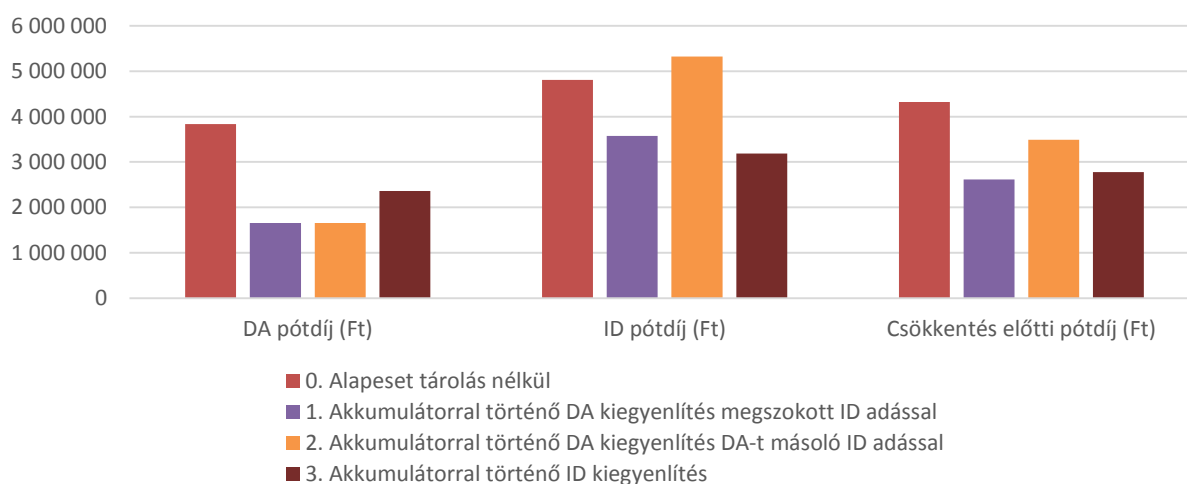
Az első esetben a kiserőmű menetrendezése nem változik. A tárolóval a DA, vagyis másnapi menetrend kiegyenlítését végzem, majd a napon belüli menetrend pontatlanságát kifizetem.

A második esetben a kiserőmű menetrendezése annyiban változik, hogy a napon belüli menetrendként a másnapi menetrendet adom le, melyre amúgy is történik a kiegyenlítés.

A harmadik esetben a menetrendezés szintén nem változik, ahogy az első esetben sem, de a tárolóval az ID vagyis napon belüli menetrend kiegyenlítését végzem.

### 5.3.1. Akkumulátoros kiegyenlítések eredménye

Az első számítást egy kisteleki 500 kW-os kiserőmű és 1 év időtartam alapján végeztem. A számítás eredményét a 20. diagram láthatjuk.



20. diagram akkumulátoros energiatárolás különböző szabályozási esetei 1500 kWh-ás tárolás feltételezésével [saját]

Meglepő módon a 2. eset nem hozta a várt eredményt, pedig első elgondolásra ennek kellett volna a legkedvezőbb esetnek lennie. A rossz eredmény oka, hogy a másnapi és napon belüli eltérések után más-más díj fizetendő, de jellemzően a napon belüli után több. A másnapi menetrend napon belüliként való használatával bár jól járok, amikor a kiegyenlítés tökéletes, de amikor nem akkor többszörösen rosszul.

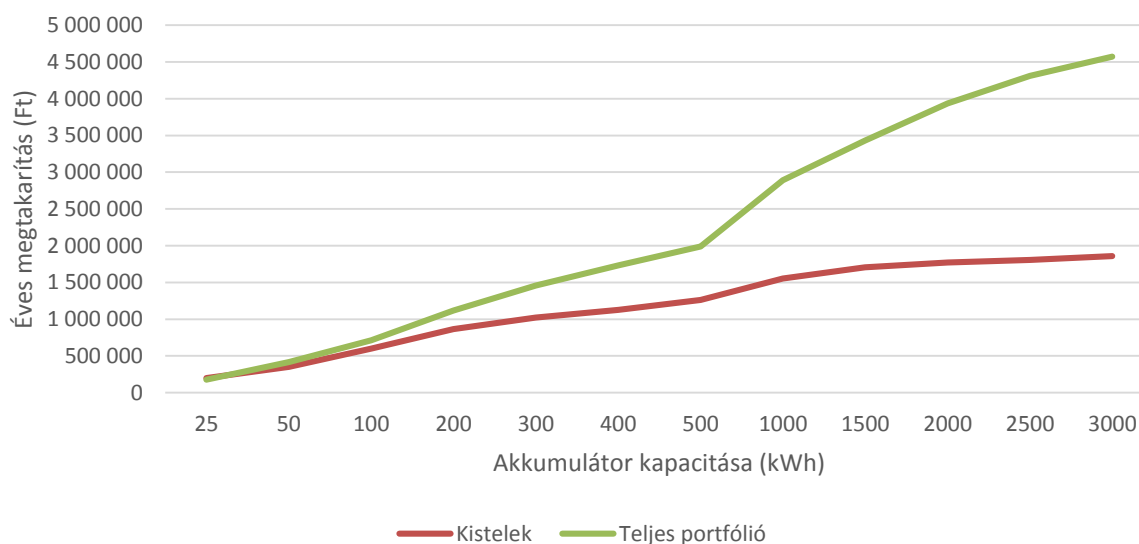
Az 1. és 3. eset közel hasonló eredménnyel jár, de az 1. eset javára. A megtakarítható összegeket a következő táblázat foglalja össze.

9. táblázat a 20. diagramon látható adatok különbségei táblázatos formában [saját]

| 1500 kWh akkumulátor                                             | DA pótdíj csökkenés (Ft) | ID pótdíj csökkenés (Ft) | Csökkentés előtti pótdíj csökkenés (Ft) |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|
| 1. Akkumulátorral történő DA kiegyenlítés megszokott ID adással  | 2 173 891                | 1 234 655                | <b>1 704 273</b>                        |
| 2. Akkumulátorral történő DA kiegyenlítés DA-t másoló ID adással | 2 173 891                | -512 953                 | <b>830 469</b>                          |
| 3. Akkumulátorral történő ID kiegyenlítés                        | 1 468 138                | 1 627 840                | <b>1 547 989</b>                        |

Figyelembe véve egy 1500 kWh-s akkumulátoros energiatároló, körülbelül 350 MFt-os költségét, az így elérhető éves megtakarítás elenyésző, mindhárom esetben. [21]

Különböző méretű akkumulátoros tárolás által elért megtakarításokat mutat a 21. diagram, 1 kiserőmű és a teljes portfólió esetében.



21. diagram 1. Akkumulátorral történő DA kiegyenlítés megszokott ID adással [saját]

A 21. diagramon látható, hogy a portfólióra értelmezett akkumulátor nagyobb megtakarítást ér el, de még ez is komolyan elmarad attól a szinttől, hogy megérje a beruházás. (Kistelek: 350 MFt / 1,7 MFt/év = 205 év, Portfólió: 350 MFt / 3,5 MFt/év = 100 év)

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozatban áttekintettem a napelemes kiserőművekkel és energiatárolással összefüggő villamosenergia-ipari jogszabályokat, különös tekintettel a vizsgálatom tárgyát képező KÁT rendszerre, ennek mérlegkörére, menetrend adási módjára és pótdíj számítására. Bemutattam, hogy a KÁT rendszerben új engedély kiadása bár már nem lehetséges, viszont a kiadott engedélyek és épülőfélben lévő erőművek nagy száma miatt még legalább 25 évig meghatározó szereplői lesznek a villamosenergia rendszernek. Közérdekű publikációk felhasználásával áttekintettem a KÁT-os naperőművek jellemző menetrendi eltéréseit és a menetrendi eltéréseket a közelmúltban mesterségesen befolyásoló jogszabályváltozásokat. Erre azért volt szükség, mert vizsgálatom során több éve működő naperőművek menetrendi és termelési adatait használtam fel, melyek bizonyos időszakra vonatkozó értékeit a mesterséges befolyásoló tényezők ellensúlyozása érdekében korrigálni kellett, hogy a számítás során 1 teljes év adatait felhasználhassam.

A vizsgálat során az 1 erőművi léptéktől egészen az 59 erőművet tartalmazó portfólióig vizsgáltam a külső konzulensem által elérhetővé tett naperőmű adatok felhasználásával, hogy az akkumulátoros energiatárolásnak milyen feltételek mellett lehet létjogosultsága ebben a környezetben menetrendkiegyenlítési céllal.

A számítás során megállapítottam, hogy a KÁT-os kiserőművekre vonatkozó kiegyenlítő energia pótdíjelszámolási rendszere nem kedvez az energiatárolás megtérülésének, mivel a menetrendi eltérések csak egy része pótdíjköteles, ugyanakkor hogy melyik része az, az csak az utólagos elszámoláskor derül ki, ezért az összes menetrendi eltérést kiegyenlíteni nem kifizetődő. Áttekintettem a Magyarországon eddig megépült közcélú akkumulátoros villamosenergiatárolók adatait és költségét, és kiszámoltam, hogy egy önálló kiserőmű esetén milyen ezekhez hasonló tárolási mód lehet javasolt, méretben és teljesítményben, majd kiszámítottam, hogy mindez hogy változik egy egész erőmű portfólió kiegyenlítési igénye esetén.

A számítások azt igazolták, hogy akkumulátoros energiatárolót telepíteni a jelenlegi szabályozási környezetben menetrendkiegyenlítési céllal nem életképes gazdaságilag.

## 7. SUMMARY

In the thesis I reviewed the electricity industry legislations related to solar power plants and energy storage, in particular to the "KÁT" (Hungarian abbreviation for Mandatory Electricity Takeover) system, to its balance cluster, its method for scheduling and calculation of surcharge which were the subject of my investigation. I presented, that although issuing new licence regarding to the KÁT system is no longer possible, but because of the great number of issued licences and projects under construction these types of power plants will be a dominant part of the Hungarian electricity system for the next 25 years. With the help of publicly available data, I reviewed the typical scheduling error of the KÁT solar power plants and the legislation changes that accounted for some of the errors artificially. I performed the legislation reviews, because I used scheduling and yield data stem from power plants operating for years, and in order to perform the calculation on a 1-year period I had to correct the data which came from certain time periods influenced artificially by the legislations.

In the examination I examined different sizes of power plant groups, from 1 power plant to a power plant portfolio consisting of 59 power plants (data accessible through my industrial consultant), that under what conditions a battery energy storage system is viable to optimize schedule deviations.

I identified, that the surcharge system of balancing energy for KÁT power plants isn't favourable for the investment return of a storage system, since only part of the schedule deviations results in surcharge, but it is unknown until the financial settlement (at the end of the month) which part of the deviation, so optimizing all deviations isn't worthwhile. I reviewed the parameters and costs of battery energy storage systems built in Hungary for public utility up to now and calculated the required size and power of a battery energy storage system which is suitable for optimizing a solar power plant, and figured out how the energy storage parameters change up on raising the size of the power plant portfolio.

The calculations proved that a battery energy storage for schedule deviation reduction purposes for a solar power plant is not economically viable in recent regulations, at any scale.

## KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani a Phlegon Kft-nek, akik naperőmű adatai a számítások alapját képezték és egyben lehetővé tették a munka megvalósulását. A menetrendezési rendszer pár szavas előzetes konstruktív bemutatásával továbbá sok órányi munkát spóroltak nekem.

Köszönet illeti továbbá az Ewiser Forecast Kft. munkatársait, akik szintén elengedhetetlenül sokat segítettek az adatok kinyerését illetően, hogy azt ne a felhasználói felületről kelljen erőművenként és hónaponként letöltenem, hanem egy csomagban a rendelkezésemre bocsátották azokat. További nagy segítséget jelentett rendelkezésre állásuk és nyitottságuk a KÁT és pótdíjelszámolási rendszerrel kapcsolatos kérdéseim tekintetében.

Köszönöm konzulensemnek Dr. Holcsik Péternek, hogy befogadta a témát és szakértelmén kívül a szakmai kapcsolatait is segítségül hívva segített a dolgozat egyes kérdéseinek tisztázásában, a válaszok felkutatásában.

Köszönet az MVM Zrt. és MAVIR Zrt. munkatársainak, akik személyes ismeretség nélkül is, pusztán szakmai nyitottságuk és segíteni akarásukból adódóan, szintén sok hasznos információval tudtak szolgálni egészen részletekbe menő kérdéseket illetően is.

Nem utolsó sorban, köszönöm munkahelyemnek a Honvédelmi Minisztérium Védelemgazdasági Hivatalnak, hogy támogatták az elmúlt 3,5 évben egyetemi tanulmányaim munka melletti végzését és közvetlen munkatársaim támogatását.

## IRODALOMJEGYZÉK

1. Major A. (2021). Váratlanul érte a hazai naperőműveket a drasztikus költségemelkedés, Portfolio  
<https://www.portfolio.hu/gazdasag/20210524/varatlanul-erte-a-hazai-naperomuveket-a-drasztikus-koltsegemelkedes-484412>
2. Kereskedés a villamosenergia-piacon: a „tréder” egy napja Energetikai Szakkollégium Budapest, 2017. április 11.  
[https://www.eszk.org/attachments/1343/ea/kereskedesvillpiac\\_eloadas\\_eszk.pdf](https://www.eszk.org/attachments/1343/ea/kereskedesvillpiac_eloadas_eszk.pdf)
3. Haffner, T. (2018). A megújuló energia termelés támogatásának intézményi változásai - a Megújuló Energia Támogatási Rendszer bevezetése = Institutional changes in support for renewable energy production - introduction of renewable energy support scheme. Közép-Európai Közlemények, Évf. 11 szám 2 (2018) 11(2), 17-29. ISSN 2676-878X  
<https://ojs.bibl.u-szeged.hu/index.php/vikekkek/article/view/12483>
4. KÁT - kötelező átvétel, tisztázandó kérdésekkel sajtóanyag  
[https://energiaklub.hu/dl/KAT\\_sajtoanyag\\_10\\_03\\_04.pdf](https://energiaklub.hu/dl/KAT_sajtoanyag_10_03_04.pdf)
5. KÁT és Prémium statisztikai adatok 2021-10 KÁT és Prémium rendszer havi monitoring jelentés, 2021. október.  
<https://www.mavir.hu/web/mavir/kat-adatpublikacio>
6. A hazai megújulóenergia-termelés finanszírozása MNB  
<https://mnb.hu/letoltes/20210121-hazai-megujulo-energiatermeles-finanszirozasa.pdf>
7. A megújuló támogatási rendszer modellje, MAVIR  
<https://www.mavir.hu/web/mavir/megujulo-tamogatasi-rendszer>
8. MAVIR, Riportok, Elszámolási Mérési Osztály, Kiegyenlítő energia egységárak, 2021.10.  
<https://www.mavir.hu/web/riportok/kiegyenlito-energia-egysegarak>
9. Változnak a KÁT-os megújuló termelők terhei! Portfólió  
<https://www.portfolio.hu/premium/20201120/valtoznak-a-kat-os-megujulo-termelok-terhei-458298>

10. KÁT Fórum Változások a szabályozási pótdíj elszámolásban, számlázásban, szerződésmenedzsmentben  
[https://www.mavir.hu/documents/10258/107825/20200220\\_KAT\\_forum\\_MAVIR.pdf](https://www.mavir.hu/documents/10258/107825/20200220_KAT_forum_MAVIR.pdf)
11. Mayer J. M. Influence of design data availability on the accuracy of physical photovoltaic power forecasts, Solar Energy, Volume 227, October 2021, Pages 532-540  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.09.044>
12. Chun SingLai, Youwei Jia, Loi Lei Lai, Zhao Xu, Malcolm D. McCulloch, Kit Po Wong, A comprehensive review on large-scale photovoltaic system with applications of electrical energy storage <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.078>
13. Infoware Zrt Akkumulátoros Energiatároló Rendszerek  
[https://www.mnnsz.hu/wp-content/uploads/2018/11/Kertesz\\_Sandor\\_2018-11-08.pdf](https://www.mnnsz.hu/wp-content/uploads/2018/11/Kertesz_Sandor_2018-11-08.pdf)
14. Kasper T. Møller, Torben R. Jensen, Etsuo Akiba, Hai-wen Li, Hydrogen - A sustainable energy carrier, Progress in Natural Science: Materials International, Volume 27, Issue 1, 2017, Pages 34-40, ISSN 1002-0071, <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2016.12.014>
15. Kendall M., Vilayanur V., Jan A., Charlie V., Vincent S., Richard B. 2020 Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment, U.S. Department of Energy <https://www.pnnl.gov/ESGC-cost-performance>
16. Cole, Wesley, A. Will Frazier, and Chad Augustine. 2021. Cost Projections for UtilityScale Battery Storage: 2021 Update. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A20-79236.  
<https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/79236.pdf>
17. Bereczki B. Lítiumion-akkumulátoros energiátároló rendszerek alkalmazása ipari környezetben, 2018,  
<http://tdk.bme.hu/VIK/DownloadPaper/Litiumionakkumulatoros-energiatarolo1>
18. Pályázati portál, Lakossági napelemes rendszerek támogatása és fűtési rendszerek elektrifikálása napelemes rendszerekkel kombinálva  
<https://napelem.palyazat.gov.hu/>
19. A. Pena-Bello, E. Barbour, M.C. Gonzalez, M.K. Patel, D. Parra, Optimized PV-coupled battery systems for combining applications: Impact of battery technology and geography, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 112, 2019, Pages 978-990, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.003>.

20. Energiatároló projekt bemutatása, Alteo, <https://alteo.hu/energiatarolo-projekt/>
21. Ötven hertz nyugalom Az ország első akkumulátoros energiátárolója, Elmű Energia Trend magazin 2018/3  
<https://elmuemasz.hu/elmu/file/downloadfile?id=6084dd2f-95e7-4c4b-a441-fdeb01f487bf>
22. Antalóczy T. (2018) Akkumulátoros energiátároló épült Magyarországon  
<https://villanyautosok.hu/2018/08/24/akkumulatoros-energiatarolo-epult-magyarorszagon/>
23. Antalóczy T. (2019) Entár – akkumulátoros energiátárolás Magyarországon  
<https://villanyautosok.hu/2019/07/01/entar-akkumulatoros-energiatarolas-magyarorszagon/>
24. A jövő energiátárolóit teszteli az MVM Csoport (2021.09.28), MVM Hálózat  
<https://www.mvmhalozat.hu/aktualitasok/20360>
25. Varga V. A. Akkumulátoros energiátároló és fogyasztóoldali befolyásolási rendszer együttes alkalmazása: IElectrix projekt – Zánka, E.ON Észak-dunántúli Áramhálózati Zrt. X. Mechwart András Ifjúsági Találkozó 2020. 09. 15.  
[https://www.mee.hu/files/files/18\\_varga\\_v.pdf](https://www.mee.hu/files/files/18_varga_v.pdf)
26. Innovatív energiátárolót telepített Zánkán az E.ON: egész Európa számára mintaként szolgálhat a zánkai tároló 2020.12.10.  
<https://www.eon.hu/hu/rolunk/sajtoszoba/sajtokozlemenyek/innovativ-energiatarolot-telepített-zankan-az-eon.html>
27. E.ON Dúzs Energiátároló  
<https://www.youtube.com/watch?v=pNO3QLIYJNs&t=69s>
28. Biró B. Az E.ON már Magyarországon is tárolja a napenergiát 2021.09.02.  
<https://villanyautosok.hu/2021/09/02/az-e-on-mar-magyarorszagon-is-tarolja-a-napenergiat/>

29. Dr. Pálfi G., Li-ionos akkumulátoros energiatárolás – lehetőségek és kihívások a jelenben és a jövőben MVM-Gter  
[http://ete-net.hu/wp-content/uploads/2020/12/P%C3%A1lfi-G%C3%A9za\\_Li-ionos-akkumul%C3%A1toros-energiat%C3%A1rol%C3%A1s-%E2%80%93-lehet%C5%91s%C3%A9gek-%C3%A9s-kih%C3%ADv%C3%A1sok-a-jelenben-%C3%A9s-a-j%C3%B6v%C5%91ben\\_20201122\\_pdf.pdf](http://ete-net.hu/wp-content/uploads/2020/12/P%C3%A1lfi-G%C3%A9za_Li-ionos-akkumul%C3%A1toros-energiat%C3%A1rol%C3%A1s-%E2%80%93-lehet%C5%91s%C3%A9gek-%C3%A9s-kih%C3%ADv%C3%A1sok-a-jelenben-%C3%A9s-a-j%C3%B6v%C5%91ben_20201122_pdf.pdf)
30. Kertész Sándor, Infoware Zrt, MEE-net Villamos Technológiák Fóruma Energiatárolók a villamosenergia-rendszerben, 2021. június 24. Online konferencián elhangzott.
31. Az NKM Áramhálózati Kft. kihirdette az 500 kW / 1600 kWh lítiumionos energiatároló berendezés szállítójaként az Infoware Zrt-t  
[https://www.infoware.hu/hirek\\_594](https://www.infoware.hu/hirek_594)
32. Erdei Gábor, ABB Power Grids Hungary Kft., MEE-net Villamos Technológiák Fóruma Energiatárolók a villamosenergia-rendszerben, 2021. június 24. Online konferencián elhangzott.
33. Asmae Chakir, Mohamed Tabaa, Fouad Moutaouakkil, Hicham Medromi, Maya Julien-Salame, Abbas Dandache, Karim Alami, Optimal energy management for a grid connected PV-battery system, Energy Reports, Volume 6, Supplement 3, 2020, Pages 218-231, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.10.040>.
34. Nagy Z. Az ipar villamosenergia-költségei 2020-ban, ISSN: 1216-8599  
<https://ief.hu/wp-content/uploads/ENERGETIKA-Az-ipar-villamosenergetika-koltsegei-2020-ban.pdf>
35. Kulcsár, B. (2019). Kötelező átvételi rendszerben benyújtott naperőmű létesítési igények, megvalósulásának hatása a magyarországi településállomány villamosenergia-ellátására. International Journal of Engineering and Management Sciences, 4(2), 54–60.  
<https://doi.org/10.21791/IJEMS.2019.2.6>.
36. Kazsoki A. S. Dr. Hartmann B. Prosumerek alkotta energiaközösség energiatárolásának és napelemes energiatermelés egyidejűség-növelésének lehetőségei ISBN 978-963-9299-41-2  
[https://www.mee.hu/files/files/konferencia\\_kotet.pdf#page=18](https://www.mee.hu/files/files/konferencia_kotet.pdf#page=18)

37. Bánfalvi A. Az energetikai irányváltás küszöbén Budapest, 2016, ISBN 978-963-284-819-8, <http://hdl.handle.net/10831/32957>
38. Sztankó, Éva. (2013). Az Európai Unió liberalizált energiapiaca: Dilemmák és kérdések. *Competitio*, 12(2), 5–19. <https://doi.org/10.21845/comp/2013/2/1>
39. Mayer M., Megújuló energiaforrások termelésének előrejelzése, *Pro Scientia Aranyermesek XIV. Konferenciája*, Budapest, 2019, ISBN 978-963-88289-4-1  
[http://real.mtak.hu/98972/1/2018\\_psak\\_nke\\_kotet\\_0.pdf#page=106](http://real.mtak.hu/98972/1/2018_psak_nke_kotet_0.pdf#page=106)
40. Lipták R. Napelemes villamosenergia-termelő rendszerek Multidiszciplináris tudományok, 10. kötet. (2020) 4sz. pp. 434-443,  
<https://doi.org/10.35925/j.multi.2020.4.49>
41. J. Antonanzas, N. Osorio, R. Escobar, R. Urraca, F.J. Martinez-de-Pison, F. Antonanzas-Torres, Review of photovoltaic power forecasting, *Solar Energy*, Volume 136, 2016, Pages 78-111, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.069>
42. Dean Holland Clift, Harry Suehrcke, Control optimization of PV powered electric storage and heat pump water heaters, *Solar Energy*, Volume 226, 2021, Pages 489-500, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.08.059>.
43. 389/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet a megújuló energiaforrásból vagy hulladékból nyert energiával termelt villamos energia, valamint a kapcsoltan termelt villamos energia kötelező átvételéről és átvételi áráról (2021.12.14-i állapot)  
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700389.kor>
44. 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról (2021.12.14-i állapot)  
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700086.tv>
45. A magyar villamosenergia-rendszer Kereskedelmi Szabályzata, MAVIR (2021.11.24.től hatályos változat)  
<https://www.mavir.hu/web/mavir/kereskedelmi-szabalyzat>
46. Magyar Elektrotechnikai Egyesület üzemlátogatása az ELMŰ-ÉMÁSZ Energiatároló Kft. energiatároló berendezésénél, 2018. december 04. 14 óra, Soroksár 120/20 kV-os alállomás (1239 Bp. Ócsai út 034/1 hrsz.)

## ÁBRAJEGYZÉK

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ábra a megújuló támogatási rendszer teljes modellje [7].....                                      | 8  |
| 2. ábra a megújuló támogatási rendszer modelljének dolgozat szempontjából releváns részlete [7]..... | 9  |
| 3. ábra Termelés és fogyasztás egyensúlya – rendszerállapot [10] .....                               | 12 |
| 4. ábra Ösztönző rendszer a KÁT mérlegkör-tagi napon belüli menetrend beadásra [10] .....            | 16 |
| 5. ábra a vizsgált naperőművek földrajzi elhelyezkedése Magyarország területén [saját ábra] .....    | 33 |

## TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. táblázat 2020.09 hónapban érvényben lévő határozatok és megvalósult projektek mennyisége [6].....                | 6  |
| 2. táblázat tény termeléshez közelebb lévő menetrend az egyes hónapokban [saját].....                               | 10 |
| 3. táblázat szabályozási pótdíjcsökkentés fajlagos értékének változása 2020-2026-ig [43] .....                      | 13 |
| 4. táblázat a különböző akkumulátoros elektromos energiatároló technológiák jellemzői [12, 19].....                 | 21 |
| 5. táblázat jelenlegi akkumulátor technológiák beruházási és üzemeltetési költségei [12][15].....                   | 21 |
| 6. táblázat akkumulátoros energiatárolók jellemző alkalmazási területeinek energia és teljesítmény igénye [32]..... | 29 |
| 7. táblázat a vizsgált kiserőmű főbb műszaki adatai [saját].....                                                    | 34 |
| 8. táblázat portfólióhatás a menetredezésben [saját] .....                                                          | 39 |
| 9. táblázat a 20. diagramon látható adatok különbségei táblázatos formában [saját].....                             | 45 |

## **MELLÉKLETEK**

A dolgozat alapjául szolgáló számítás xlsx kiterjesztésű fájlként, külön kerül feltöltésre.