



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Villamos Energetika Tanszék

Visnovszky Lilla

# **A 2015. 03. 20-ai napfogyatkozás hatása az európai villamosenergia-rendszerre és a fóti Élhető Jövő Park napelemes rendszerére**

TDK dolgozat

KONZULENS

**Dr. Hartmann Bálint**

BUDAPEST, 2015

## Összefoglaló

---

2015. 03. 20-án a világ számos országát érintő természeti jelenség, a napfogyatkozás hatásaival kellett szembenézniük nemcsak a lakosságnak, hanem a rendszerirányítóknak is. Részleges napfogyatkozás Izlandon, a kontinentális Európában, Afrikában és Ázsiában, míg teljes napfogyatkozás a Feröer-szigeteken (Atlanti-óceán északi részén) és Svalbardon (Jeges-tenger területén található szigetcsoport) volt. Dolgozatom a napfogyatkozás villamosenergia-rendszerre gyakorolt hatásairól, a jelenségre való felkészülésről, a rendszerszintű tennivalókról szól.

Ahhoz, hogy a napfogyatkozás ne okozzon a villamosenergia-rendszerben nagy problémát, fontos a megfelelő felkészültség a hálózatot üzemeltető szervek részéről. Több, nagyszámú napelem telepekkel rendelkező országban is felkészültek egy esetleges üzemzavar kialakulására. Különösen nagy jelentősége volt ennek Németországban, ahol a Nap 82%-át takarta el a Hold, és a napelem telepek beépített teljesítménye eléri a 39 GW-ot. Bár hazánkban a napfogyatkozás kisebb hatással volt a villamosenergia-szolgáltatásra, a MAVIR ZRt. sajtóközleményben is tájékoztatta a lakosságot a felkészültségükről, amit egy több mint egy éves előkészítő munka előzött meg.

A jelenség hazánkban bekövetkezett hatását egy konkrét példán keresztül is bemutatom. Munkám során az ELMŰ-től kapott adatok alapján a fóti Élhető Jövő Parkban található két naperőmű termelését vizsgáltam meg. Az elemzések során megfigyeltem a direkt és a szórt sugárzás alakulását, a két naperőmű teljesítményének változását és a környezeti hőmérsékletet. Részleges napfogyatkozáskor a Hold árnyékának egy része a Földre vetül, az ennek hatására tapasztalható teljesítményváltozás azonban nem ugyanolyan mértékű, mint egy felhős nap esetén. Az elemzések során egy hasonló időszakban fellépő, nagymértékű teljesítménycsökkenéssel bíró, márciusi felhős nappal hasonlítottam össze a napfogyatkozás során mért értékeket.

## Abstract

---

On March 20, not only the general public, but also the system operators had to face a natural phenomenon, which affected several parts of the world. It was a partial solar eclipse in Iceland, continental Europe, Asia and a total solar eclipse in Faroe Islands and Svalbard. My study is about the effects of the solar eclipse on the power system, and also about the preparations for the phenomenon and system-wide operations.

For the reliability of the power system, it is important to have an appropriate preparedness for the system operators. There were several countries, owning a great amount of solar plants, which prepared for malfunctions. Especially it had a big significance in Germany, where the eclipse cut off 82 percent of incoming radiation, while rated power of the solar plants reach 39 GW. Although the partial eclipse in Hungary had less impact on the power system, a one year preparation was carried out. MAVIR Co. informed the general public about their preparedness in a press release.

I presented the effect of the phenomenon in Hungary with a concrete example. I examined the two PV systems of the Livable Future Park in Fót. I analyzed the direct and diffuse radiation, the change of productions and the ambient temperature. When it is a partial solar eclipse, a part of the Moon's shadow falls on the Earth. This causes not the same change of production as when it is a cloudy day. In the analysis I compared the solar eclipse day with a cloudy day in March, whose large scale change of production occurred in the similar part of the day.

# Tartalomjegyzék

---

Összefoglaló .....	i
Abstract .....	ii
Tartalomjegyzék .....	iii
1 A napfogyatkozás hatása Európa villamosenergia-rendszerére .....	1
1.1 Előzetes tanulmányok, előrejelzések, felkészülés a napfogyatkozásra.....	1
1.1.1 ENTSO-E előzetes elemzései [1] .....	1
1.1.2 ENTSO-E által javasolt lépések [1].....	4
1.1.3 Németország [4] .....	5
1.1.4 Olaszország [5].....	6
1.1.5 Északi országok [6].....	6
1.2 A napfogyatkozás napja [6] .....	6
1.2.1 Nagy-Britannia .....	6
1.2.2 Német sajtóinformációk 2015. 03. 20-án [8] .....	7
1.2.3 A rendszerirányítók felkészülése és irányítása a napfogyatkozás előtt és közben .....	8
1.2.4 Fotovoltaikus termelés alakulása a napfogyatkozáskor.....	9
1.2.5 Frekvenciaminőség a napfogyatkozás alatt .....	10
1.3 Utólagos következtetések és felkészülés a következő napfogyatkozásra [6] .....	11
1.3.1 Időjárás .....	11
1.3.2 A PV rendszerek irányíthatósága.....	11
1.3.3 A PV termelés követése, megfigyelhetősége .....	11
1.3.4 Német intézkedések.....	11
1.3.5 A tartalékok felhasználása.....	12
1.3.6 Erős irányítás és felkészülés .....	12
1.3.7 Jövőben várható gradiensváltozások .....	12
1.3.8 Felkészülés a következő napfogyatkozásra .....	12
1.3.9 5 kulcsfontosságú terület .....	12

1.3.10	Hálózati szabályzatok .....	12
1.3.11	Regionális biztonsági intézkedések .....	13
1.3.12	A fogyasztók szerepe .....	13
1.3.13	Napelemes termelés hozzájárulása.....	13
1.3.14	Fokozott TSO/DSO együttműködés.....	14
1.4	A napfogyatkozás Németországban – előrettekintés 2015-ből 2030-ra [7].....	14
1.5	A napfogyatkozás hatása tőzsdei oldalról [9].....	16
2	A napfogyatkozás hatása a fóti Élhető Jövő Park napelemes rendszerére .....	19
2.1	A vizsgált rendszer bemutatása.....	19
2.2	Teljesítmények, besugárzás 2015. 03. 20-án .....	20
2.3	Termelési gradiens vizsgálata.....	25
2.4	Összehasonlítás egy felhős nappal – 2015. 03. 29. ....	28
2.4.1	Teljesítmények és gradiens .....	29
2.4.2	A napfogyatkozásra és a felhős napra vonatkozó teljesítménygradiensek összehasonlítása .	33
2.4.3	Szórt és direkt sugárzás összevetése a két nap vizsgált időszakában .....	34
2.4.4	Globális sugárzás vizsgálata.....	39
2.4.5	Hőmérsékleti adatok vizsgálata.....	43
3	Konklúzió .....	46
4	Irodalomjegyzék .....	48

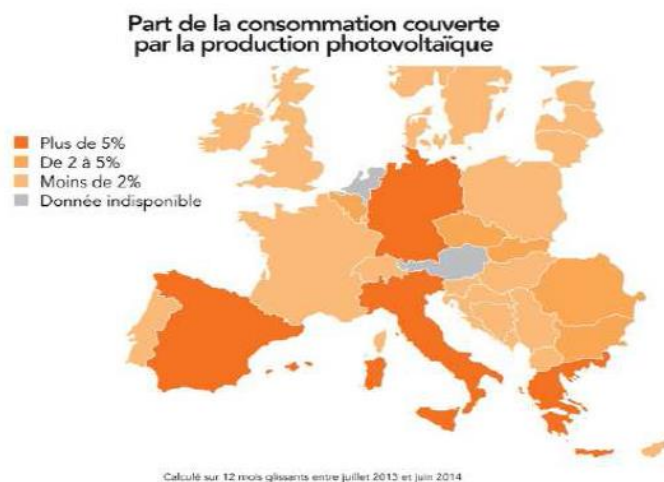
# 1 A napfogyatkozás hatása Európa villamosenergia-rendszerére

## 1.1 Előzetes tanulmányok, előrejelzések, felkészülés a napfogyatkozásra

### 1.1.1 ENTSO-E előzetes elemzései [1]

2015-ben a kontinentális Európában telepített fotovillamos (PV) kapacitás elérte a 90 GW-ot. Az előzetes feltételezések a 2015. 03. 20-ai napfogyatkozásra több mint 30 GW kiesést jeleztek előre „clear sky”, azaz felhőmentes nap esetén. Mivel a PV teljesítmény megközelítőleg négyszer olyan gyorsan csökken napfogyatkozáskor, mint naplementekor, ezért tartalék kapacitásoknak is rendelkezésre kellett állnia. Emiatt az ideai napfogyatkozás kihívást jelentett a szabályozható kapacitások szempontjából: azok elérhetősége, a szabályozási idő és a tartalékok földrajzi elhelyezkedése döntően befolyásolta az üzemvitel sikerességét. Ráadásul a jelenség miatt bekapcsolt erőműveknek gyorsabban kellett terhelésüket csökkenteniük, mint napfelkeltekor, hiszen a napfogyatkozás végén a PV teljesítmény gyorsan nőtt. Fontos kiemelni azt a tényt is, hogy míg az 1999-es teljes napfogyatkozáskor 0,5%-ot sem tett ki a napelemek által termelt villamos energia részesedése Európában, addig 2015-ben ez a szám már meghaladta a 10,5%-ot. [2]

Az 1. ábra a francia rendszerirányító részéről tett sajtóközleményben [3] megjelent adatokat tartalmazza. Arról ad számot, hogy az európai PV termelés hány százalékban fedezi az egyes országok fogyasztását.



**1. ábra:** A PV termelés hozzájárulása a fogyasztási igények kielégítéséhez [3]

5%-nál több, 2-5% közötti, kevesebb, mint 2%, hiányzó adatok

Az ENTSO-E tiszta égboltot feltételezve a következő formulával írta le a PV termelést a kontinentális Európa területére:

$$P_{tiszta\ \acute{e}gbolt}(t) = P_{telepített} * 0,75 * I(t)/I_{max}$$

ahol

- $P_{telepített}$  a telepített PV kapacitást,
- $I(t)$  az átlagos besugárzást,
- $I_{max}$  a maximális besugárzást

jelenti tiszta égbolt esetén.

Hasonlóan kifejezhető a napfogyatkozás alatt megtermelt PV teljesítmény is:

$$P_{napfogyatkozás}(t) = P_{tiszta\ \acute{e}gbolt}(t) * [1 - \text{elsötétedési faktor}(t)]$$

ahol az *elsötétedési faktor*( $t$ ) az ENTSO-E előzetes tanulmánya által definiált tényező.

A 2015 márciusában a kontinentális Európában telepített PV kapacitás nagyságának meghatározására lineáris extrapolációt alkalmaztak, melyhez 2012-es és 2013-as adatokat használtak fel. A becsült teljesítményértékek például Németországban 39,734 GW, Olaszországban 19,691 GW, Spanyolországban 6,739 GW (amiből 2,3 GW koncentrált szolár termál naperőmű által termelt), Franciaországban 5,419 GW, hazánkban pedig 55 MW.

Míg az Atlanti-óceán területén teljes, addig a kontinentális Európában csak részleges napfogyatkozás volt. Különös figyelmet kellett fordítani azokra az országokra, ahol csak részleges napfogyatkozás volt, de a Napot jelentős mértékben takarta el a Hold, és ahol a napelem telepek száma számottevő. A kutatások nagy része emiatt Németországra irányult, ahol 76 %-os eltakarás volt tapasztalható. Ugyanakkor azt is számításba kellett venni, hogy a besugárzás a földrajzi helyzettől is függ, azaz ahol az elsötétedés kisebb mértékű, de a napsugárzás jelentős, ott a napfogyatkozás hatása szintén szignifikáns. Ez jellemezte Olaszországot, ahol 59 %-os elsötétedés volt.

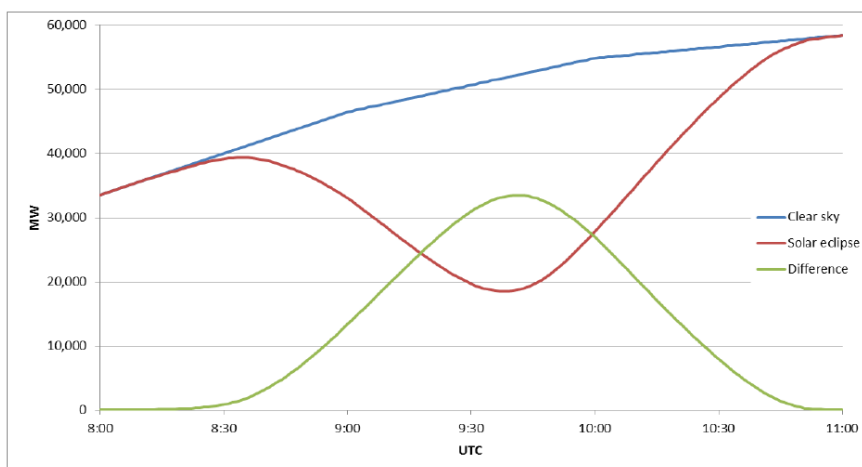
Magyarországon a telepített napelemes rendszerek száma még nem jelentős, illetve az 58%-os elsötétedés sem számottevő, ennek ellenére a MAVIR sajtóközleménye [2] szerint hazánkban több mint egy éves felkészülés előzte meg a márciusi napfogyatkozást.

A következő táblázat a kiemelt országok beépített teljesítményét, elsötétedési tényezőjét, illetve a becsült besugárzást veti össze. A becsült besugárzási adatok 2015. 03. 20-ára, napfogyatkozás nélküli esetre vonatkoznak.

**1. táblázat:** Három ország beépített teljesítménye, elsötétedési tényezője és becsült sugárzási értékek

Ország	Becsült telepített PV teljesítmény (2015. március 20.)	Eltakarás	Besugárzás 9:00 CET	Besugárzás 10:00 CET	Besugárzás 11:00 CET	Besugárzás 12:00 CET
Németország	39,734 GW	76%	43%	60%	71%	76%
Olaszország	19,691 GW	59%	53%	70%	81%	84%
Magyarország	55 MW	58%	56%	71%	79%	81%

A napfogyatkozás hatását a kontinentális Európa villamosenergia-rendszerére a 2. ábra szemlélteti:



**2. ábra:** Összehasonlító diagram: a 2015. 03. 20-ai várható PV teljesítmény clear sky esetben napfogyatkozással és napfogyatkozás nélkül [1]

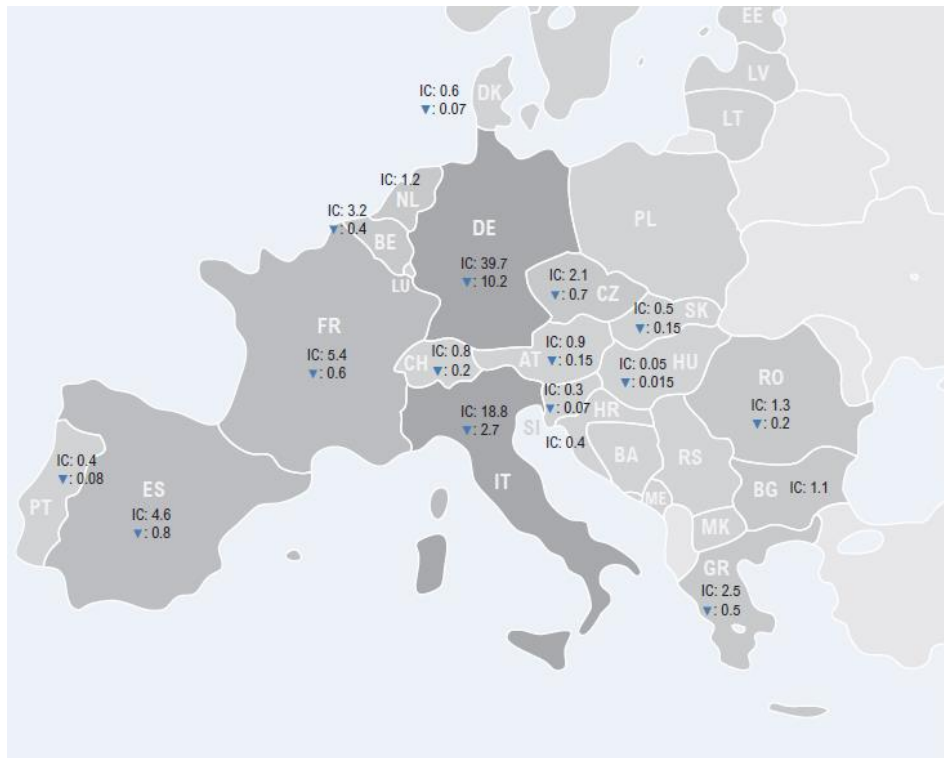
A napfogyatkozás idejére becsült teljesítménygörbét a „clear sky” görbével összehasonlító diagram a két eset különbségét is ábrázolja. Ez alapján a 34 GW-os különbséget a napfogyatkozás során 10:41-re (CET) éri el a PV betáplálás. Az előzetes ismeretek alapján körülbelül egy óra alatt 20 GW-ra csökken le a termelés, és a napfogyatkozás maximális hatása után közel 40 GW-os emelkedést vártak. A kiszámolt termelési gradiens értéke a csökkenő szakaszban meghaladta a -400 MW/percet, a növekvő szakaszban pedig a 700 MW/percet is. A -400 MW/perces gradiensérték a feltételezések szerint fél óráig áll fenn. Ezek az értékek 2-4-szer nagyobbak, mint egy átlagos márciusi napon.

A gradiensértékeket az egyes országokban külön is érdemes megvizsgálni. Németországban a 10:41-re (CET) várható csökkenés mértéke 16,916 GW. Ez az érték az Európán belül kieső teljesítmények országok szerinti felosztásában 51%-os súlyt jelent. Olaszországban a csökkenés mértékét 7,168 GW-



ra becsülték, mely kieső teljesítmények esetében 21%-os súlyt jelent. A magyarországi csökkenést mindössze 19 MW-ra számolták.

A 3. ábra a kontinentális Európában telepített PV kapacitást ábrázolja az egyes országokban, feltüntetve a várható teljesítménycsökkenést.



**3. ábra:** A kontinentális Európában telepített PV kapacitás és a napfogyatkozás várható hatása [GW csökkenés] [6]

A tanulmány szerint a várt villamosenergia-kereslet egy normál naphoz képest máshogy alakul, a napfogyatkozás miatt a szokásostól eltérő emberi viselkedés döntően befolyásolja a fogyasztást. Ez annak köszönhető, hogy az emberek többsége a természeti jelenséget fogja figyelni a napfogyatkozás időtartama alatt. Az 1999-es napfogyatkozáshoz képest kisebb mértékű keresletváltozást jeleztek előre. Nagy-Britanniában a várható kereslet alakulását tipikusan -200 MW/perc és 200 MW/perc gradiens értékekkel jellemezték.

### 1.1.2 ENTSO-E által javasolt lépések [1]

A kontinentális Európa nem minden országában okoz egy napfogyatkozás jelentős mértékű változást a PV teljesítményben, de mivel az ENTSO-E egy szinkronjáró rendszer, a frekvencia értékére közel ugyanolyan hatással van. Amelyik ország kevésbé érintett, ott az átviteli rendszer üzemeltetőinek fel kell készülniük arra az esetre, hogy tartalékforrásaikkal támogassák a többi ország villamosenergia-rendszerét. A legfőbb kihívást az ideji napfogyatkozáskor az jelentette, hogy megfelelően

szabályozzák a tartalékok kihasználását, annak érdekében, hogy valós időben fenntarthassák a teljesítményegyensúlyt anélkül, hogy a hálózatot túlterhelnék. Az ENTSO-E több javaslatot is tett a szükséges lépések kapcsán az átviteli rendszerek üzemeltetői számára, illetve kontinentális európai szinten is. A legfontosabbak a következők voltak: pontos előrejelzést kell készíteni a PV termelésről, mert a tanulmány csak tiszta égbolt esetén fellépő hatásokról szólt. Ezen kívül minden rendszerirányítónak informálnia kell a mérlegkör-felelőst (Balance Responsible Parties), és ellenőrizniük kell, hogy elkészültek-e a megfelelő mérésekkel annak érdekében, hogy követni tudják a március 20-ai PV teljesítmény alakulását. A teljesítményegyensúly érdekében folyamatosan figyelni kell a rendszerüzemeltetőknek a teljesítménygradiens értékeket, és meg kell vizsgálniuk a szabályozási lehetőségek kérdését (szivattyús-tározós erőművek használata, napelem termelés koordinált leállítása, újraindítása). Ezen kívül minden rendszerirányítónak gondoskodnia kell gyorsan mozgósítható tartalékkapacitásról, és meg kell becsülnie a szükséges tartalék mennyiségét. Emellett fel kell készíteni az irányító személyzetet erre a speciális eseményre. A fogyasztásra szintén hatással lehet a napfogyatkozás. Mivel ennek a hatásnak a globális vizsgálata rendkívül nehéz, minden rendszerirányítónak ajánlották a villamos energia iránti igény mértékének becslését. Ha szükség lesz rá, a rendszerirányítóknak fel kell állítaniuk egy rendkívüli irányítást a napfogyatkozás napjára, ami magába foglalja a folyamatos telefonkapcsolatot, annak érdekében, hogy koordinálják a PV előrejelzéseket, a frekvenciaszabályozást, a tartalék csereforgalmát és az áramlásokat. A problémamentes 1999-es napfogyatkozás után az ENTSO-E biztosnak vélte, hogy Európa meg tud birkózni az idej napfogyatkozással is.

### 1.1.3 Németország [4]

Maximális kihasználtság mellett a Németországban telepített naperőművek által termelt teljesítmény eléri a 39 GW-ot. Ez az érték több, mint a német villamosenergia-fogyasztás fele. A napfogyatkozás hálózatra gyakorolt hatását az országban elsősorban a dél-németországi időjárás befolyásolja, ugyanis ott található a legtöbb napelem. Németországban a napfogyatkozást 9:30 és 12:00 közötti időszakra prognosztizálták. Az időjárás-előrejelzések alapján 10:30-kor, amikor a Nap legnagyobb részét takarja ki a Hold, 6 GW-os betáplálást becsültek, a napfogyatkozás végére egy forrás 15 GW-ot, több prognózis pedig 22 GW-ot jelzett előre. Sokakban felmerülhetne az a kérdés, hogy Németországban egy napra kikapcsolva a PV termelést nem kéne számolni a napfogyatkozás villamosenergia-rendszerre gyakorolt hatásával. Azonban a hálózat üzemeltetőinek meg van kötve a kezük: nem tudnak minden napelem telepet egyszerűen kikapcsolni a rendszerből. Legkevésbé lehet azokat a kis teljesítményűeket, amik 30 kW alattiak – ezek a teljesítmény 1/3-át teszik ki-ehhez nincs hozzáférésük. Ezáltal bizonytalan az, hogy hány napelem telepet érnének el, és tudnának kikapcsolni. További problémát jelent az információ hiánya – a kisebb naperőművek esetében hiányoznak az

aktuális termelési adatok, illetve a nagyobb rendszerek teljesítményét is kevésbé tudják követni. A hálózati üzemeltetők csak átlagos termelési adatokat ismernek, negyedórás felbontással, azonban a gyors ingadozások követéséhez ez túl ritkának bizonyulhat.

A német villamosenergia-rendszer üzemeltetői felszólították lakosságot arra, hogy mindenki tartson magánál zseblámpát és elemes rádiót, az esetleges áramkimaradás miatt. Ezen kívül figyelmeztettek mindenkit, hogy ne használják a felvonókat a napfogyatkozás ideje alatt, mert rendszeringadozás esetén nem működnének.

#### 1.1.4 Olaszország [5]

Olaszország Németországgal ellentétben arra a döntésre jutott, hogy a 100 kW feletti napelem telepeket kikapcsolja a rendszerből. Bár a napfogyatkozás időtartama körülbelül két óra, a nagy beépített teljesítménnyel rendelkező PV rendszereket 24 órára kellett kikapcsolni. Az olasz Villamos energia- és Gázipari Hatóság (AEEG) első alkalommal hozott ilyen jellegű döntést.

#### 1.1.5 Északi országok [6]

Mivel az északi országok villamosenergia-rendszerét kevésbé érintette a napfogyatkozás, az ő feladatuk arra koncentrált, hogy támogassák a kontinentális európai országok hálózatát, és tartsák a kapcsolatot a szomszédos hálózatüzemeltetőkkel. A napfogyatkozásra való felkészülés alatt kiderült, hogy a kontinentális európai hálózatnak nem kell az északiakra támaszkodniuk annak érdekében, hogy egyensúlyt tartsanak a rendszerben. Ehelyett arra ösztönözték az RG Nordic-ot (Észak-Dánia, Finnország, Norvégia, Svédország hálózati üzemeltetői), hogy korlátozzák a CE (kontinentális Európa) és az NSS (Nordic Synchronous System) közti teljesítményáramlást olyan mértékben, hogy egy kontinentális Európa területén fellépő blackout esetén az északi villamosenergia-rendszer biztonságát ne kockáztassák. Ezáltal az északi rendszer segítséget tud nyújtani a CE-nek a rendszer stabilitásának visszaállításában. Az északi országok és a kontinentális Európa között a HVDC átvitelre támaszkodtak a legjobban a napfogyatkozás ideje alatt. Bár a HVDC szenvedte el a legtöbb korlátozást az északi rendszerirányítás során, a piacra nem volt hatással.

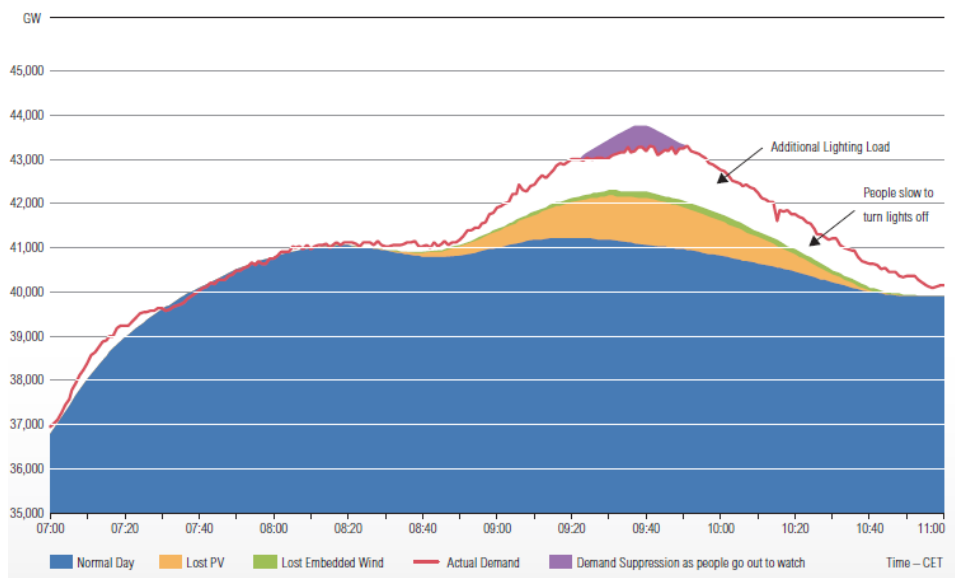
## 1.2 A napfogyatkozás napja [6]

Az idei napfogyatkozás 2015. 03. 20-án az ENTSO-E területen 08:01-kor Portugália nyugati partjainál kezdődött, és 11:58-kor ért véget, Románia keleti részén.

### 1.2.1 Nagy-Britannia

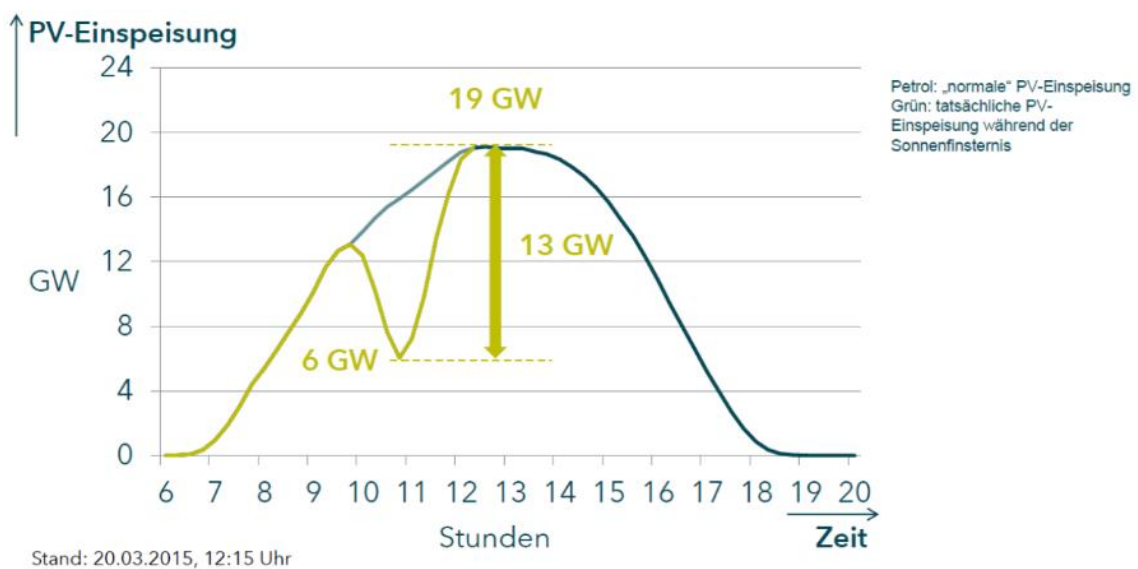
Az előrejelzések Nagy-Britanniában a villamosenergia-kereslet csökkenését mutatták amiatt, hogy az emberek a napfogyatkozás ideje alatt figyelik az eseményt. Végül 1300 MW keresletnövekedés volt tapasztalható, köszönhetően a megnövekedett világításhasználatnak a felhős időjárás miatt. Érdekes

tény, hogy a jelenség végén az emberek kis késéssel kapcsolták le a világítást. A napfogyatkozáskor rendkívül felhős idő volt, és számos helyen nem volt észlelhető szabad szemmel a természeti jelenség. A PV teljesítmény kiesése a keresletben 1 GW-os növekedést okozott, ami 200 MW-tal több volt, mint amit előre jeleztek. A kereslet növekedését rendkívül jól kezelték az irányítóközpontban, szivattyús tározós erőművet indítottak; a napfogyatkozás egy pontján a Dinorwigban (Észak-Wales) található erőmű mind a hat turbinája egyszerre üzemelt, ami rendkívül ritka eset. A szélerőművek termelése a jelenség alatt körülbelül 10%-kal esett (500 MW), amit az előrejelzések is mutattak. Ez a napfogyatkozás hatására bekövetkező szélsébség csökkenésével magyarázható.



4. ábra: A Nagy-Britanniában várható fogyasztás, PV kiesés és szélenergia kiesése [6]

### 1.2.2 Német sajtóinformációk 2015. 03. 20-án [8]



11. ábra: PV termelés Németországban, 2015.03.20-án [8]

Ahogy az ábrán is látható, a PV termelés a napfogyatkozás kezdetén 13 GW körül volt. A legkisebb teljesítményérték 6 GW volt, majd a napfogyatkozás végén, amikor a napsugárzás is erősebb volt, mint kezdetben, 19 GW-os teljesítményt mértek. A termelés tehát 75 perc alatt 13 GW-ot növekedett.

A napfogyatkozás alatt a szabályozási tartalékokra is szükség volt, mint például a szivattyús tározós erőművek. A jelenség időtartamának közepén közel 3 GW szabályozási tartalékra volt szükség a teljesítmény kiegyenlítésére. A frekvenciaingadozást a napfogyatkozás ideje alatt 49,97 Hz és 50,05 Hz között tudták tartani.

### 1.2.3 A rendszerirányítók felkészülése és irányítása a napfogyatkozás előtt és közben

Az átviteli hálózat üzemeltetői számos lépést tettek 2014 augusztusától a napfogyatkozás napjáig azért, hogy a napfogyatkozás időtartama alatt a jelenség a villamosenergia-hálózatra a lehető legkisebb hatást gyakorolja. Ezek közül a legfontosabbak a következők voltak:

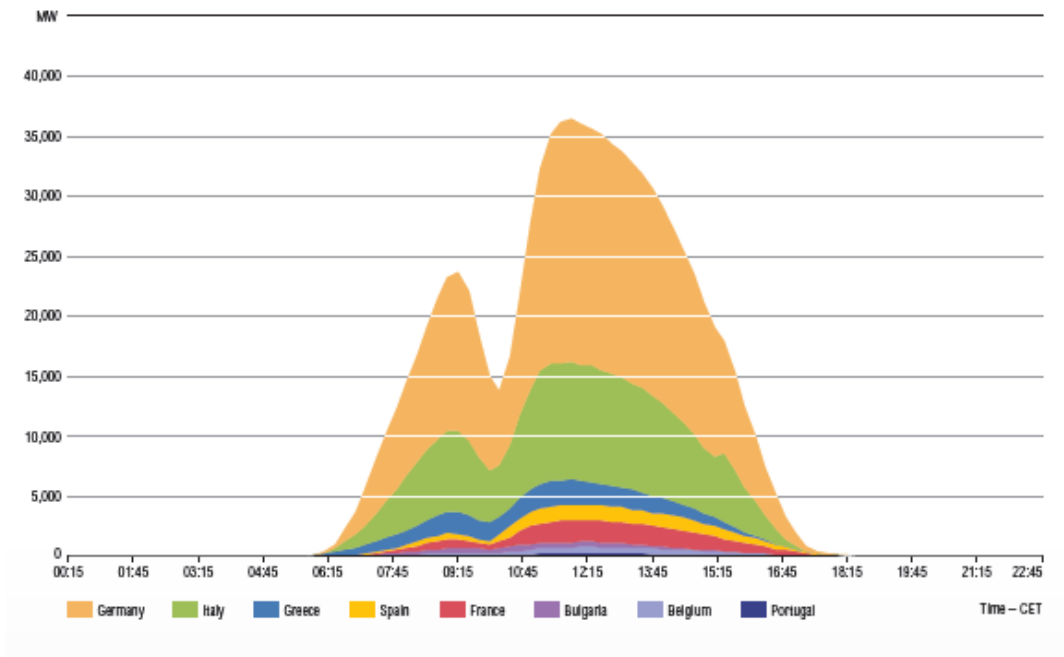
- Egyes rendszerirányítók átmenetileg növelték a primer, szekunder és terciér szabályozási tartalékaikat annak érdekében, hogy az úgynevezett ACE (Area Control Error) mutatójukat közel nullára redukálják.
- Minden hálózatüzemeltető arra törekedett, hogy valós időben a saját ACE mutatóját nulla közelében tartsa.
- A napfogyatkozás miatt kialakuló teljesítményváltozások ellen a szivattyús tározós erőművek stratégiai szintű kihasználása az egyik legfontosabb célkitűzés volt.
- A német szolgáltatók hozzávetőlegesen kétszer annyi tartalék energiát kötöttek le a normál beavatkozásokkal összevetve. Ezzel együtt létrehoztak egy különleges koncepciót a tartalékok és vésztartalékok rendszerbe történő aktiválására a napfogyatkozás időtartama alatt.
- Az olasz Terna csökkentette az átviteli hálózat kapacitását (NTC) az ország északi határán 1000 MW-ra. Ezen kívül megelőző intézkedéseket téve 4400 MW-ra csökkentette a PV termelést, ami egyenértékű egy 7:00-tól 14:00-ig tartó lekapcsolással.
- Minden üzemeltető megegyezett abban, hogy minél kevesebb tervezett erőművi karbantartást végezzenek a napfogyatkozás alatt.
- A HVDC kábelek kapacitását 18 és 50% közé csökkentették az északi országok, az Egyesült Királyság és a kontinentális Európa területén. Ez biztosította az együttműködő területeknek, hogy még függetlenebbek legyenek egymástól.
- Az üzemeltetők tudatosan felkészülve az eseményre informálták a piaci szereplőket a megbízhatóságukról a napfogyatkozás alatt.

- Telefonos konferenciát tartottak az öt hálózati üzemeltető között, akik a frekvenciavizsgálati csoport részesei. Ez a konferencia normál esetben akkor jön létre, amikor a frekvenciaeltérés meghaladja az előzetesen meghatározott értéket. A napfogyatkozás esetén azonban a konferencia a jelenség teljes ideje alatt fennállt, annak érdekében, hogy ne kelljen a beszélgetés elkezdésére várni.
- Biztonsági okokból egy másik telefonos konferenciát is elrendeltek, hogy egy párhuzamos platformot teremtsenek az irányításhoz, ha szükséges lenne.
- Külön erre az eseményre rendkívüli kiképzést kaptak a rendszerirányítók.
- A legtöbb üzemeltető az irányítószobába plusz operátorokat hívott be szolgálatra.
- Folyamatos kommunikáció zajlott a kontinentális európai és az északi rendszerirányítók között, hogy szükség esetén a kontinentális európai hálózat támogatást kapjon az északi hálózat részéről.

#### 1.2.4 Fotovoltaikus termelés alakulása a napfogyatkozáskor

Az előzetes analízis „clear sky” esetet feltételezett, ahol a PV teljesítmény értékei magasabbak voltak, mint a valós esetben. A becsült napelemes betáplálás értéke a napfogyatkozás kezdetén (9:30 CET) 22 GW körül volt. 10:00-kor (CET) a fotovoltaikus teljesítmény 14 GW-ra csökkent. A becsült PV termelés 12:00-kor (CET) 35 GW volt. A teljesítményváltozás nagysága ezért 10:30 és 12:00 között +21 GW.

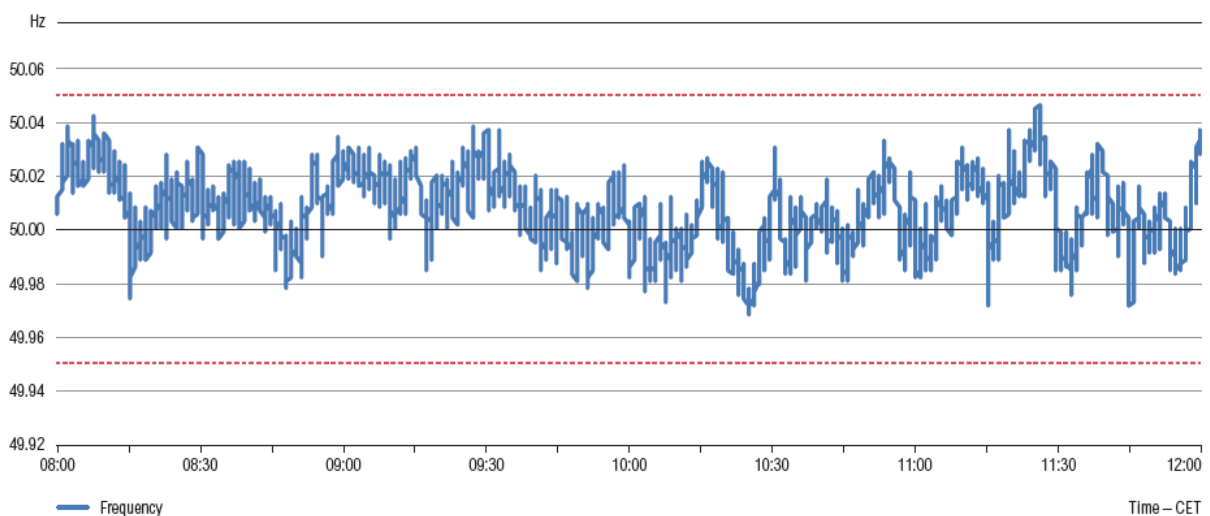
A legtöbb európai országban az időjárás felhősebb volt, mint amire számítottak. Németországban például 9:30-kor, a napfogyatkozás kezdetén 13,2 GW volt a PV teljesítmény becsült értéke, 10:30-kor 6,2 GW-ra csökkent, 12:00-kor a becsült valós termelés nagysága 22 GW volt, és 10:30 és 12:00 között a teljesítmény maximális változása 15 GW körül volt. A napfogyatkozás energiafogyasztásra gyakorolt hatása -2,5 GW-ra tehető.



**5. ábra:** PV teljesítmény a napfogyatkozás napján Európa 8 országában

### 1.2.5 Frekvenciaminőség a napfogyatkozás alatt

Normál működés közben a frekvencia  $\pm 50$  mHz között változhat a névleges értékhez képest. A generátorok többsége 50,5 Hz-es frekvenciánál leválik a hálózatról, azonban az 50,2 Hz-es frekvencia néhány régióban a napelemek esetében automatikus lecsatlakozást eredményez. A 49 Hz-es frekvencia elérése automatikus terheléskorlátozást jelent. 49 Hz felett a szivattyús terhelésleválasztás is elkezdődhet. A napfogyatkozás napján mért, 8:00-tól 12:00-ig tartó, kontinentális Európa villamosenergia-rendszerére vonatkozó frekvenciaértékeket szemlélteti a 6. ábra.



**6. ábra:** Frekvencia alakulása a kontinentális Európában a napfogyatkozás napján

A frekvenciaminőség a vizsgált időtartam alatt megfelelő volt. A maximális frekvencia-eltérés abszolút értéke 48 mHz volt.

Mivel a nagy-britanniai rendszer jóval kisebb, mint a kontinentális európai, magasabb frekvenciaingadozások voltak tapasztalhatók, az esemény alatt a frekvencia csak rövid időre haladta meg a működési határértéket. A rögzített frekvenciahatár  $\pm 0,5$  Hz, és a működési előírások évente 1500 kiugró értéket engednek meg a  $\pm 0,2$  Hz-es működési célértéken kívül.

### 1.3 Utólagos következtetések és felkészülés a következő napfogyatkozásra [6]

#### 1.3.1 Időjárás

Az időjárás a napfogyatkozás alatt a kontinentális Európa nyugati részén felhősebb volt, mint amilyen időt az előzetes tanulmányok feltételeztek, emiatt pedig a napfogyatkozás kisebb mértékben befolyásolta a villamosenergia-rendszert, mint amit a szakemberek becsültek. Németországban és Olaszországban az időjárás tiszta volt, ezáltal a jelenség hatása is erős volt.

#### 1.3.2 A PV rendszerek irányíthatósága

Az olasz hálózati üzemeltető, a Terna megmutatta, hogy a PV termelés egy részének előre lecsatlakoztatása a hálózatról egy jó lehetőség a napfogyatkozás miatt kialakult helyzet kezelésére. Ez az intézkedés ígéretes a jövőre nézve, azonban a széleskörű alkalmazásához még sok dolgot meg kell fontolni:

- A lekapcsolandó PV kapacitás pontos nagysága
- A PV termelés le-és felkapcsolási ideje
- A PV termelés visszakapcsolása alatt tett lépések
- A lekapcsolás rendszerre gyakorolt hatásai

#### 1.3.3 A PV termelés követése, megfigyelhetősége

- Szükséges a PV kapacitás és a napelemes rendszerek adottságainak megfelelő leírása az előrejelző tanulmányok pontosságát érdekében (technikai adatok, lecsatlakoztatási/újracsatlakoztatási beállítások és logikák, stb.)
- Valós idejű mérések valós idejű üzemi stratégiákhoz

#### 1.3.4 Német intézkedések

A német hálózati üzemeltetők az erőműveknek azt az instrukciót adták, hogy folyamatosan üzemeljenek, ami pozitív hatással volt a rendelkezésre álló szabályozható energiára, amit negyed órán belül hasznosítani is tudtak.



### 1.3.5 A tartalékok felhasználása

A nagyszámú tartalékoknak köszönhetően az összes európai rendszerirányítónak sikerült megtartani a teljesítményegyensúlyt, és a saját ACE indexüket is nulla közelében tudták tartani valós időben. Ettől függetlenül a kiegészítő tartalékok jelentős a költséggel járnak, ezért ezt a megoldást csak kivételes esetekben szabad alkalmazni.

### 1.3.6 Erős irányítás és felkészülés

A napfogyatkozás előtti és alatti erős irányításnak és a felkészülésnek köszönhetően az összes rendszerirányító tisztában volt a kockázatokkal és a felmerülő orvosolandó eseményekkel, a végrehajtás módszereivel, valamint az egymásnak való segítség lehetőségével.

### 1.3.7 Jövőben várható gradiensváltozások

A jövőben gyorsabb gradiensváltozások várhatók a PV termelésben a PV kapacitások folyamatos növekedése miatt. Az ilyen események kihívást jelentenek az RSCI (Regional Security Coordination Initiative) számára. A szervezet feladata, hogy biztonságot és hatékony működést biztosítsanak az összekapcsolt rendszernek minden kritikus hálózati körülmény esetén.

### 1.3.8 Felkészülés a következő napfogyatkozásra

A 2015. március 20-aihoz hasonló napfogyatkozás lesz 2021-ben és 2026-ban. Addigra az európai napelem-panelek száma meg fog háromszorozódni. A SolarPower Europe kutatásai alapján 2021-ben a PV kapacitás 170 GW-ot fog kitenni, 2026-ban pedig eléri a 250 GW-ot.

Az EU-ban jelenleg a napelemek által termelt energia az villamosenergia-igény 3,5 %-át teszi ki. Ez a szám 2021-ben az igények akár 7%, 2026-ban pedig 10%-a is lehet. Ezt a növekedést a PV rendszerek költségeinek további csökkenése is elősegíti. Kevesebb mint 10 éven belül a fotovoltaikus rendszerek ára közel 75%-kal csökkenhet.

### 1.3.9 5 kulcsfontosságú terület

Az ENTSO-E és a SolarPower Europe 5 fontos terület fejlesztését tartja szükségesnek a biztonságos EU-s hálózat fenntartásához a következő napfogyatkozások alatt. Ezek a következők: frissített piaci- és rendszerszabályok, megerősített regionális együttműködés, aktív fogyasztói társadalom, új rendszerszolgáltatások bevezetése különös tekintettel a PV termelésre, valamint fokozott TSO/DSO (Transmission System Operator/Distribution System Operator) együttműködés.

### 1.3.10 Hálózati szabályzatok

Az EU hálózati szabályzatban (Network Code) új szabályok kerültek előtérbe. A tervezet az ENTSO-E segítségével valósult meg, az ACER (Agency for the Cooperation of Energy Regulators (EU)) és a

Bizottság által meghatározott iránymutatás alapján. Minden szabályzat az érintettekkel való konzultáció alapján készült. Az ACER 2015-ben 10-ből 9 hálózati szabályzat elfogadását javasolta.

Az egyik legfontosabb azt helyezi előtérbe, hogy minél több decentralizált és változó energiaforrást integráljunk biztonságosan az átviteli hálózatba. Ehhez viszont az energiaforrásoknak szigorúbb követelményeknek kell megfelelniük. Néhány országban, mint például Olaszországban és Németországban már elkezdtek a PV telepítéshez fűződő részleges felújító programokat, kompatibilissé téve a napelem telepeket azokhoz a követelményekhez, amiket a szabályzatban foglalmaztak meg.

Minden hálózati szabályzat arra szolgál, hogy erősebb, fenntarthatóbb és költséghatékony villamosenergia-rendszert teremtsen Európa számára.

### 1.3.11 Regionális biztonsági intézkedések

Az ideai napfogyatkozás rámutatott a regionális és páneurópai együttműködés fontosságára a rendszer biztonságának érdekében. A rendszerirányítók megfelelő irányítása a napfogyatkozás előtt és alatt a szolgáltatás kiesésének elkerülése miatt lényeges.

### 1.3.12 A fogyasztók szerepe

A villamosenergia-rendszer megfelelő flexibilitása érdekében a teljesítménytartalékok növelése egy jó megoldást jelenthet, azonban ez rendkívül költséges. Továbbá ez az elgondolás nem minden esetben egyezik Európa dekarbonizációs törekvéseivel.

Mivel a háztartási szintű igény jelenti a villamosenergia-felhasználás 30-40%-át, a fogyasztók számára adott lehetőség, miszerint csökkenthetik a fogyasztásukat bizonyos csúcsidőszakokban, (és pénzt takaríthatnak meg ezalatt) hozzájárul a rendszer rugalmasságának fenntartásához. A rendszerirányítók számára ez egy költséghatékony módot jelentene a rendszer egyensúlyának fenntartása érdekében, továbbá optimalizálná az infrastruktúra és a beruházások kihasználását a hálózaton.

### 1.3.13 Napelemes termelés hozzájárulása

A napelemes termelés lehetőséget nyújt arra is, hogy befolyásoljuk a rendszerszintű szolgáltatásokat. Ilyen befolyásoló hatás például, hogy az inverterek lehetővé teszik a PV rendszereknek, hogy meddő teljesítményt szolgáltatassanak a feszültségszabályozáshoz. További lehetőséget kínál a fogyasztók körében az akkumulátorral történő napelemes energia tárolása. Ez az eljárás lehetővé tenné a szabályozási teljesítmény növelését, és a fogyasztók saját teljesítményfelvételének jobb szabályozását.

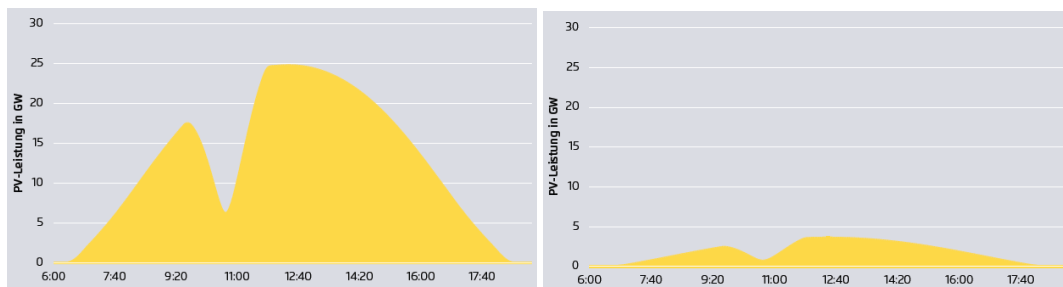
### 1.3.14 Fokozott TSO/DSO együttműködés

Egy újragondolt TSO-DSO interfész is fontos részét képezi a jövőbeli terveknek, nemcsak a PV integráció, hanem a többi decentralizált megújuló energiaforrás és a rendszer tervezése szempontjából is.

Az adatok megfelelő kezelése szintén szükséges, hogy a TSO-nak, DSO-nak és más piaci résztvevőnek hozzáférése legyen a kívánt adatokhoz időszerű és átlátható módon.

## 1.4 A napfogyatkozás Németországban – előretékinés 2015-ből 2030-ra [7]

Az előzetes elemzések alapján elmondható, hogy ha Németországban az időjárás felhősebb lenne, akkor elhanyagolhatóbb lenne a napfogyatkozás hatása a PV termelésre, amit az alábbi ábrák is szemléltetnek.

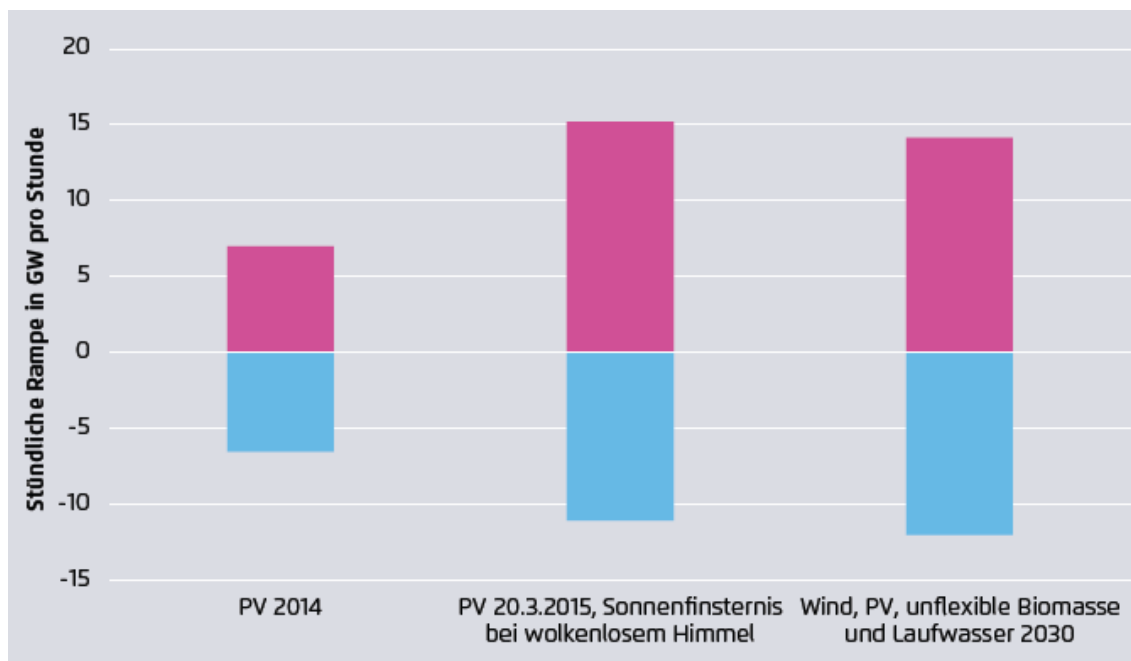


**7. és 8. ábra:** A 2015. március 20-ai németországi PV termelés napos és felhős időjárás esetén [7]

Azonban 2015. március 20-án a német égbolt tisztább volt, így a jelenség sokkal nagyobb hatással volt a fotovoltaikus energiatermelésre.

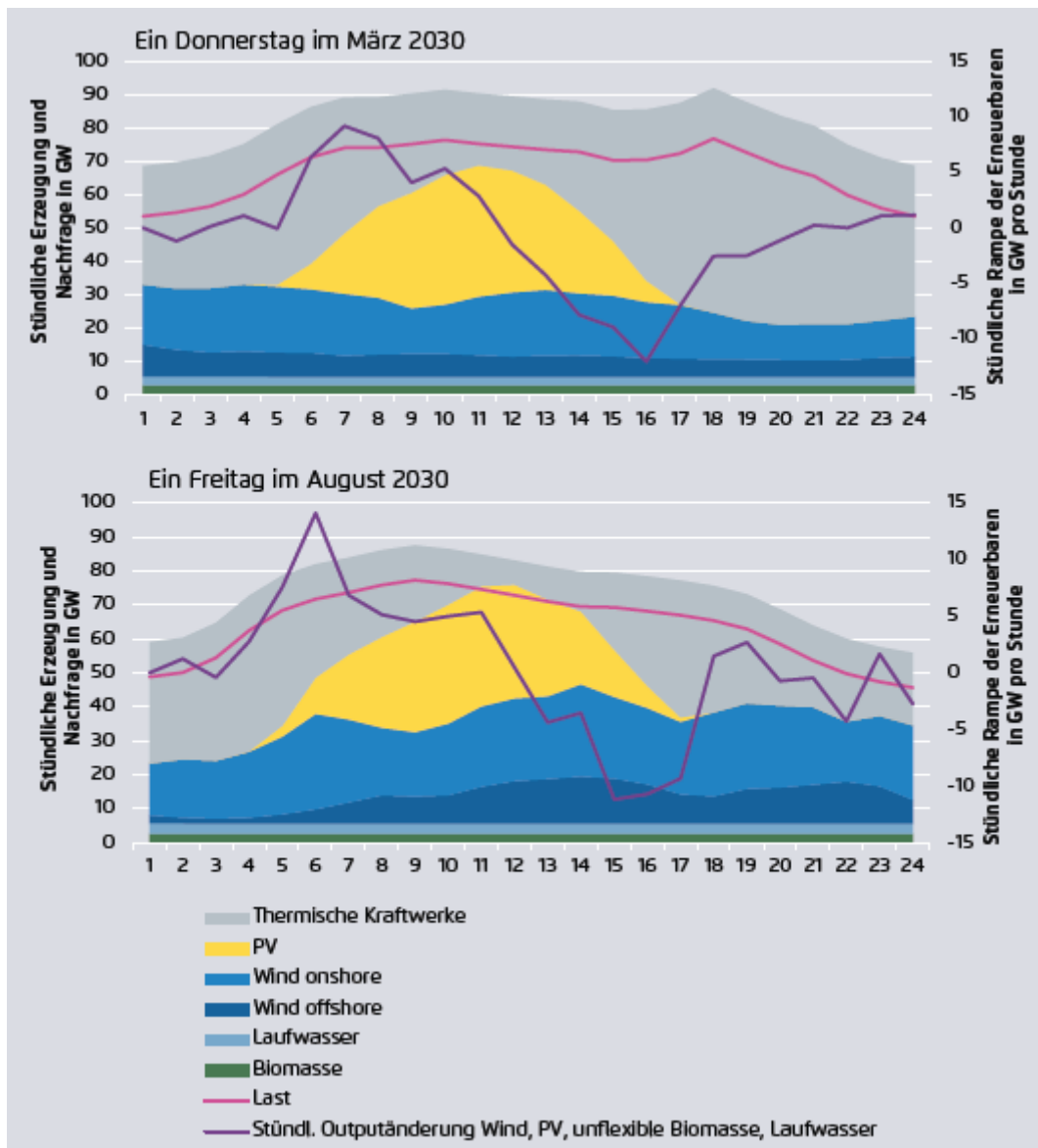
A német energiapolitika célja a megújuló energiaforrások arányának növelése 48%-ról 53%-ra 2030-ra. Ezt a célt segíti az a feltevés, miszerint a jövőben szél- és napelemes rendszerek telepítésének költsége csökkenni fog.

A maximális, egy órán belüli PV teljesítményváltozást (pozitív és negatív irányban) megvizsgálva 2014-ben normál fényviszonyok között körülbelül fele akkora gradiensértékeket kapunk, mint a 2015-ös napfogyatkozáskor. Egy 2015-ös szimuláció alapján a szél- és nap-, biomassza-, és vízerőművek termelését 2030-ban hasonló mértékű maximális órás változás fogja jellemezni, mint a 2015-ös napfogyatkozáskor mért értékek. A 2030-as szimulációhoz 58,2 GW PV, 71,2 GW „onshore”, és 15 GW „offshore” szél-erőmű-kapacitással számoltak. Ezen szám adatok a 2015-ös hálózatfejlesztési tervek alapján adódtak. A szimuláció nem vette figyelembe, hogy a rendszer rugalmassága várhatóan növekedni fog. Nem vették figyelembe továbbá a megújulók hozzájárulását a rendszerszolgáltatásokhoz és rendszerbarát terjeszkedési stratégiákat sem.



9. ábra: Maximális gradiensértékek 2014-ben, a 2015-ös napfogyatkozás alatt és 2030-ban [GW/óra] [7]

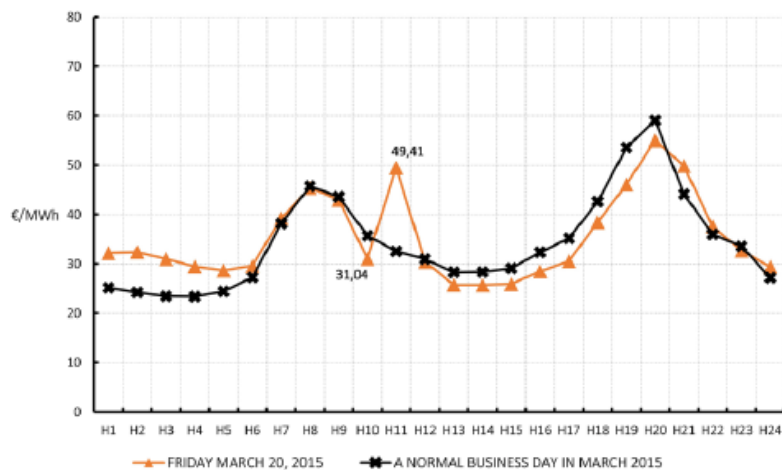
A 10. ábra egy márciusi és egy augusztusi nap termelési (hőerőművek, PV rendszerek, on-és offshore szélenergiaerőművek, vízenergiaerőművek, biomassza erőművek) és fogyasztási görbéit, valamint a gradiens [GW/óra] mutatja 2030-ban. A felső ábra a legnagyobb órás teljesítménynövekedést, az alsó a legnagyobb órás teljesítménycsökkenést szemlélteti.



10. ábra: Egy márciusi és egy augusztusi nap 2030-ban: erőművek termelése, rendszerterhelés és teljesítménygradiens [GW/óra] [7]

## 1.5 A napfogyatkozás hatása tőzsdei oldalról [9]

Az európai kontinensen két csúcsidőszak figyelhető meg az óras energia árban egy normál márciusi napon. Ezen két csúcs a kereslet időbelisége miatt adódik. Az első reggel tapasztalható, amikor az emberek felkelnek, hogy munkába menjenek, így otthon és az irodákban a berendezések használatával megnő a villamosenergia-igény. A második csúcs este van, amikor az emberek hazaérnek a munkából. A következő ábrán a fekete görbe a 2015. 03.20-ai óras árakat tartalmazza a német/osztrák piacon. Észrevehető, hogy a normál márciusi naphoz képest (narancssárga görbe) 11 órakor megjelent a napfogyatkozás miatt egy harmadik csúcs is, melynek értéke 49,41 €/MWh volt.



**12. ábra:** Az energia ára a napfogyatkozáskor és egy normál márciusi napon [€/MWh] [9]

Az energia ára Franciaországban szintén 49,41 €/MWh-ra, Hollandiában és Belgiumban 74,94 €/MWh-ra, Svájcban 52,3 €/MWh-ra emelkedett.

Számos tényező gyakorolt nyomást a március 20-ra jelzett energiaárakra csúcsidőszakban és azon kívül is, mint például a csökkenő kereslet péntek délután, a magasabb hőmérséklet, a konvencionális egységek alkalmazása a PV termelés kiesésének kompenzálására, az olasz PV kapacitás korlátozása. A felsorolt szempontok miatt az értékek alacsonyabbak voltak, például Hollandiában a völgyidőszaki ár 42,99 €/MWh, míg a csúcsidőszaki ár 47,54 €/MWh volt.

Az árakat legjobban Németország határozta meg, aki például 11 órakor a teljes elérhető átviteli kapacitását (ATC), 1691 MWh-t exportált Hollandiának, és 2950 MWh-ból 2162,1 MWh-t exportált Franciaországnak. Hasonló csúcsok adódnának akkor is, ha Németország exportálás helyett importált volna a régió nagy részéről.

Németországban 2014-ben az EPEX SPOT bevezette a 15 perces aukciót, ami által nemcsak az energia, hanem a rugalmasságot lehetővé tévő szolgáltatások is megjelentek a piacon.

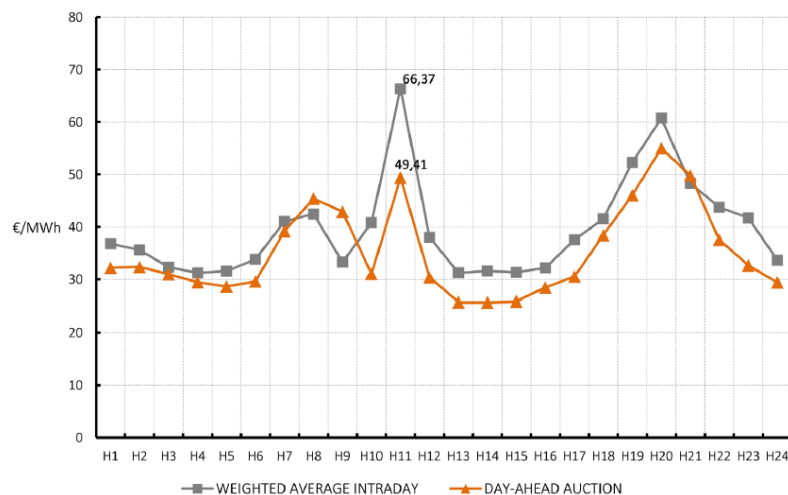


**13. ábra:** A 15 perces aukció árai Németországban [9]

A 13. ábrán látható, hogy 5 GW kapacitás igényelhető a flexibilitáshoz a 11:00-tól 11:15-ig (CET) tartó időablak alatt (Q45 az ábrán) 464,37 €/MWh-ért. A 11:45-től 12:00-ig (CET) tartó 15 perces időintervallum alatt pedig 3 GW kapacitás -164,48 €/MWh-ért igényelhető.

A fogyasztók jelentős pénzt tudnak megtakarítani, ha lehetőségük van odafigyelni a fogyasztásukra. Egyik példa, hogy kevesebb energiát igénylő tevékenységet folytatnak 11:00 és 11:15 (CET) között, és értékesítik a teljesítményük egy részét (maximum 5 GW-ot) a piacon 464,37 €/MWh-ért. Másik lehetőség, hogy többet fogyasztanak 10:00 és 10:15 között (CET), illetve 11:30 és 12:00 között (CET), mint normál esetben, és 164,48 €-t kapnak minden MWh-ért, amit fogyasztottak.

Az egy nappal előre történő aukció és a 15 perces aukció a következő napra vonatkozó előrejelzésekre alapul. Ezzel szemben a vizsgált napon belüli, ún. intraday piac a piaci résztvevőknek lehetővé teszi a folyamatos és valós időhöz közeli, aktuális, energia és flexibilitás iránti keresletet és kínálatot.



14. ábra: Az egy nappal előre jelzett és az „intraday” energiaárak [€/MWh] [9]

## 2 A napfogyatkozás hatása a fóti Élhető Jövő Park napelemes rendszerére

### 2.1 A vizsgált rendszer bemutatása

A 2015. 03. 20-ai részleges napfogyatkozás Budapesten 9:39:31-től 11:59:47-ig tartott. A fejezetben a Budapesthez közeli fóti Lovasterápiás Központ területén lévő Élhető Jövő Park két napelemes rendszerét vizsgálom. Az egyik napelemes rendszer 15,6 kW-os, a másik naperómű 22 kW-os névleges teljesítménnyel rendelkezik.



**15. ábra:** A 15,6 kW-os rendszer az istálló tetején



**16. ábra:** A 22 kW-os rendszer az irodaépület tetején (forrás: ELMŰ)

Mindkét napelemes rendszer GermanPV polikristályos napelemekből áll. A 15,6 kW-os rendszer 65 darab, 240 W panelteljesítményű panelből áll, az inverter teljesítménye 12 kW-os.

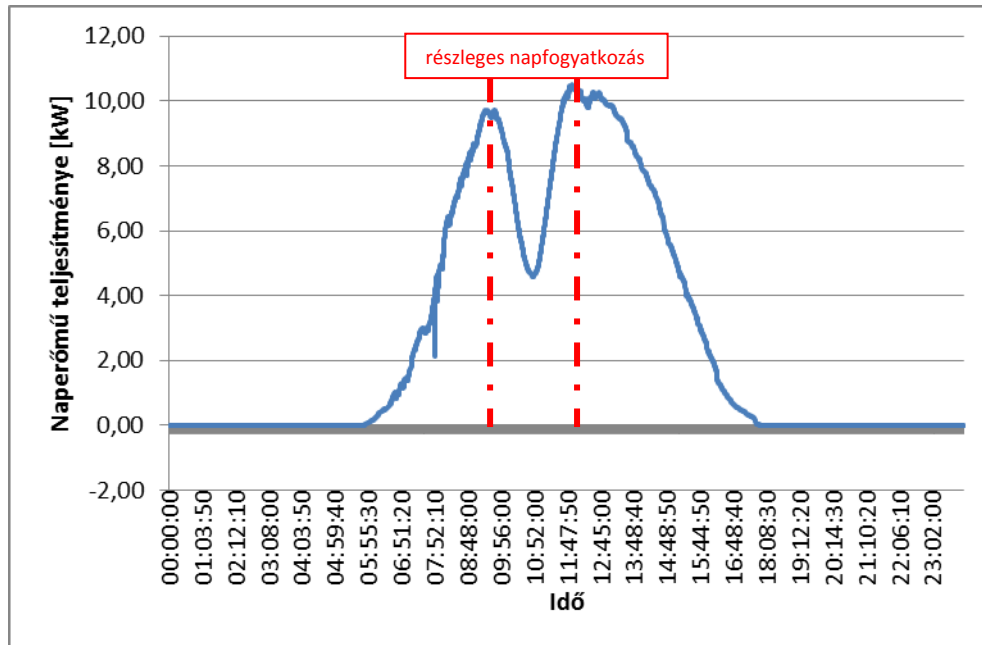
A másik naperómű 88 darab, 250 W panelteljesítményű panelből épül fel, az inverter teljesítménye pedig 22 kW.

A továbbiakban a 15,5 kW-os rendszert (1)-gyel, a 22 kW-ost (2)-vel jelölöm. Az ábrákat és számításokat Excel segítségével készítettem. A kapott adatsor 10 másodperces felbontású volt. A nem sűrűn előforduló, néhány másodperces időtartamú adathiányok esetén az adott időszakra vonatkozó értékeket nem vettem figyelembe.



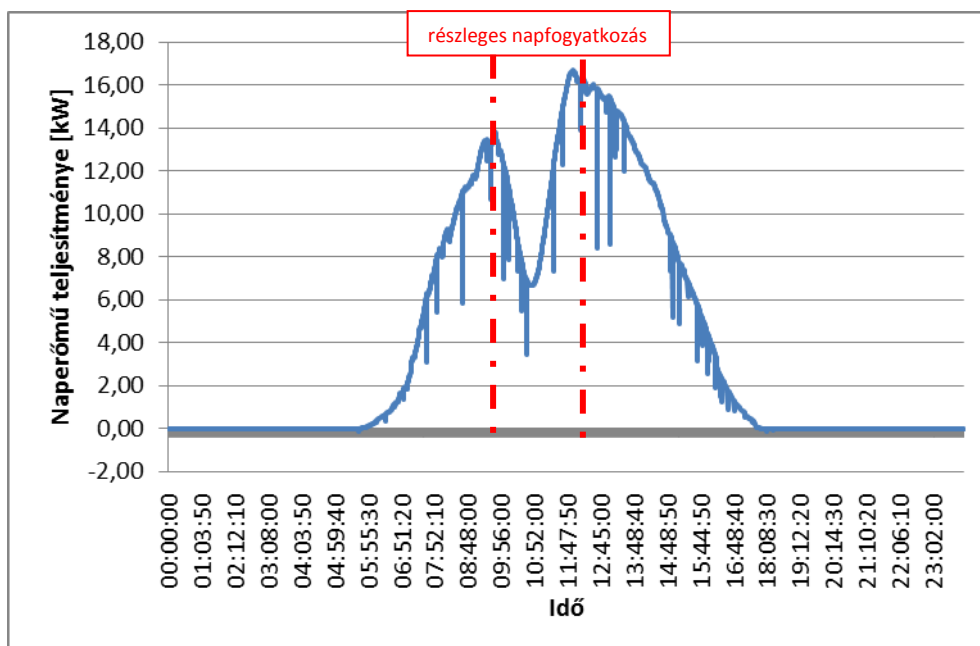
## 2.2 Teljesítmények, besugárzás 2015. 03. 20-án

Az (1)-es és (2)-es rendszer teljesítménye a részleges napfogyatkozás időtartama alatt a következőképp alakult:



17. ábra: A 15,6 kW névleges teljesítményű naperőmű teljesítménye 03.20-án

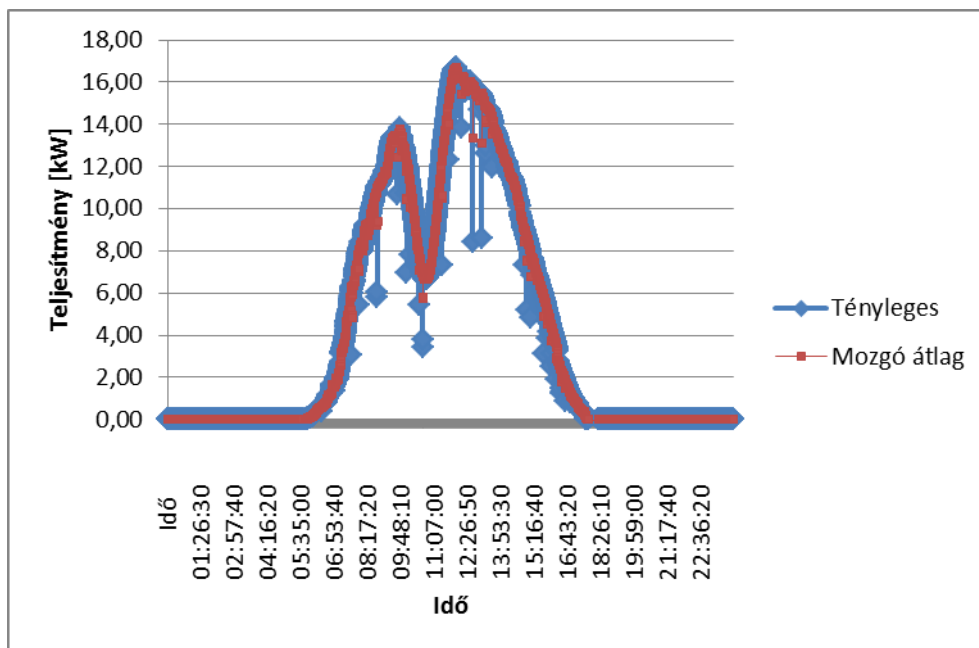
Az (1)-es naperőmű teljesítménye a napfogyatkozás alatt 10:50:20-kor érte el a minimumát, melynek értéke 4,57 kW volt.



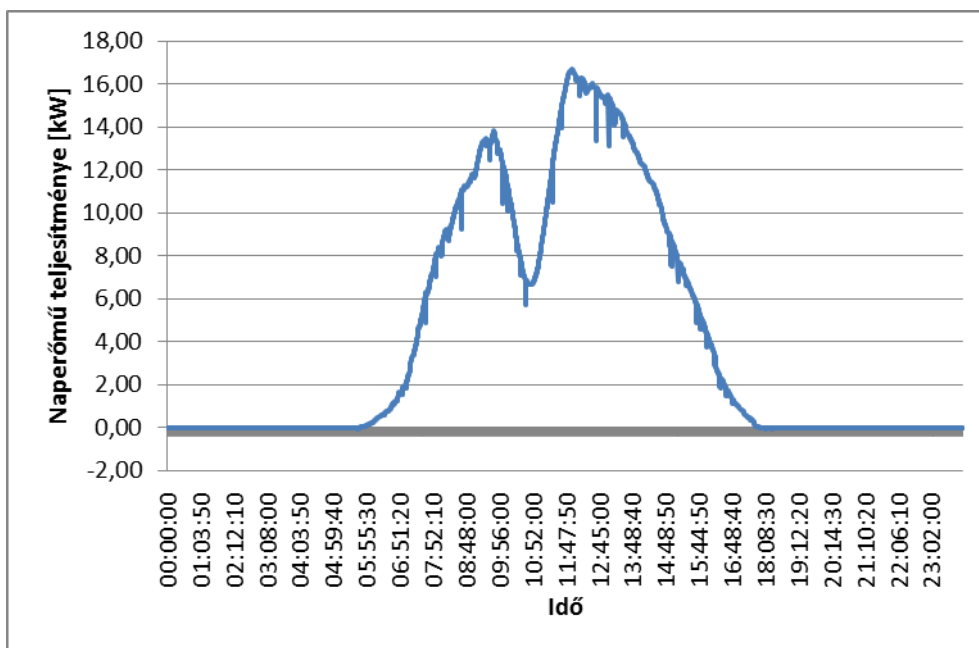
18. ábra: A 22 kW beépített teljesítménnyel rendelkező naperőmű teljesítménye 03.20-án

A (2)-es naperőmű teljesítménygörbéjének többször van lokális minimuma. A legkisebb teljesítményérték a vizsgált időszakban 10:40:00-kor volt, 3,44 kW. A részleges napfogyatkozás azonban nem lehet a grafikonon látható hirtelen, rövid idejű teljesítménycsökkenések oka. Mivel a tapasztalt teljesítményértékekre pontos magyarázatom nem volt, konzultáltam az üzemeltetővel. A fogyatkozás előtti tüskék a globális sugárzás mérési adatainál is észrevehetőek, melyet a 23. ábra szemléltet. A globális sugárzás mérése azonban nem a 22 kW-os rendszernél, hanem az istálló tetején, a 15,6 kW-os naperőműnél történik. Ezért látszódnak tüskék a napfogyatkozás előtt az (1)-es rendszer esetében is. Megfigyelhető továbbá, hogy a csökkenések a (2)-es rendszernél a fázisáramokban is megmutatkoznak, amik nemcsak a napfogyatkozás előtt, hanem utána is megmaradnak. Ezek alapján az üzemeltető szerint a jelenség magyarázata lehet egy olyan lokális hatás, melynek következtében a napelem-cellákat rövid ideig árnyékolta valami. Ez a zavaró tényező lehet például egy fa lombkoronája, amit a szél a panelek elé fúj.

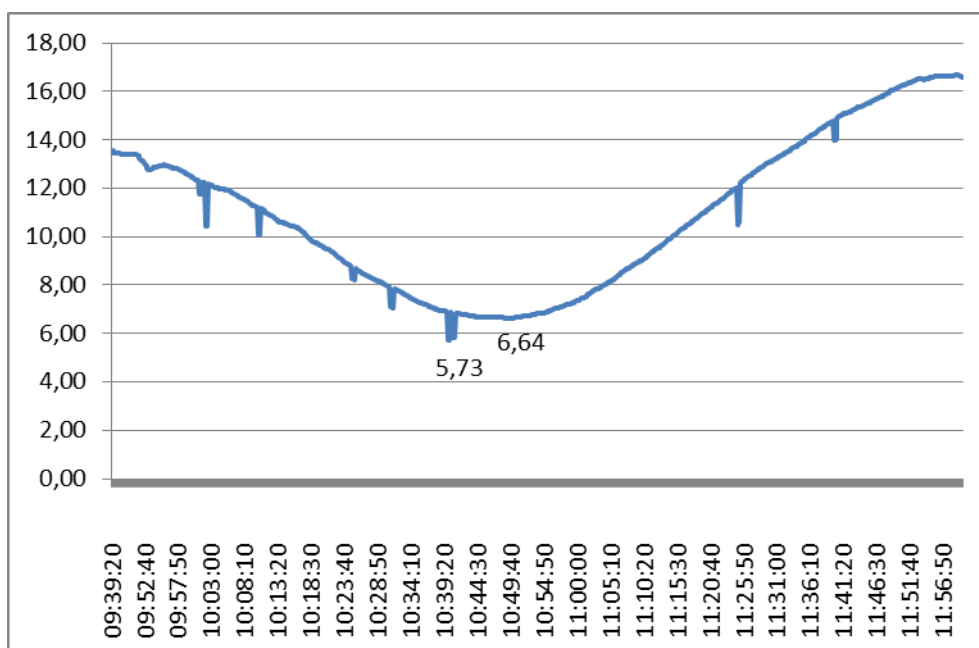
A hibás értékeket mozgó átlag segítségével szűrtem ki, melynek az eredménye az alábbi grafikonokon látható:



19. ábra: Mozgóátlag alkalmazása a (2)-es rendszer esetében



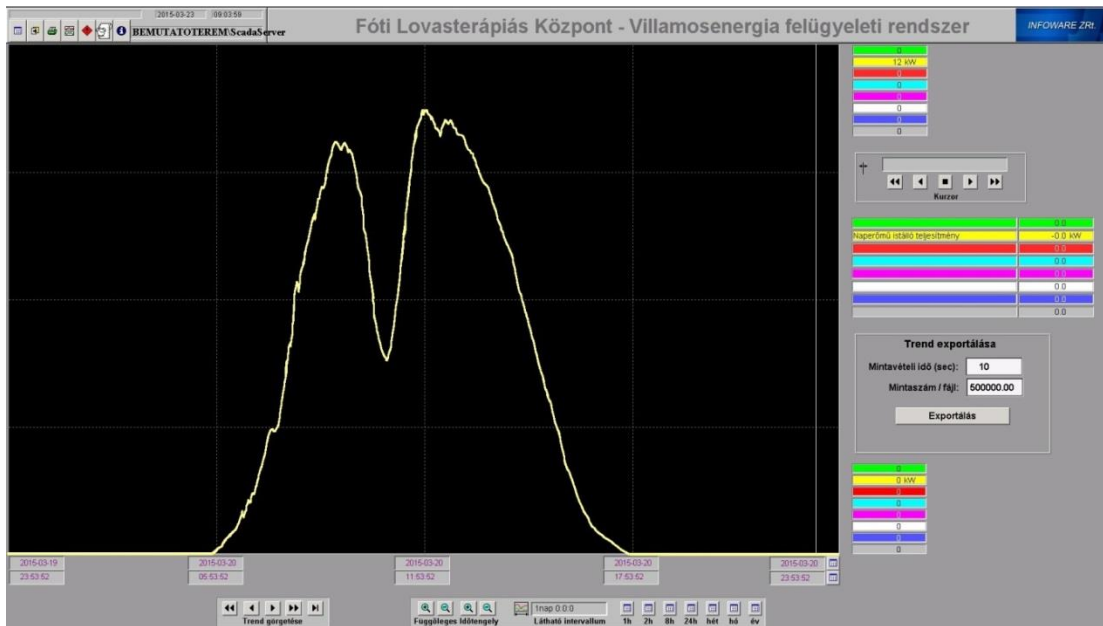
**20. ábra:** Mozgóátlag alkalmazásával kapott teljesítménygörbe



**21. ábra:** Mozgóátlag alkalmazásával kapott teljesítménygörbe a napfogyatkozás időtartama alatt

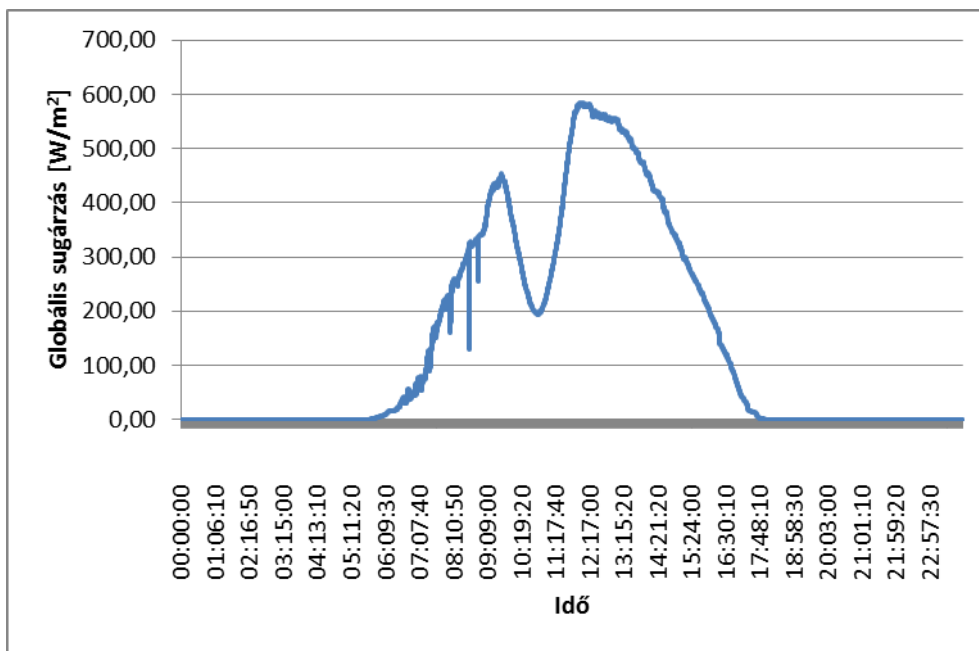
A mozgó átlagok módszerét alkalmazva a kapott értékek alapján a minimum 5,73 kW, amely a kiugró adat helyett szerepel, 10:40:00-kor. A részleges napfogyatkozás hatása azonban a 6,64 kW-os minimumérték, mely 10:49:30-kor volt.

Az adatok a SCADA rendszerből lettek exportálva. A SCADA grafikus felülete lehetővé teszi, hogy az Élhető Jövő Parkba látogatók és a fejlesztők követhessék és visszanezdhessék a teljesítmény alakulását, melyet a 22. ábra is szemléltet a vizsgált napon:

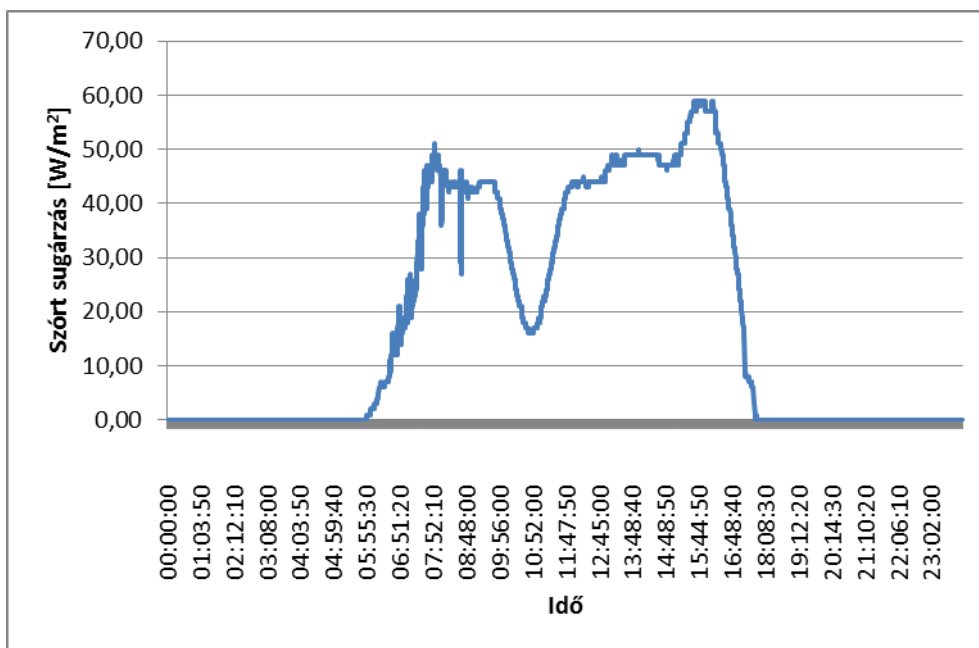


22. ábra: Az (1)-es rendszer teljesítményének ábrázolása a SCADA-ban (forrás: ELMŰ)

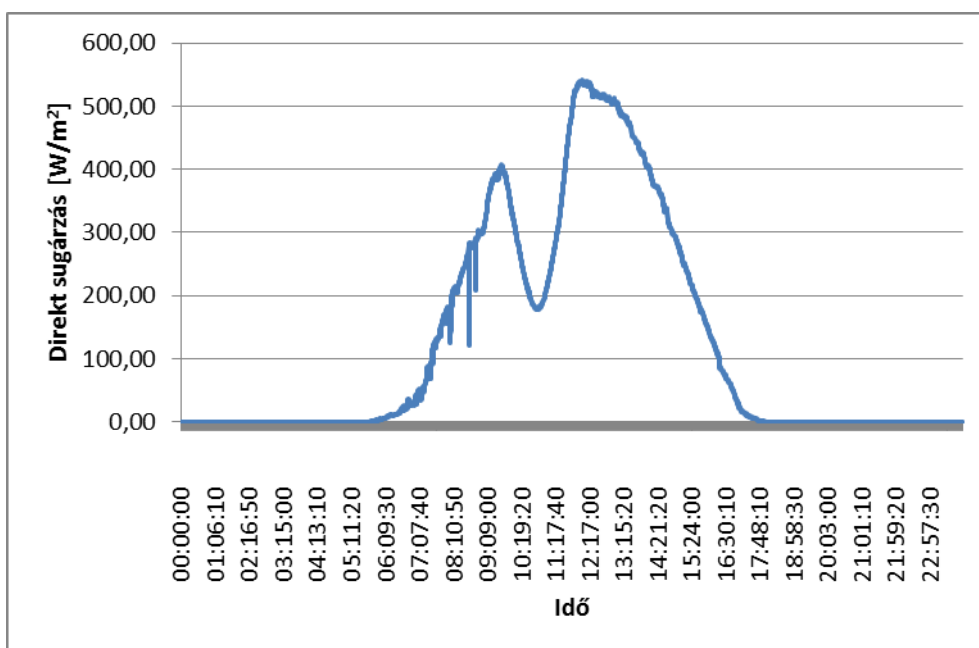
Az adatelemzéshez érdemes megfigyelni a globális, szórt és direkt sugárzás alakulását a nap folyamán:



23. ábra: Globális sugárzás



24. ábra: Szórt sugárzás



25. ábra: Direkt sugárzás

A globális és a direkt sugárzást összevetve a teljesítménygörbékkel látható, hogy a görbék jellege rendkívül hasonló. Tehát a két sugárzási mérőszám változása jól követte a napfogyatkozás napján történt teljesítménybeli változásokat. A szórt sugárzás diagramjából szintén látható a napfogyatkozás hatása, azonban a szórt sugárzás az egész napot figyelembe véve kevésbé korrelál a termeléssel.

A korreláció mértéke a nap folyamán a 2. táblázatban szerepel.

**2. táblázat:** Korrelációs együtthatók a naperóművek termelése és a sugárzási mérőszámok között

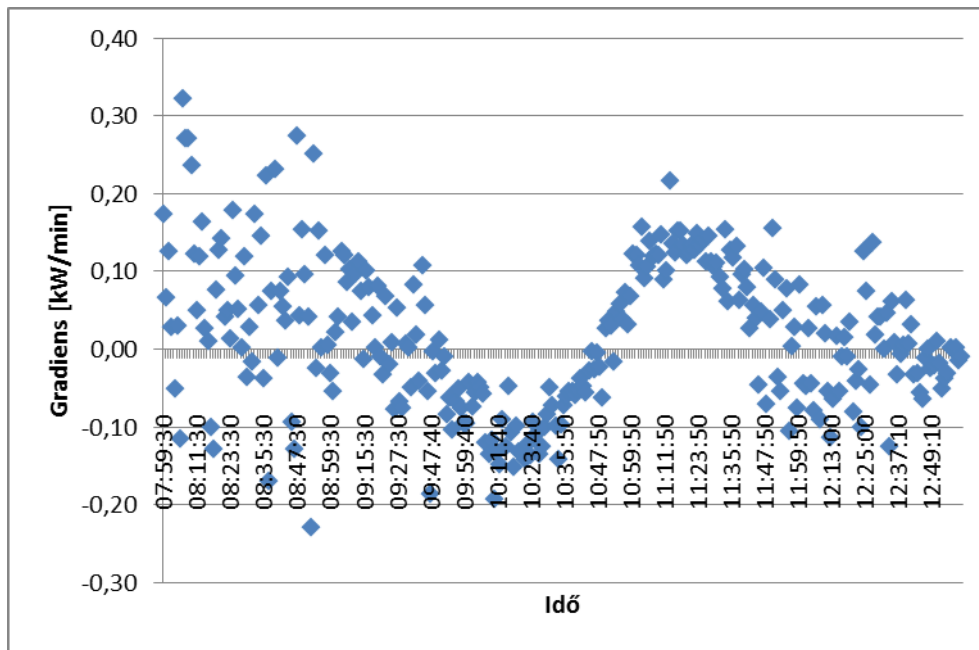
(1) naperómű	Globális sugárzás és termelés korrelációja	0,980482
	Direkt sugárzás és termelés korrelációja	0,981406
	Szórt sugárzás és termelés korrelációja	0,814973
(2) naperómű	Globális sugárzás és termelés korrelációja	0,990449
	Direkt sugárzás és termelés korrelációja	0,989541
	Szórt sugárzás és termelés korrelációja	0,838101

A korrelációs együtthatók igazolják az előbbi, teljesítmény-és sugárzási görbék alapján tett kijelentésemet. A 2. táblázatból az is látszik, hogy a (2)-es naperómű termelése (1)-es naperómű termeléséhez képest mindhárom sugárzási mérőszámmal jobban korrelál. Ez azt jelenti, hogy a (2)-es naperómű termelése és a sugárzási értékek között szorosabb a kapcsolat. Ennek ellenére az (1)-es naperóműhöz tartozó korrelációs együtthatók értéke is nagyinak számít, és ugyanazt a tendenciát mutatja, mint a (2)-es naperóműnél, azaz a három sugárzási mérőszám közül a szórt sugárzás korrelál a legkevésbé a termeléssel.

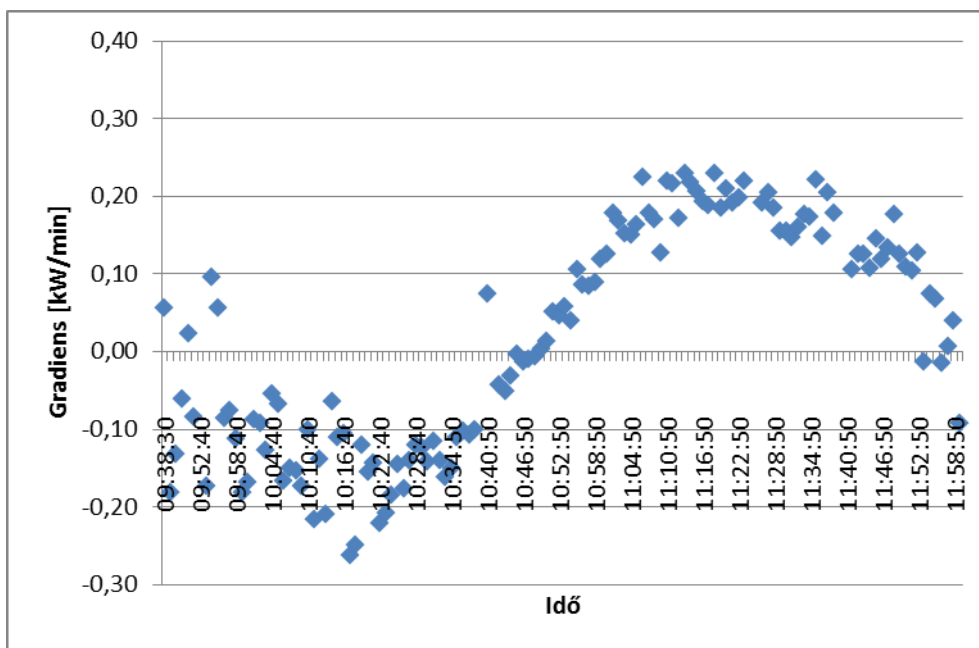
### 2.3 Termelési gradiens vizsgálata

A részleges napfogyatkozás vizsgálatához termelési gradienst számoltam, majd diagramon megjelenítettem az eredményt. A számítás során a (2)-es rendszerrel a mozgóátlag alkalmazásával kapott értékeket használtam.

### 2.3.1.1 Gradiens ábrázolása

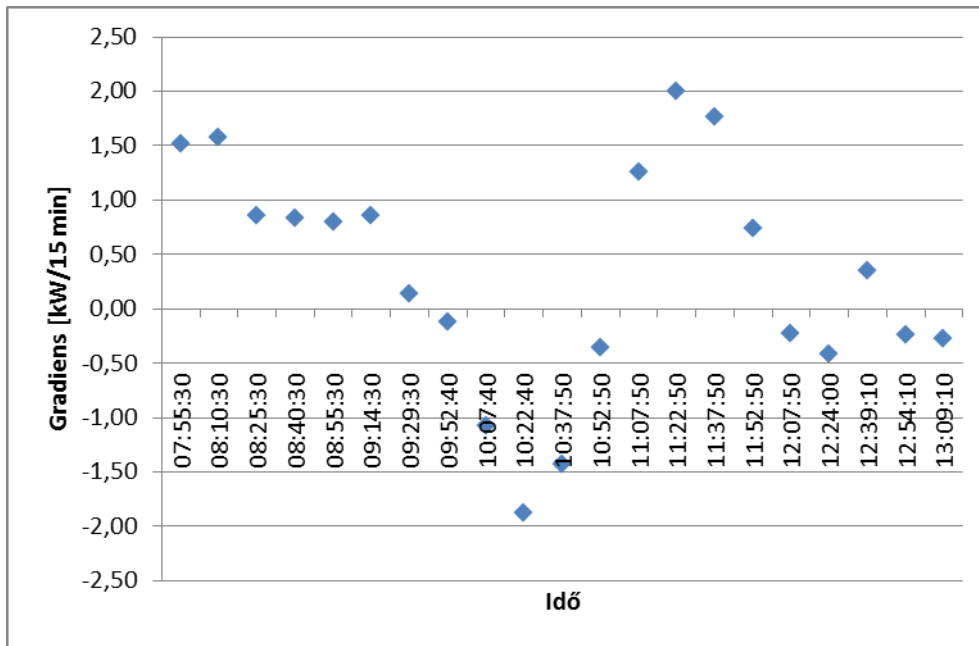


26. ábra: (1) rendszer teljesítménygradiense [kW/min] 8:00-13:00 időtartam alatt

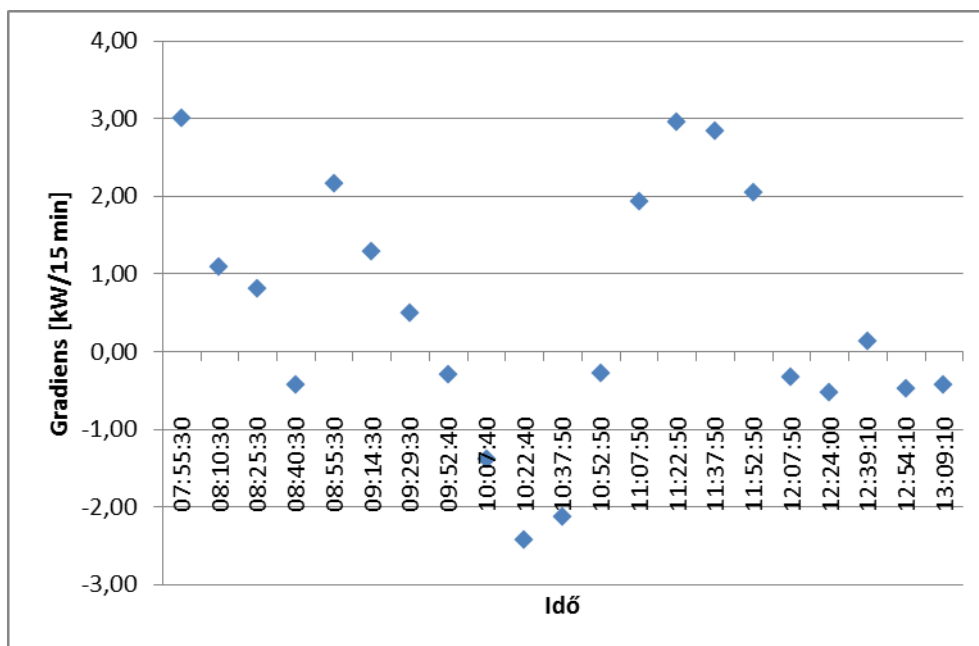


27. ábra: A (2) rendszer teljesítménygradiense [kW/min] 9:38:30-11:59:50 időtartam alatt (a kiugró adatok egy része a diagramon a lényeges folyamat követhetősége miatt nem látszik)

A 28. és a 29. ábrán kW/15 perces mértékegységű teljesítménygradiensek szerepelnek, mert az elszámolási időegység negyedórás, és a gyakorlatban a termelés online vizsgálatánál is 15 percenként beérkező adatokkal dolgoznak.



28. ábra: A (1) rendszer teljesítménygradiense [kW/15 min] 8:00-13:00 időtartam alatt



29. ábra: A (2) rendszer teljesítménygradiense [kW/15 min] 8:00-13:00 időtartam alatt

2.3.1.2 *Gradiens vizsgálata a napfogyatkozás kezdetétől a teljesítményminimumig és a minimumtól a napfogyatkozás végéig*

A (2)-es rendszer esetében a kisimított értékekkel számoltam. A kapott értékek a következők:



### 3. táblázat: Gradiensértékek a napfogyatkozás csökkenő és növekvő szakaszában

Időszak	Csökkenő szakasz	Gradiens értéke	Növekvő szakasz	Gradiens értéke
(1) naperőmű	9:39:20-10:50:20	-5,08 kW/71 min	10:50:20-11:59:50	5,79 kW/69 min 30 s
(2) naperőmű	9:39:20-10:49:30	-7,05 kW/70 min 10 s	10:49:30-11:59:50	9,94 kW/70 min 20 s

A napfogyatkozás előtt (9:39:20-kor) az (1)-es rendszer teljesítménye 9,65 kW, a napfogyatkozás csúcspontján (10:50:20-kor) pedig 4,57 kW volt. Az időtartam, ami alatt a teljesítmény erre az értékre csökkent, 71 perc volt. Tehát a teljesítménygradiens értéke -5,08 kW/71perc. A (2)-es rendszer esetében 13,69 kW-ról csökken a teljesítmény 6,64 kW-ra. A gradiens ebben az esetben -7,05 kW/70 min 10s.

A második szakaszban a teljesítmény a minimumponttól nő a napfogyatkozás végéig tartó időpontig. Az (1)-es naperőmű esetén a teljesítmény 4,57 kW-ról nő 10,36 kW-ra, így a gradiens értéke 5,79 kW/69 min 30 s, a (2)-es rendszerénél pedig 6,64 kW-ról változik a naperőmű termelésének értéke 16,58 kW-ra, ami 9,94 kW/70 min 20 s-os gradiens érték.

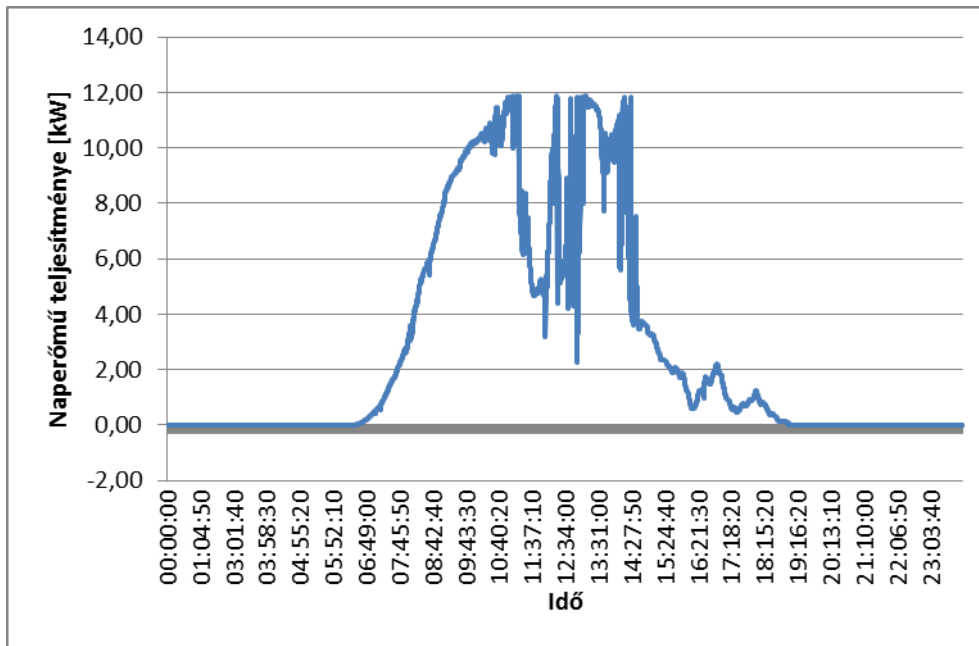
A kiszámolt értékekből látszik, hogy a teljesítmény csökkenése, majd növekedése közel azonos időtartam alatt zajlott, azonban a második, növekvő szakaszban gyorsabb volt a változás. Ez különösen a (2)-es rendszerre igaz, ott ugyanis a 7,05 kW/70 min 10 s-os csökkenés után egy 9,94 kW/70 min 20 s-os növekedés következett, ami sokkal nagyobb meredekséget eredményezett a fenti diagramon. A gyorsabb változás oka az, hogy a vizsgált jelenség ideje alatt a besugárzási értékek a napfogyatkozástól függetlenül változtak. A folyamat befejeztével, amikor megszűnt az árnyékoló hatás, a Nap már magasabb pontján volt a pályájának, ennek az eredménye a termelés nagyobb mértékű növekedése.

## 2.4 Összehasonlítás egy felhős nappal – 2015. 03. 29.

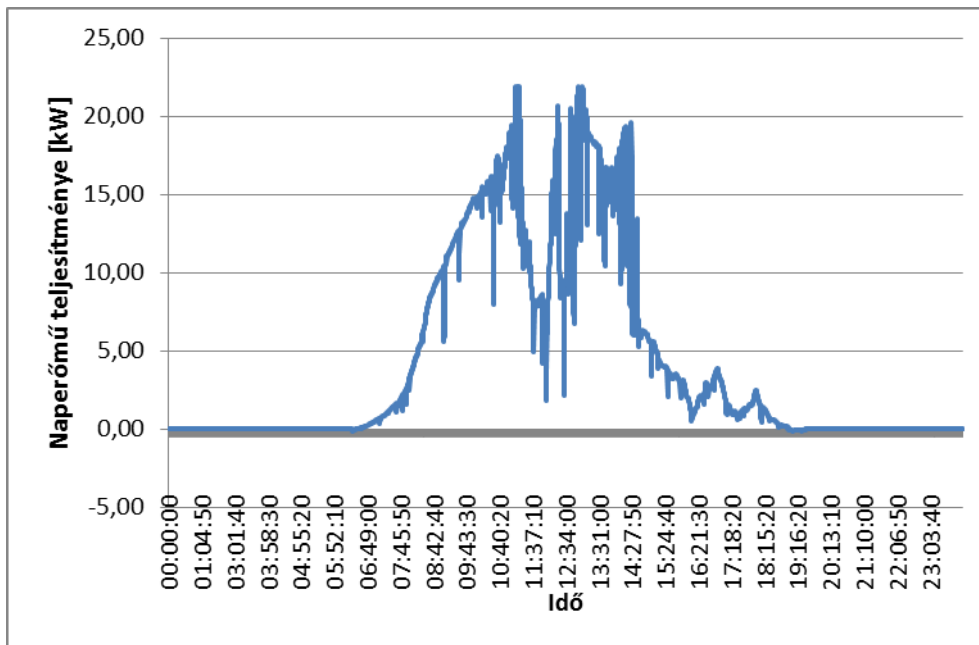
Az összehasonlításhoz a 2015. 03. 29-ei napot választottam. A megfelelő nap kiválasztásához több szempontot is figyelembe vettem. Elsősorban olyan napot kerestem, amely ugyanabban az évben és hónapban van, mint a részleges napfogyatkozás. Erre azért volt szükség, mert a napelem termelése jelentősen függ a vizsgált évszaktól. Ezen kívül a klímaváltozás miatt évről évre kismértékben változik az éghajlat, emiatt a vizsgált év is azonos kell, hogy legyen. Ezek figyelembe vételével a lehetőségek száma jelentősen leszűkült. Ezután a teljesítménygörbék alapján figyeltem meg a napokat. Fő szempont volt a teljesítménydiagramok hasonló szakaszában végbemenő teljesítménycsökkenés. A gradiens mértékének hasonlóságát számszerűen csak a kiválasztás után vizsgáltam meg.

### 2.4.1 Teljesítmények és gradiens

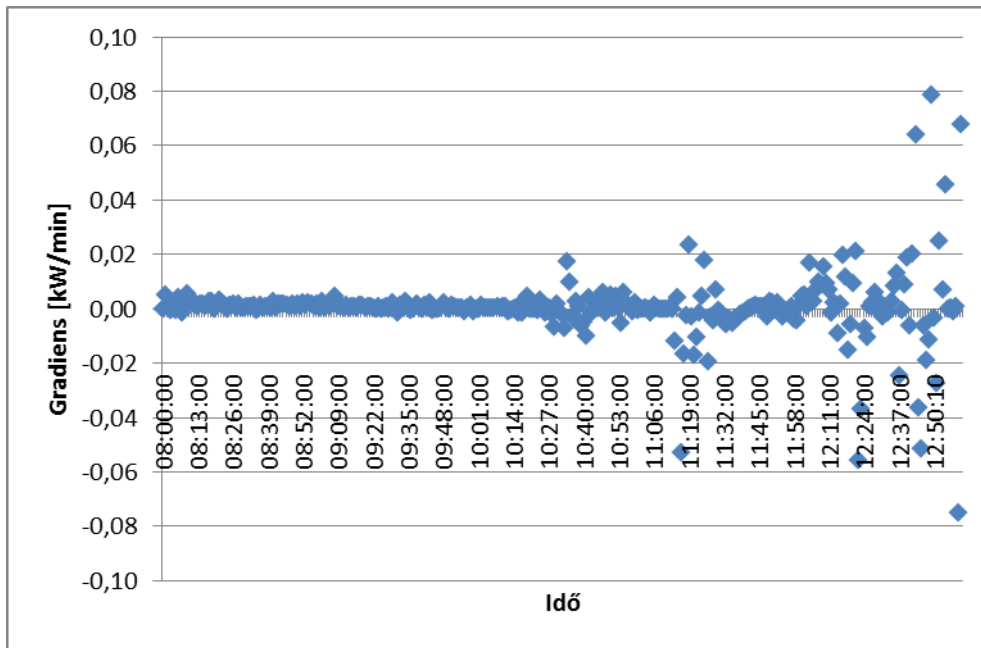
A felhős napot a következő diagramok jellemzik:



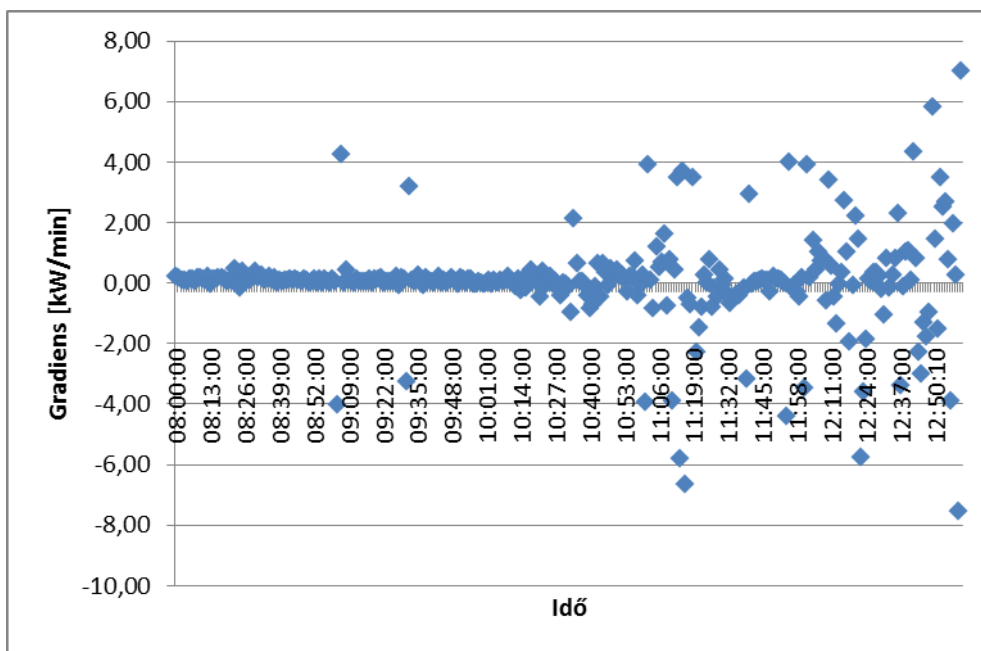
30. ábra: Az (1) rendszer által termelt teljesítmény 03.29-én



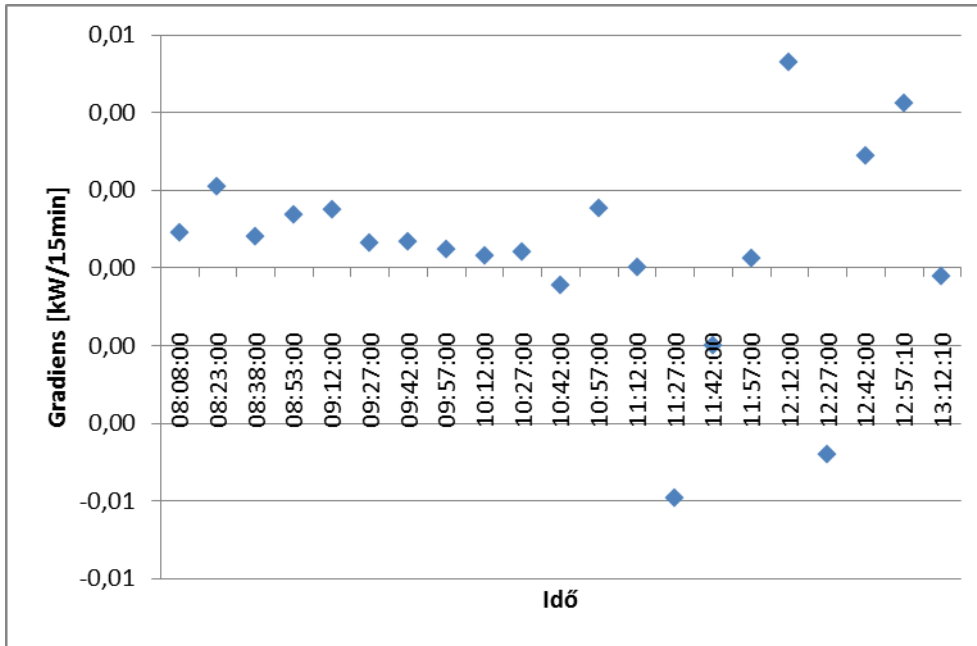
31. ábra: A (2)-es rendszer által termelt teljesítmény 03.29-én



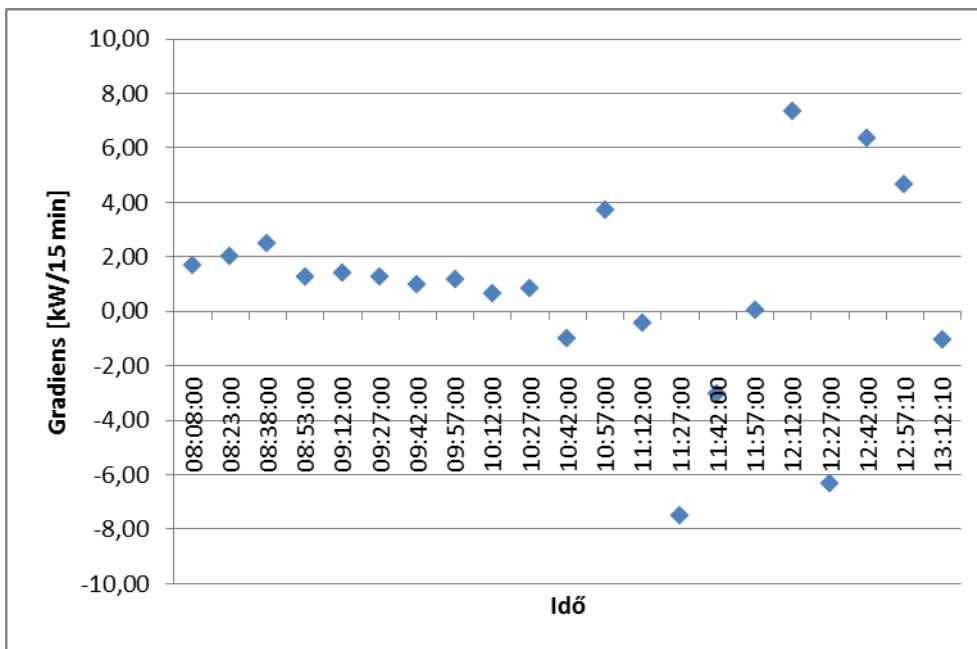
32. ábra: (1) rendszer teljesítménygradiense [kW/min] 8:00-13:00 időintervallum alatt



33. ábra: (2)-es rendszer teljesítménygradiense [kW/min] ] 8:00-13:00 időintervallum alatt



34. ábra: (1)-es rendszer teljesítménygradiense [kW/15min] 8:08-13:12 időintervallum alatt



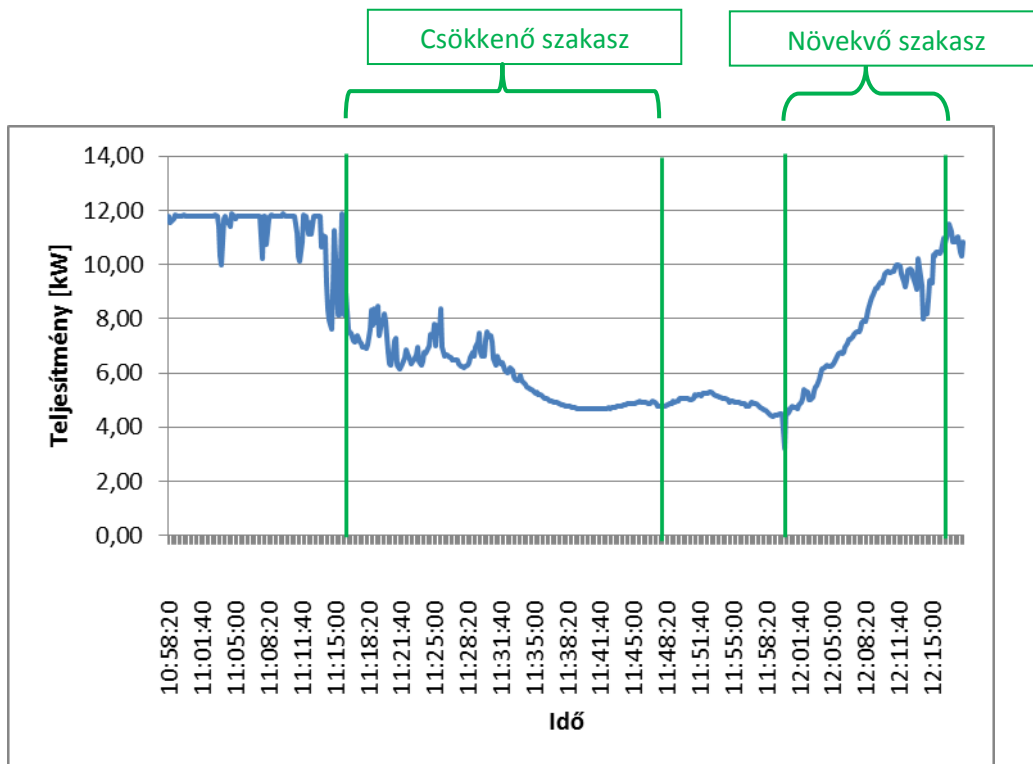
35. ábra: (2)-es rendszer teljesítménygradiense [kW/15min] 8:08-13:12 időintervallum alatt

A felhős nap teljesítményváltozását szintén egy csökkenő és egy növekvő szakasz vizsgálatával elemeztem:

**4. táblázat:** Gradiensértékek a felhős nap vizsgált csökkenő és növekvő szakaszában

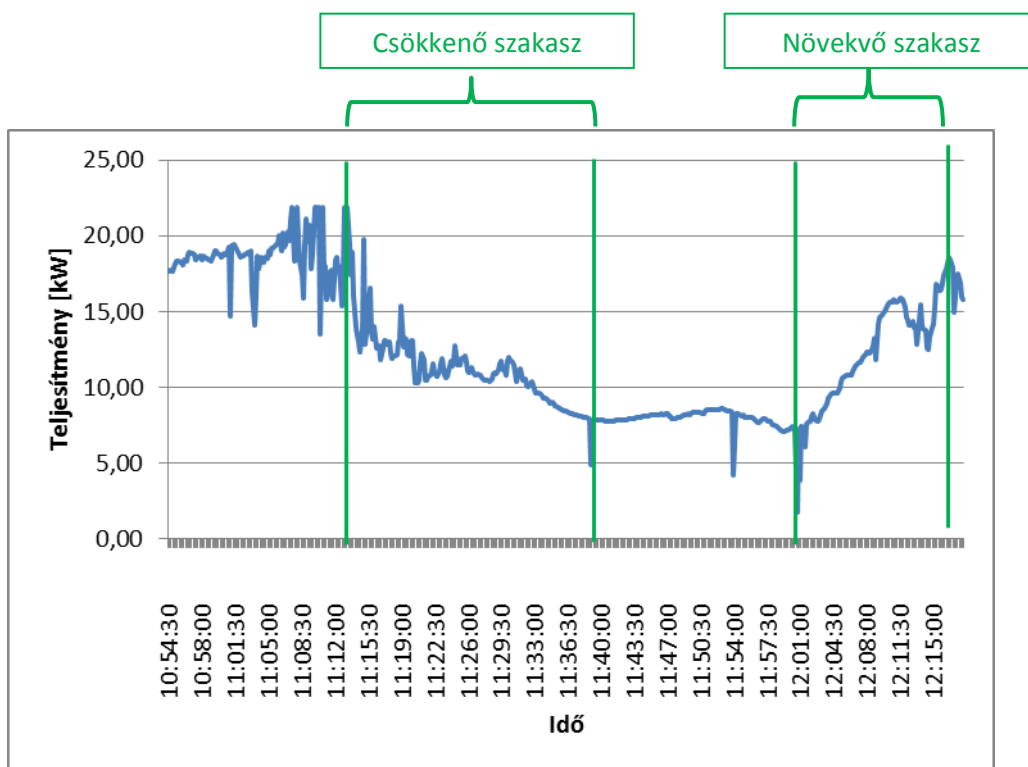
Időszak	Csökkenő szakasz	Gradiens értéke	Növekvő szakasz	Gradiens értéke
<b>(1) naperómű</b>	11:15:40-11:46:40	-6,99 kW/31 min	12:00:10-12:16:40	8,3 kW/16 min 30 s
<b>(2) naperómű</b>	11:13:00-11:39:00	-16,98 kW/26 min	12:00:40-12:16:40	16,75 kW/16 min

Az (1)-es naperómű esetében a teljesítménycsökkenés 11,86 kW-ról 4,87 kW-ra 31 perc alatt következett be, mely -6,99 kW/31 perces gradiens értéket eredményezett. A teljesítmény növekedését egy közel konstans szakasz után számoltam, ami az ábrán is látszik. Ezért a kezdeti minimumérték nem 4,87 kW, hanem 3,2 kW, mely 16 perc 30 s után 11,5 kW-ra emelkedik. Így a gradiens értéke a növekvő szakaszban 8,3 kW/16 min 30 s.



**36. ábra:** (1) naperómű teljesítménye a vizsgált időszakban

A másik naperóműnél a csökkenő szakaszban a teljesítmény 21,88 kW-ról 4,9 kW-ra csökken, ami -16,98 kW/26 perces gradiensértéket eredményezett. A növekvő szakasz esetében a vizsgált szakasz kezdete szintén későbbre tehető a köztes szakasz kismértékű teljesítményváltozásai miatt. Itt 1,8 kW-ról emelkedik a teljesítmény 18,55 kW-ra, így a teljesítménygradiens 16,75 kW/16 min.



37. ábra: (2) naperőmű teljesítmény a vizsgált időszakban

#### 2.4.2 A napfogyatkozásra és a felhős napra vonatkozó teljesítménygradiensek összehasonlítása

Különbség a napfogyatkozáshoz képest, hogy a felhős napon rövidebb idejű a teljesítményváltozás. A napfogyatkozás teljesítménycsökkenése és növekedése egyaránt több mint egy órán át tartott. Ezzel szemben a kiválasztott felhős nap során a csökkenő szakaszok fél órácsak, a növekvő szakaszok negyed órácsak voltak.

A teljesítményváltozás mértékét megvizsgálva a csökkenő szakaszban elmondható, hogy a napfogyatkozás során a két naperőmű százalékos teljesítménycsökkenése közel azonos volt. A csökkenő szakaszban napfogyatkozáskor a kezdeti értékhez képest az (1)-es rendszernél 52,4%-os, míg a (2)-esnél 51,5%-os a teljesítményváltozás. Felhős nap esetén viszont sokkal nagyobb volt a (2)-es naperőmű teljesítményváltozása, mint az (1)-esé: a csökkenés kezdetétől a minimumig megvizsgálva a teljesítmény változását, az (1)-es rendszernél 58,94%-os, a (2)-esnél 77,61%-os értékek adódtak. A nagy különbség fő oka az, hogy a (2)-es rendszernek nagyobb a beépített teljesítménye, és ezáltal nagyobb teljesítményértékről indul.

További különbség a napfogyatkozáshoz képest, hogy a felhős nap folyamán sokkal nagyobbak voltak a teljesítményváltozások.

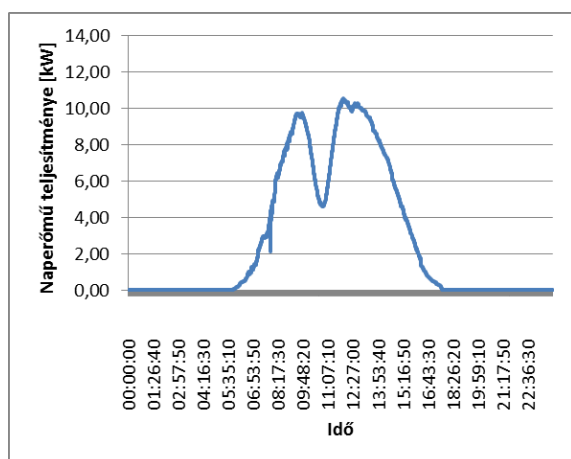
Ezek alapján elmondható, hogy a felhős időjárás miatt a napelemek teljesítménye gyorsabban és nagyobb mértékben változott a vizsgált napon, mint napfogyatkozáskor.

**5. táblázat:** Gradiensértékek összehasonlítása a vizsgált két napon

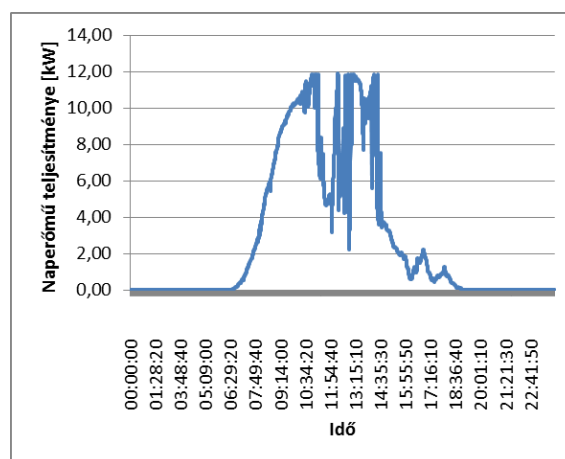
	Időszak	Csökkenő szakasz	Gradiens értéke	Növekvő szakasz	Gradiens értéke
Napfogyatkozás	(1) naperőmű	9:39:20-10:50:20	-5,08 kW/71 min	10:50:20-11:59:50	5,79 kW/69 min 30 s
	(2) naperőmű	9:39:20-10:49:30	-7,05 kW/70 min 10 s	10:49:30-11:59:50	9,94 kW/70 min 20 s
Felhős nap	(1) naperőmű	11:15:40-11:46:40	-6,99 kW/31 min	12:00:10-12:16:40	8,3 kW/16 min 30 s
	(2) naperőmű	11:13:00-11:39:00	-16,98 kW/26 min	12:00:40-12:16:40	16,75 kW/16 min

### 2.4.3 Szórt és direkt sugárzás összevetése a két nap vizsgált időszakában

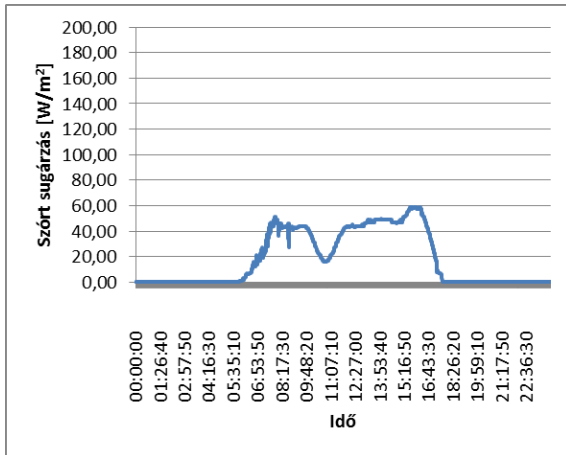
Az alábbi diagramokon látható, hogy a szórt sugárzás a részleges napfogyatkozáskor sokkal kisebb értékű volt, mint 03. 29-én. A maximum a napfogyatkozáskor  $59 \text{ W/m}^2$ , míg a felhős napon  $192 \text{ W/m}^2$  volt, ami 3,25-szörös eltérést jelent. Ennek oka, hogy felhős idő esetén jobban szóródnak a napsugarak, illetve a felhők miatt egy részük el is nyelődik. A részleges napfogyatkozáskor azonban a Hold árnyékának egy része vetül a Földre, ami nagyobb hatással van a szórt sugárzásra. Megfigyelhető a diagramokon, hogy a részleges napfogyatkozás és a felhős nap esetén a szórt sugárzás nagysága közel azonos mértékben változik, majd később, a napfogyatkozás és a felhős égbolt hatására tér el egymástól. Teljes napfogyatkozás esetén a különbség még szembetűnőbb lenne, hiszen ilyenkor a globális sugárzás, tehát a direkt és a szórt sugárzás is gyakorlatilag nullára csökkenne.



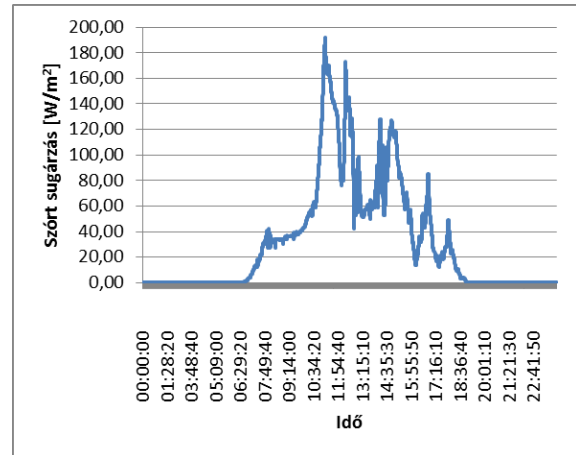
**38. ábra:** (1) naperőmű teljesítménye 03.20-án



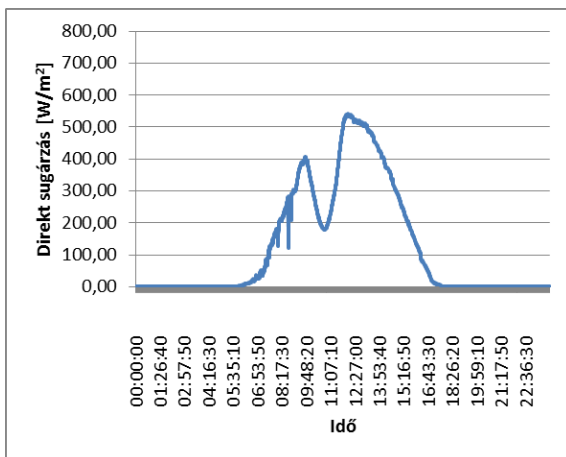
**39. ábra:** (1) naperőmű teljesítménye 03.29-én



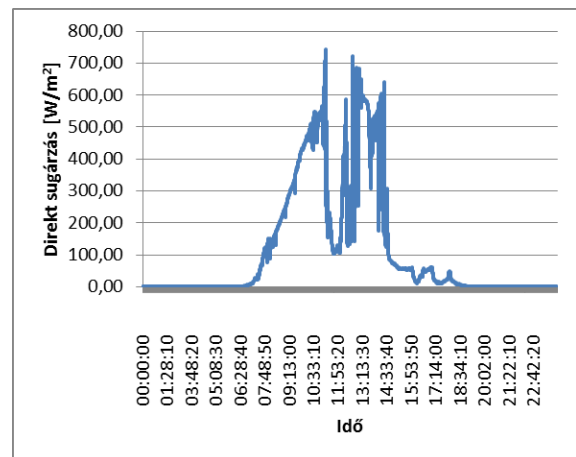
40. ábra: Szórt sugárzás 03. 20-án



41. ábra: Szórt sugárzás 03. 29-én



42. ábra: Direkt sugárzás 03. 20-án



43. ábra: Direkt sugárzás 03. 29-én

Megfigyelhető az is, hogy a felhős nap során néhány perccel később változik teljesítmény a direkt sugárzás változásának hatására. Ezzel szemben a részleges napfogyatkozáskor szinte percre pontosan követi a direkt sugárzás változását a teljesítmény alakulása.

A késleltetés számszerűsítéséhez a teljesítményértékek és a sugárzási értékek – napfogyatkozás miatti – minimumát vizsgáltam meg. Ahogy az a táblázatban is látható, a direkt és a szórt sugárzás ugyanazt a minimumértéket hosszabb ideig is tartja.

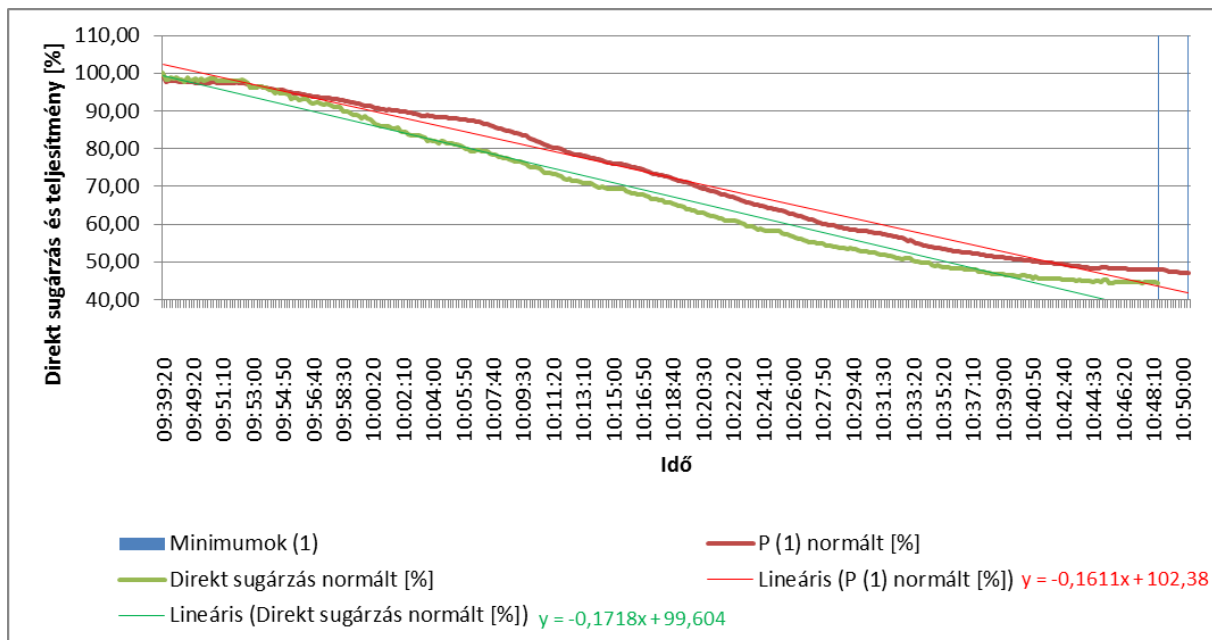
A napfogyatkozás időtartama alatt a következő minimumértékek adódtak:



**6. táblázat:** Minimumértékek időpontja a napfogyatkozáskor

(1) naperőmű minimuma	10:50:20
(2) naperőmű minimuma	10:49:30
Direkt sugárzás minimuma	10:48:30-10:50:30
Szórt sugárzás minimuma	10:45:50-10:52:40

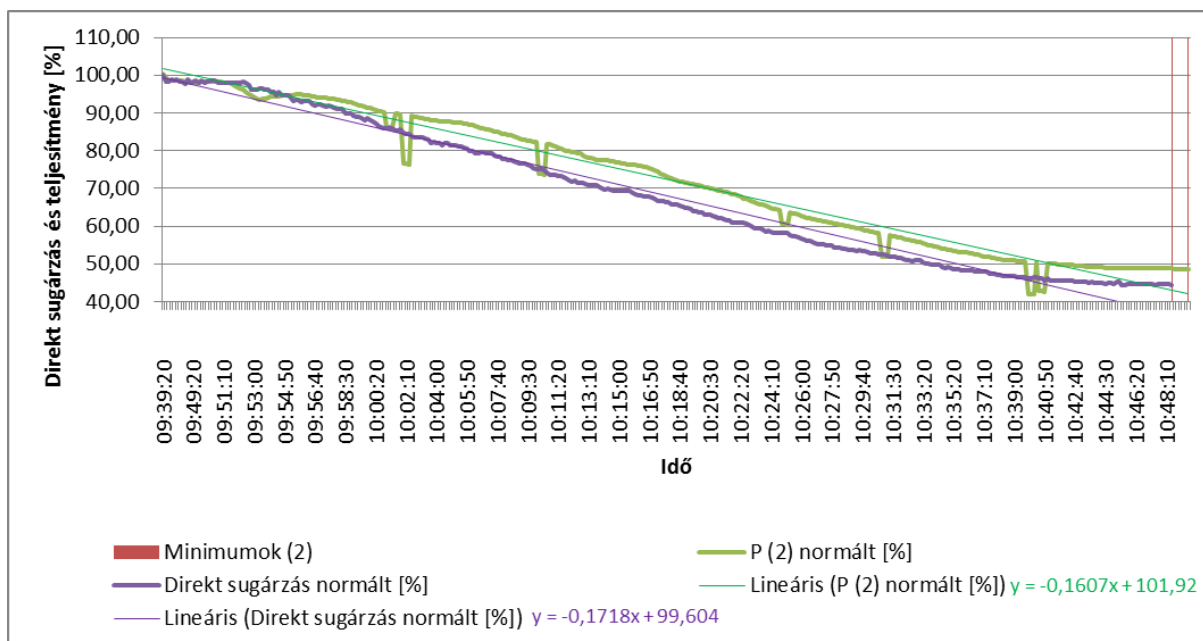
Ezek alapján a napfogyatkozás során az (1)-es naperőmű teljesítménye a szórt sugárzás minimuma után 5 perccel, a direkt sugárzás minimuma után pedig közel 2 perccel lesz a legkisebb értékű. A (2)-es naperőműnél ezek az értékek még kisebbek, 4 perc és 1 perc.



**44. ábra:** Késleltetés bemutatása az (1)-es naperőműnél

Maximumok közti különbség a napfogyatkozás előtt (9:37:20 és 9:37:30):  $\Delta t_1=10$  s

Minimumok közti különbség a napfogyatkozáskor (10:48:30 és 10:50:20):  $\Delta t_2=1$  perc 50 s



**45. ábra:** Késleltetés bemutatása az (2)-es naperőműnél

Maximumok közti különbség a napfogyatkozás előtt (9:37:20 és 9:39:00):  $\Delta t_1 = 1$  perc 40 s

Minimumok közti különbség a napfogyatkozáskor (10:48:30 és 10:49:30):  $\Delta t_2 = 1$  perc

A 03. 29-ei felhős napon a következő minimumértékek adódtak:

**7. táblázat:** Minimumértékek a felhős napon

<b>(1) naperőmű minimuma</b>	11:46:40
<b>(2) naperőmű minimuma</b>	11:39:00
<b>Direkt sugárzás minimuma</b>	11:40:50
<b>Szórt sugárzás minimuma</b>	12:07:40

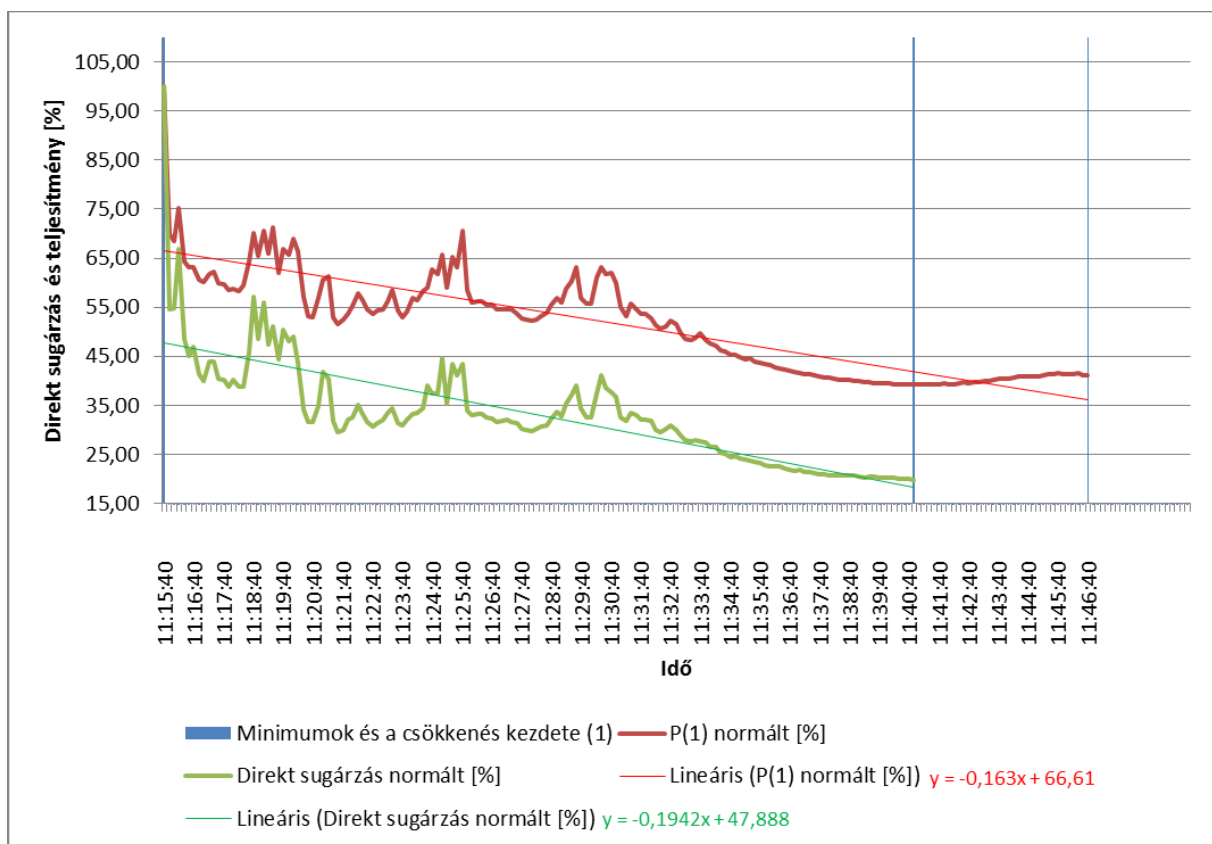
A táblázatban a szórt és a direkt sugárzásnál azért nem egy intervallum van megadva, mint az előbbi esetben, mert ezen a felhős napon nem volt olyan hosszabb időtartam, amikor a minimum huzamosabb ideig fennállt volna. Ennek oka a felhős, változékony időjárás volt.

Az eredményekből látható, hogy a direkt sugárzás és az (1) naperőmű teljesítményminimuma közötti különbség 5 perc 50 s. Ez a késleltetés nagyobb, mint amit a napfogyatkozás esetében számoltam (1 perc 50 s).

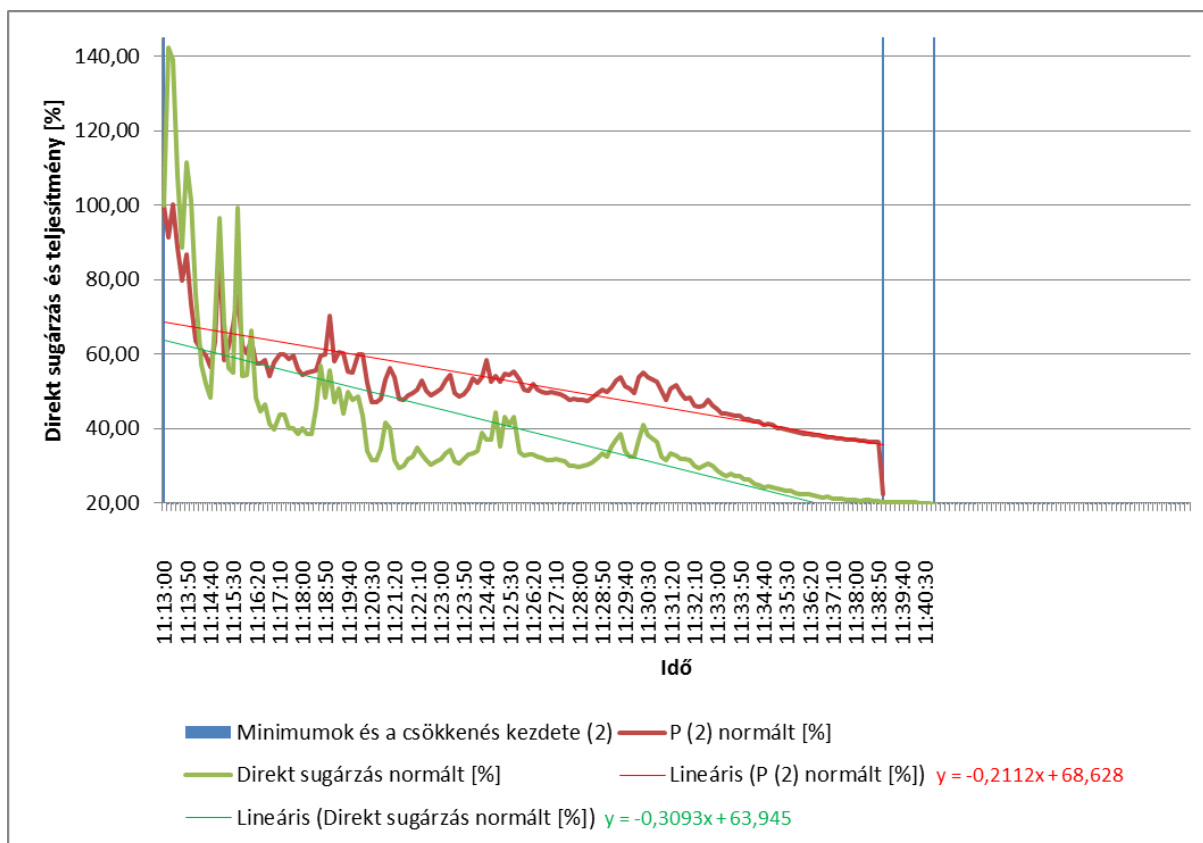
A (2)-es naperőmű teljesítményminimuma és a direkt sugárzás minimuma közti különbség 1 perc 50 s. Ez az érték hasonló a napfogyatkozáskor tapasztaltnak (1 perc).

A felhős nap szórt sugárzási diagramjából is kivehető, hogy kevésbé hasonlít a teljesítmény és a direkt sugárzás görbéjének alakulásához. A szórt sugárzás minimuma később következik be, mint a teljesítményértékek legkisebb értéke. Abban az időpontban, amikor a direkt sugárzásnak minimuma volt, akkor a szórt sugárzás értéke  $142 \text{ W/m}^2$  volt, ami 1,87-szerese a  $76 \text{ W/m}^2$ -es, később bekövetkező minimumának.

Ezek alapján elmondható, hogy felhős idő esetén a direkt sugárzást jobban követi a termelés, de nagyobb késéssel, mint a napfogyatkozásor. Az 46. és 47. ábrákon a direkt sugárzás és a termelés viszonyát és időbeli eltérését szemléltetem 03. 29-én, kihagyva a szórt sugárzás elemzését, ami a fenti okok miatt nem vezetne eredményre.



46. ábra: Késleltetés bemutatása az (1)-es naperőműnél

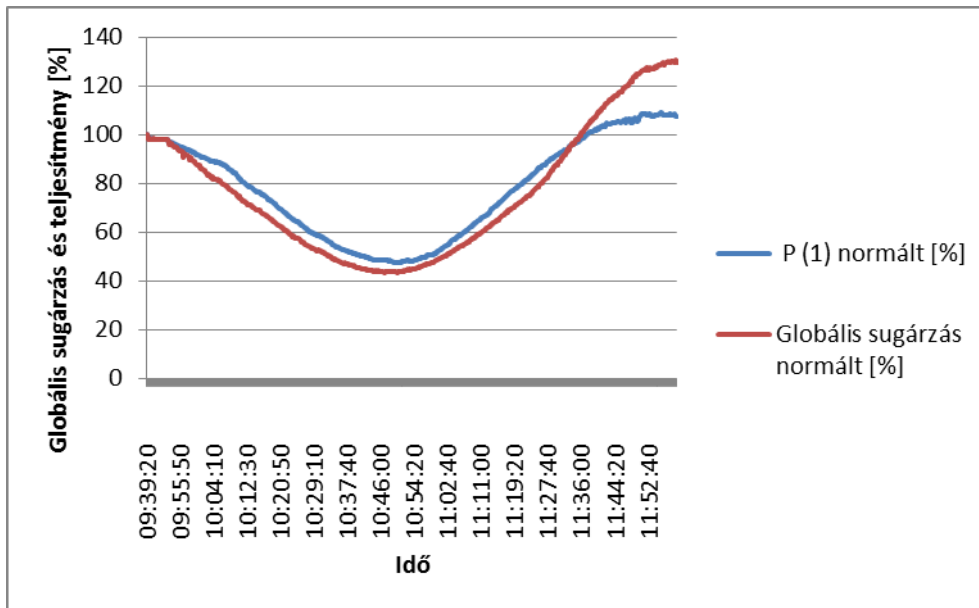


47. ábra: Késleltetés bemutatása az (2)-es naperőműnél

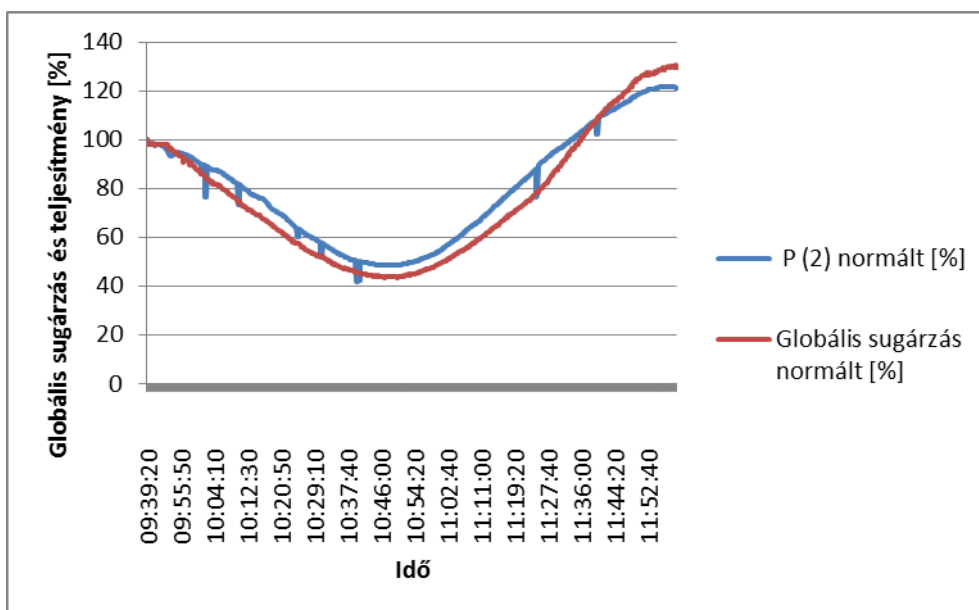
#### 2.4.4 Globális sugárzás vizsgálata

A globális sugárzás elemzésének a célja, hogy megvizsgáljuk, hogy a felhős nap esetén a szórt sugárzás tudja-e kompenzálni a kieső direkt sugárzási részarányt. Mint korábban már ismerttettem, napfogyatkozáskor a direkt sugárzás gyorsan elkezdi csökkenni, ezt a változást pedig követi a napelem teljesítménye is. Viszont a felhős napon a szórt sugárzás értéke kevésbé csökken le.

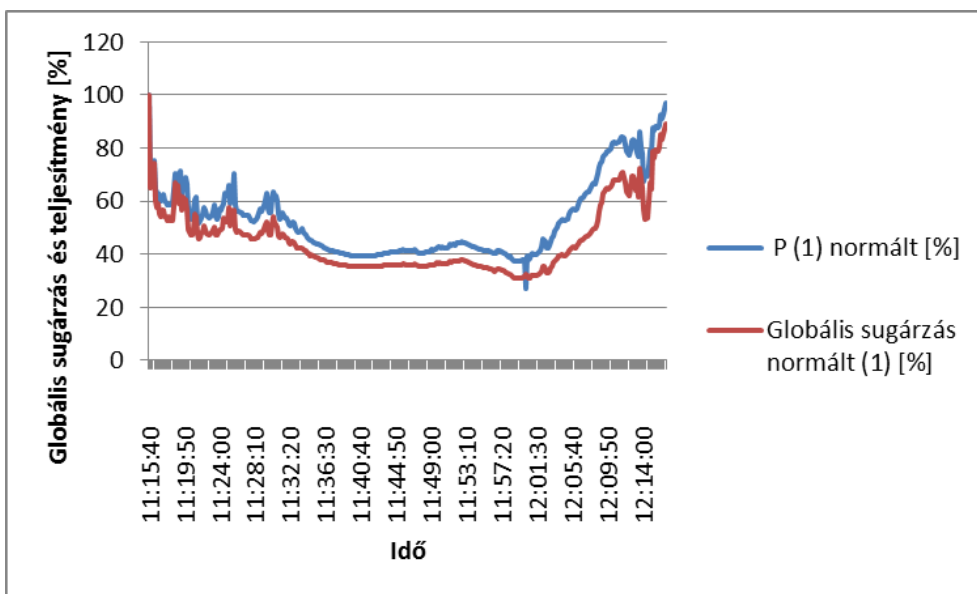
A direkt és a szórt sugárzási mérőszámok összege a globális sugárzás. Feltételezve, hogy a napelem azonos hatásfokkal hasznosítja a direkt és a szórt sugárzást, összevethetjük a kettő mutató összegét a termeléssel. A 48.-53. ábrákon a globális sugárzásnak és a teljesítménynek a csökkenés kezdetéhez viszonyított értékei szerepelnek. Megjelenítettem továbbá egy-egy ábrán a három sugárzástípusát is.



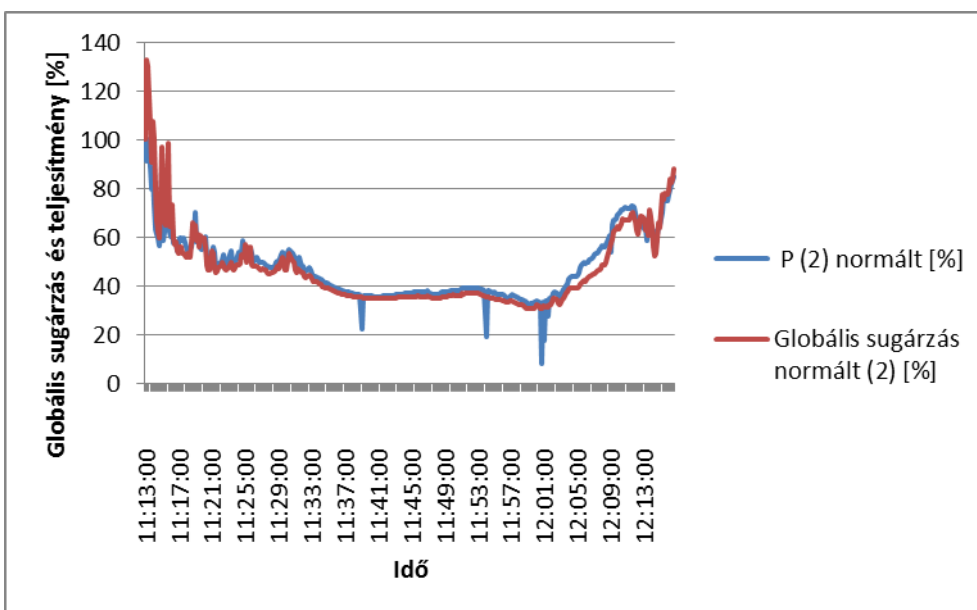
48. ábra: Globális sugárzás és az (1)-es naperőmű teljesítménye napfogyatkozáskor



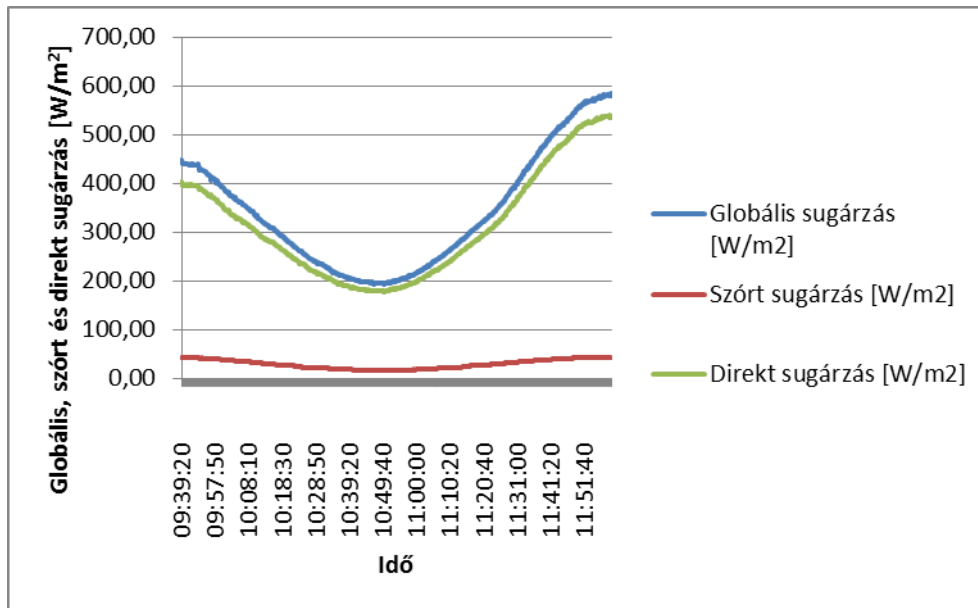
49. ábra: Globális sugárzás és a (2)-es naperőmű teljesítménye napfogyatkozáskor



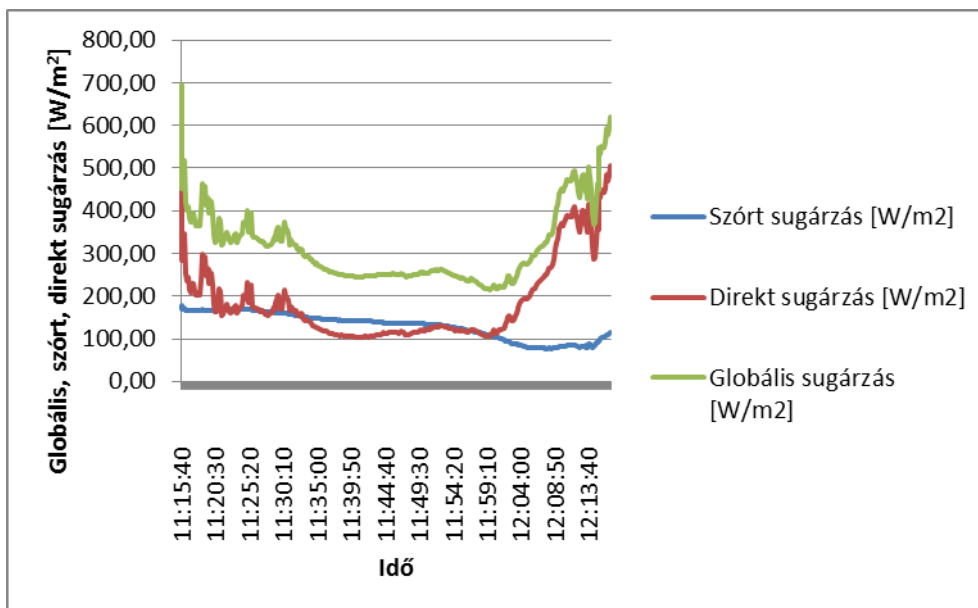
50. ábra Globális sugárzás és az (1)-es naperőmű teljesítménye a felhős nap vizsgált időtartama alatt



51. ábra: Globális sugárzás és a (2)-es naperőmű teljesítménye a felhős nap vizsgált időtartama alatt



52. ábra: A három sugárzási mérőszám ábrázolása a napfogyatkozás alatt



53. ábra: A három sugárzási mérőszám ábrázolása a felhős nap vizsgált időtartama alatt

Az ábrák alapján elmondható, hogy a globális sugárzás és a teljesítmény százalékos értékei közel azonosan változnak, különösen jól korrelálnak az adatsorok a felhős nap esetén a (2)-es naperőműnél. A három sugárzási fajtát összevetve azt a következtetést lehet levonni, hogy a szórt sugárzás mindkét esetben sokkal kisebb változást mutat, mint a direkt sugárzás. Mivel azonban a felhős nap során a szórt sugárzás értéke sokkal nagyobb volt, a globális sugárzás kezdeti-, minimum- és végértéke (a vizsgált időtartam végén mért értéke) is nagyobb volt a felhős napon. A magasabb értékű globális sugárzás miatt a teljesítményértékek kezdeti- és a vizsgált időtartamra vonatkozó

végértéke is nagyobb volt a felhős nap során. A (2)-es naperőmű esetében a kiugró adatok figyelembe vétele nélkül a teljesítmény kevésbé csökken le (8 kW körül ingadozik). Ezzel szemben a napfogyatkozásnál a (2)-es naperőműnek 6,64 kW-os minimuma van.

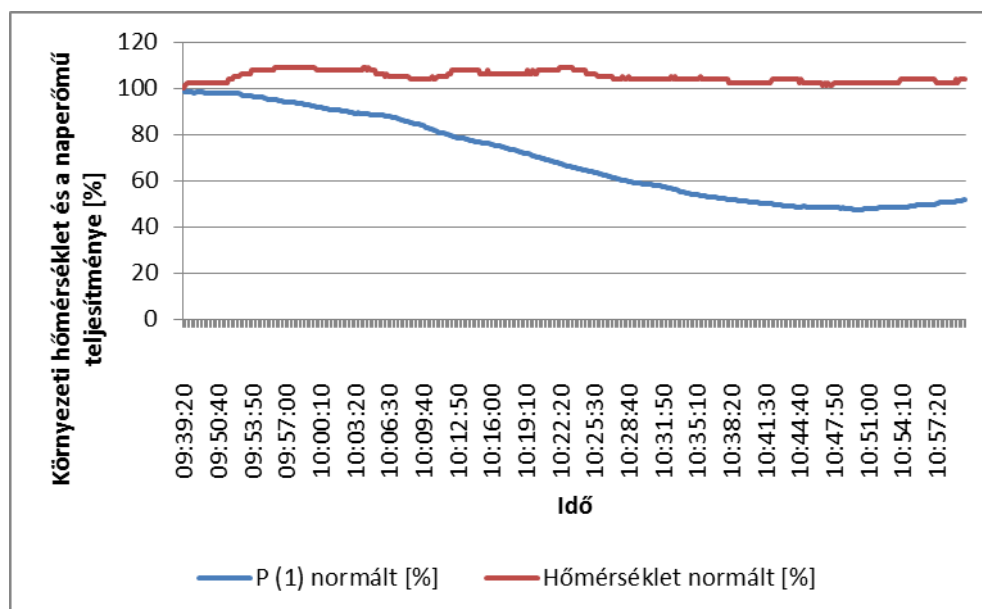
#### 2.4.5 Hőmérsékleti adatok vizsgálata

A hőmérséklet vizsgálata azért fontos, mert ez az időjárási tényező a napelemek termelését szintén befolyásolja. A külső hőmérséklet és a termelés közti kapcsolat erősségét korrelációs számításal számszerűsítettem, a hőmérséklet és a termelés változását az adott időszak alatt pedig diagramon szemléltettem.

**8. táblázat:** Korrelációs együtthatók a naperőművek termelése és a külső hőmérséklet között

Korreláció az (1)-es naperőmű termelése és a külső hőmérséklet között	0,712328
Korreláció a (2)-es naperőmű termelése és a külső hőmérséklet között	0,729357

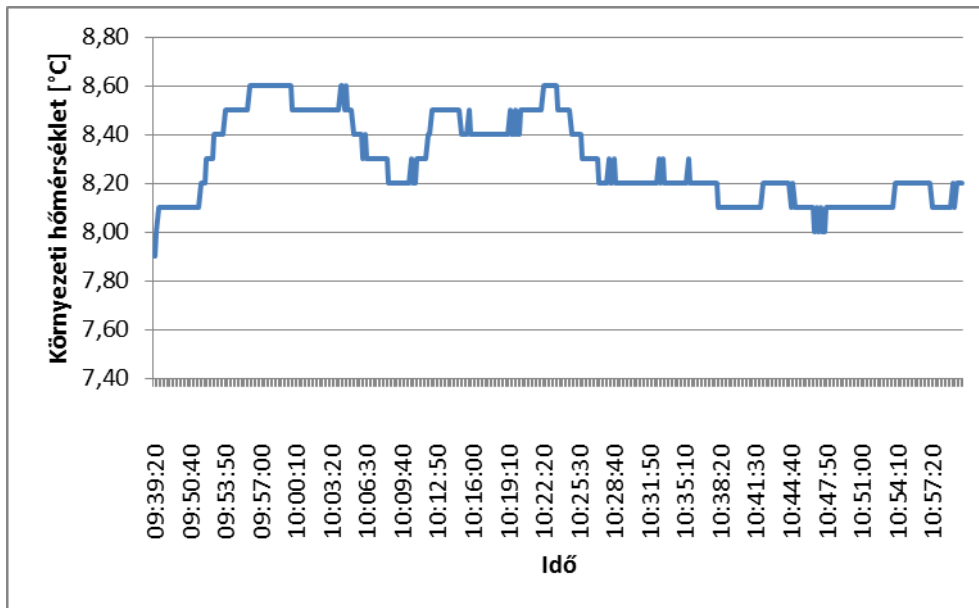
A korrelációs együtthatók értékei 8. táblázatban sokkal kisebbek, mint a 2. táblázatban található korrelációs értékek a sugárzások vizsgálatánál. Tehát a kapott eredményekből látszik, hogy a külső hőmérséklet napelemek termelésére gyakorolt hatása a vizsgált napon sokkal kisebb.



**54. ábra:** A környezeti hőmérséklet és az (1)-es rendszer teljesítménye [%] a napfogyatkozás csökkenő szakaszában

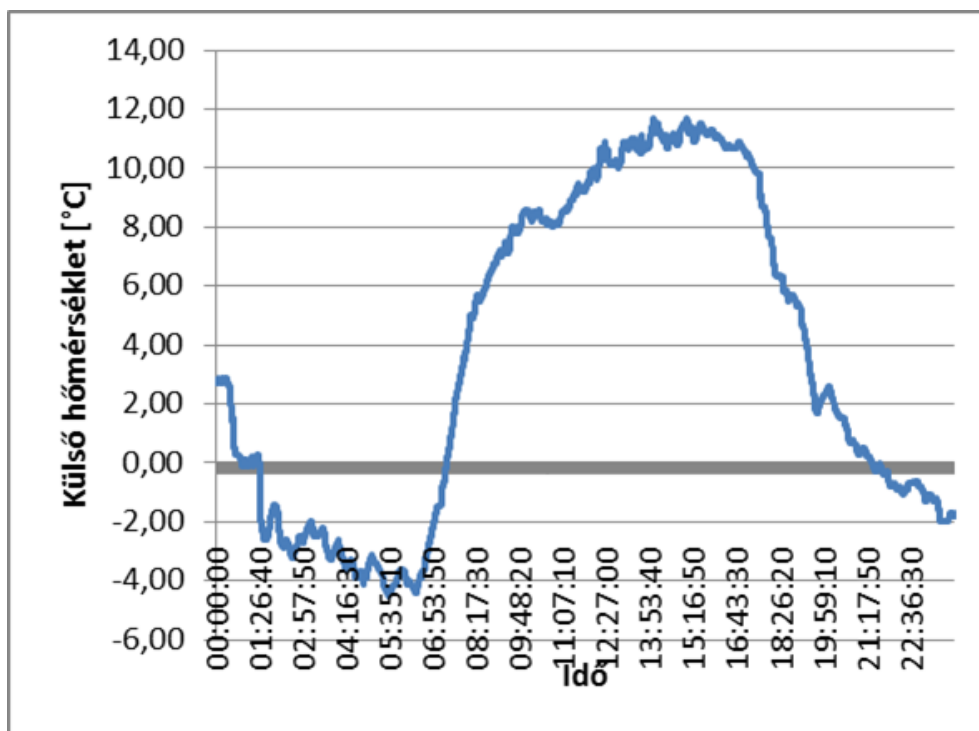
Az 54. ábrán látható, hogy a napfogyatkozás időtartama alatt a környezeti hőmérséklet alig mutatott változást.



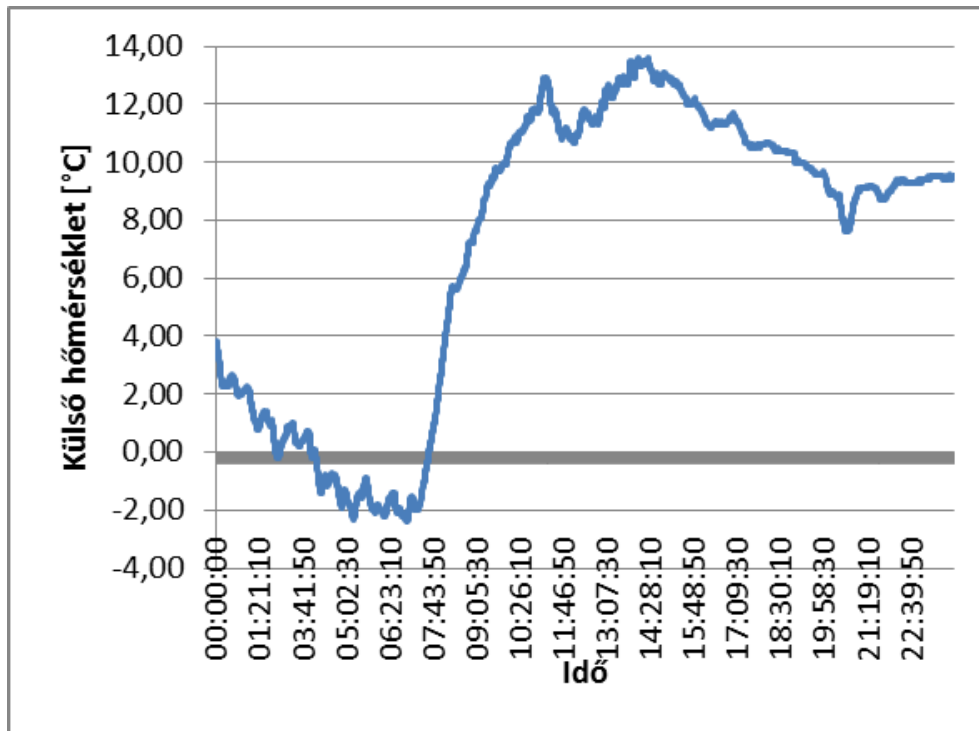


55. ábra: Környezeti hőmérséklet [°C] a napfogyatkozás csökkenő szakaszában

Az 55. ábra szemlélteti a külső hőmérséklet ingadozását a napfogyatkozás csökkenő szakaszában, ami kismértékűnek tekinthető, a legnagyobb hőmérsékletérték 8,6 °C, a legkisebb pedig 7,9 °C.



56. ábra: Külső hőmérséklet 03.20-án



**57. ábra:** Külső hőmérséklet 03.29-én

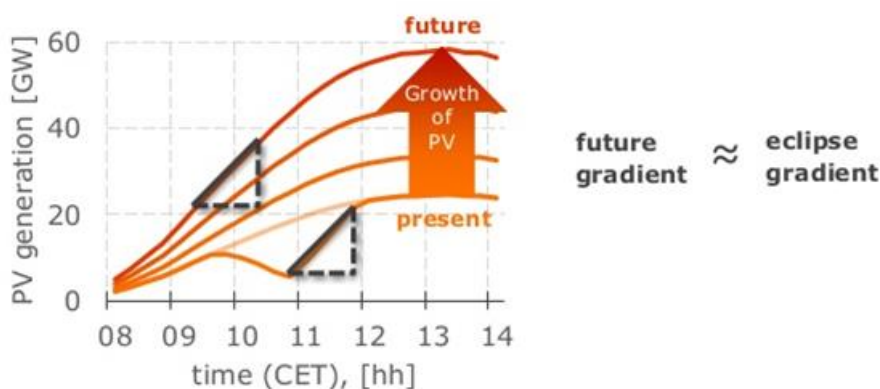
A napfogyatkozás napján mért hőmérsékletértékeket a felhős nappal összevetve az 56. és az 57. ábra szemlélteti. Az ábrákról leolvasható, hogy a napfogyatkozás napján sokkal kisebb hőmérsékletváltozást okozott az árnyékhatás, mint a felhős napon.

Tehát összességében elmondható, hogy a külső hőmérséklet nem befolyásolta érdemben a napfogyatkozás alatt a termelést.

### 3 Konklúzió

Az ENTSO-E tagországainak együttműködése révén a 2015. 03. 20-ai napfogyatkozás hatásait rendkívül jól kezelték a rendszerirányítók. Az esemény lehetőséget adott arra, hogy tapasztalatokat gyűjtsenek a szakemberek a jövőre nézve. A megszerzett tudás nemcsak a rendszerirányítók, hanem a többi villamosenergia-piaci résztvevő számára is hasznosnak bizonyul. A következő napfogyatkozásokra való felkészülést a tapasztalatok és a levont következtetések nagyban megkönnyítik.

Azonban a napelem telepek számának növekedése miatt várható gradiensnövekedés számos kérdést vet fel. A [10] tanulmány szerint a jövőben normál időjárási körülmények közt tapasztalt gradiens az ideai napfogyatkozás gradiensével közel azonos mértékű lesz. A prognózis azért jelent kihívást számos országban, mert a PV teljesítmény gyorsabb változásához az erőműveknek alkalmazkodniuk kell. Az 58. ábra azt szemlélteti, hogy a maximális órás gradiens értéke milyen mértékben változik egy átlagos, napos délelőttön, ha 60 GW-nál több beépített PV kapacitásunk van.



58. ábra: A jövőben várható gradiens növekedés [10]

A fóti Lovasterápiás Központ két naperőművének vizsgálata lehetőséget adott arra, hogy a jelenség napelemekre gyakorolt hatását közelebbről, konkrétan megfigyelhessem. Bár a két naperőmű közel egy földrajzi helyen található, valamint azonos típusú, a napfogyatkozás, és ezáltal a besugárzás nem ugyanolyan mértékben befolyásolta azok termelését.

A jövőben a napelemek számának növekedése miatt a PV termelés nyomon követése és vizsgálata fontos követelmény lesz a villamosenergia-rendszer stabilitásának érdekében. Ehhez az adatok megfelelő gyűjtésére, továbbítására, tárolására és feldolgozására van szükség. Ezt biztosítja a fóti Élhető Jövő Parkhoz kapcsolódó SCADA rendszer. A rendszerből kiexportált adatok segítségével végeztem elemzéseimet, melyeknek nagy része a sugárzási mérőszámok (globális, direkt és szórt sugárzás) vizsgálata volt. Az eredmények alapján a szórt sugárzás kevésbé korrelált a termeléssel, és

kisebb mértékben követte a termelési görbéket. A teljesítmény változása a direkt és a globális sugárzás görbéjéhez hasonlóan alakult.

A napfogyatkozáshoz hasonló körülményeket a felhők miatt lecsökkent PV teljesítmény teremt. Ezért a 03. 29-ei felhős nap vizsgálata lehetőséget adott arra, hogy megvizsgáljam, mi a különbség a napfogyatkozás és egy felhősebb időjárású nap között. A vizsgált felhős napon a direkt sugárzást jobban követte a termelés, de nagyobb késéssel, mint a napfogyatkozáskor. A felhős napon a szórt sugárzás változása szintén kevésbé hasonlított a teljesítmény és a direkt sugárzás görbéjének alakulásához. A teljesítménygradiens értéke a napfogyatkozáshoz képest nagyobb volt, és a teljesítmény értéke rövidebb idő alatt érte el a vizsgált szakaszban a minimumát és maximumát.

A globális sugárzást megvizsgálva arra szerettem volna választ kapni, hogy felhős nap esetén a szórt sugárzás tudja-e kompenzálni a kieső direkt sugárzási részarányt. A felhős napon a szórt sugárzás értéke kevésbé csökkent le. A szórt sugárzás a napfogyatkozáskor és a felhős napon is sokkal kisebb változást mutatott, mint a direkt sugárzás. Mivel azonban a felhős nap során a szórt sugárzás értéke sokkal nagyobb volt, a globális sugárzás kezdeti-, minimum- és végértéke (a vizsgált időtartam végén mért értéke) is nagyobb volt a felhős napon. A magasabb értékű globális sugárzás miatt a teljesítményértékek kezdeti- és a vizsgált időtartamra vonatkozó végértéke is nagyobb volt.

A korrelációs számítások és a készített diagramok alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a külső hőmérséklet nem befolyásolta érdemben a napfogyatkozás során a termelést.

A téma azért volt számomra nagyon érdekes, mert napjainkban a naperóművek egyre inkább meghatározzák az országok villamosenergia-rendszerét. Sztochasztikus viselkedésük miatt azonban különös körültekintéssel kell kezelni a PV rendszereket, fel kell készülni a váratlan vagy visszafordíthatatlan időjárási és természeti jelenségekre. A kutatásommal szerettem volna felhívni a figyelmet a naperóművek ma még extrém, a jövőben normál körülmények között fellépő viselkedésére egy aktuális, sokak által tapasztalt természeti esemény hatásainak bemutatásával.

## 4 Irodalomjegyzék

---

- [1] ENTSO-E: Solar Eclipse 2015-Impact Analysis- Report prepared by Regional Group Continental Europe and Synchronous Area Great Britain, 2015. 02. 19.
- [2] MAVIR sajtóközlemény: Pénteken napfogyatkozás, a MAVIR már felkészült, 2015. 03. 16.
- [3] Fiche Presse: Les effets de l'éclipse sur les réseaux de transport d'électricité, RTE
- [4] Nils-Viktor Sorge: Sonnenfinsternis macht Energiewirtschaft nervös; „Wir nähern uns dem Worst Case“, manager magazin, 2015. 03. 18.
- [5] Michael Fuhs, Sandra Enkhartd: Italy to switch off PV plants over 100 kW during solar eclipse, pv magazine, 2015. 03. 17.
- [6] Solar eclipse March 2015: The successful stress test of Europe's power grid- more ahead, Policy Brief, SolarPower Europe, ENTSO-E, 2015. 07. 15.
- [7] Agora Energiewende (2015): Die Sonnenfinsternis 2015: Vorschau auf das Stromsystem 2030. Herausforderungen für die Stromversorgung in Systemen mit hohen Anteilen an Wind-und Solarenergie., 2015. március
- [8] TransnetBW-Presseinformation: Sonnenfinsternis: TransnetBW hat „Stresstest“ bestanden, 2015. 03. 20.
- [9] Aymen Salah Abou El-Enien, EPEX SPOT: Flexibility is the Answer-European power exchange as a component of security of supply during the solar eclipse, 2015. 04. 30.
- [10] Dr.-Ing. Karsten Burges, Roman Sikora: Operating Power Systems with High PV Generation During a Solar Eclipse—Challenges and Operational Measures, ECOFYS, 2014. 11. 10.