

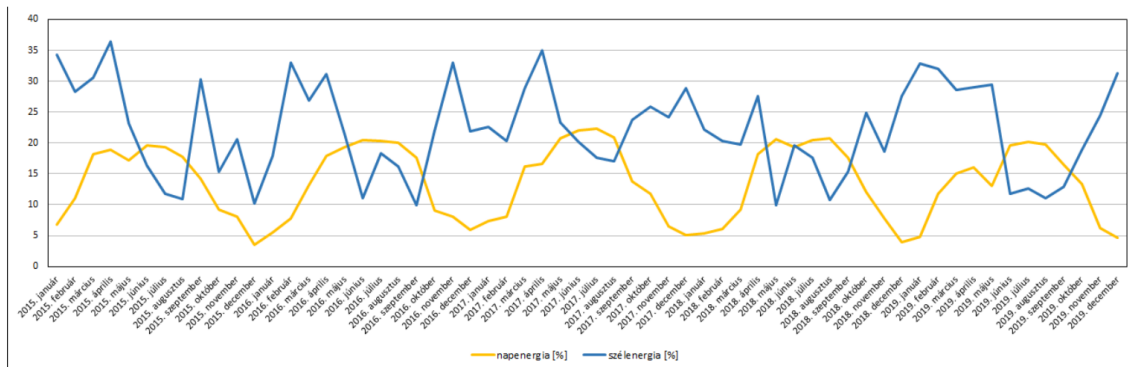
A szél- és napenergia együttes hasznosítása Magyarországon

2024.04.04.

Bármely energiarendszer esetében igaz az az állítás, hogy átlagos stabilitása és rugalmassága nő a hasznosított források számának növelésével. Magyarország energiaellátásának stabilitását erősíti a források diverzifikálása, különösen, ha hazai és ingyenesen rendelkezésre álló erőforrásokról beszélünk, mint a nap-, a szél-, a geotermikus vagy a biomassa/biogáz energia.

Az időjárásfüggő megújuló energiaforrások, vagyis a napenergia és a szélenergia hasznosítására is igaz a rendszerek stabilitására vonatkozó alapállítás: két hektikusan működő/termelő rendszer együttes, egymás melletti termelése csökkenti a szélsőséges értékek számát és mértékét, kiegyensúlyozza a kilengéseket, kiszámíthatóbb, tervezhetőbb rendszert, egyszerűbb és olcsóbb szabályozást eredményez.

A párhuzamos termelés, és az évszakos adottságok összehasonlíthatóságának érdekében öt éves időintervallumra (2015-2019) vonatkozóan megvizsgáltuk a magyar nap- és a szélenergiák kihasználtságát. A bemenő adatokat a MAVIR napi termelési adatai szolgáltatták. Az 1. ábrán havi bontásban tüntettük fel a naperőművek és szélenergiák kihasználtsági mutatóit.



1. ábra: Napelemek (sárga) és szélenergiák (kék) termelése Magyarországon a 2015-2019 közötti időszakban, napi termelési adatok alapján havi bontásban. A függőleges tengelyen a kapacitásfaktor látható, ami azt mutatja meg, hogy az erőművek a névleges teljesítménnyel elérhető maximális termelésük hány százalékát adják átlagosan az adott időintervallumban

Általános megállapítások

- A szélenergiák jobb kihasználtsággal működnek, mint a naperőművek, vagyis ugyanakkora beépített teljesítmény mellett a szélenergiák több energiát termelnek éves szinten
- A szélenergiák jellemzően a téli félévben szolgáltatnak több villamos energiát, szemben a naperőművek tavaszi-nyári csúcsaival
- A nap- és szélenergiák kihasználtsági mutatóinak havi összegei kisebb ingadozást mutatnak, mint külön-külön a két energiaforrásra vonatkozó havi értékek
- A szélenergiák adott hónapra (pl. december) vonatkozó kihasználtságának éves változékonysága nagyobb, mint a naperőműveké

A napelemparkok nyári napi átlagos kapacitásfaktora (kihasználtsága) jellemzően 15-20%, míg télen ez az érték 5-10%. A szélenergiák esetében a téli időszak a kedvezőbb, ekkor átlagosan

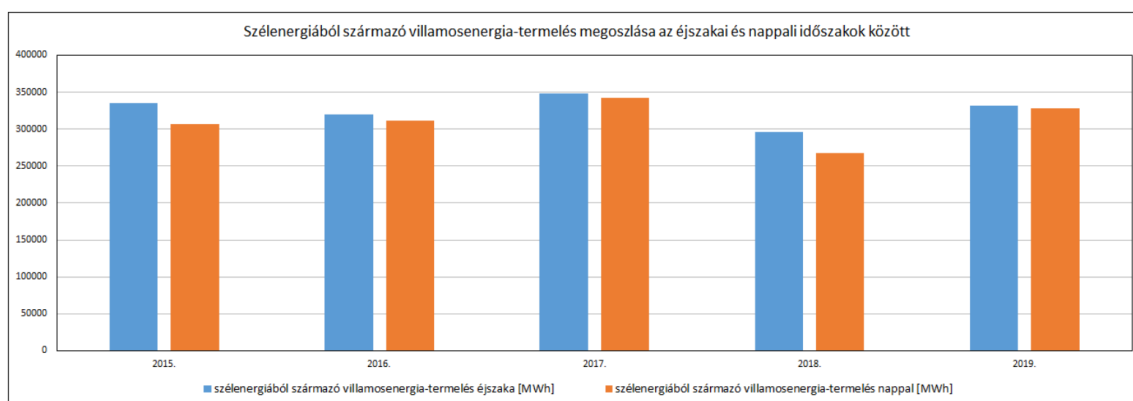


20-30% a kihasználtság (de gyakoriak a 70% feletti napi adatok is), míg a nyári időszakban jellemzően 15%-ot produkálnak (alkalmanként a 40%-ot is elérik). Az éves kapacitásfaktor a hazai naperőműveknél 14-15% körül, míg a szélerőműveknél 22-23% körül alakul.

Novembertől áprilisig jóval több a havi átlagban megtermelt szélenergia, mint nyáron. A nap- és szélerőművek együttes csúcshozama március-áprilisban várható, amikor a szélerőművek még átlag fölött termelnek, míg a sok napsütéses órának és a hatásfok szempontjából fontos alacsonyabb léghőmérsékletnek köszönhetően a napelemek is kiemelkedően jól termelnek.

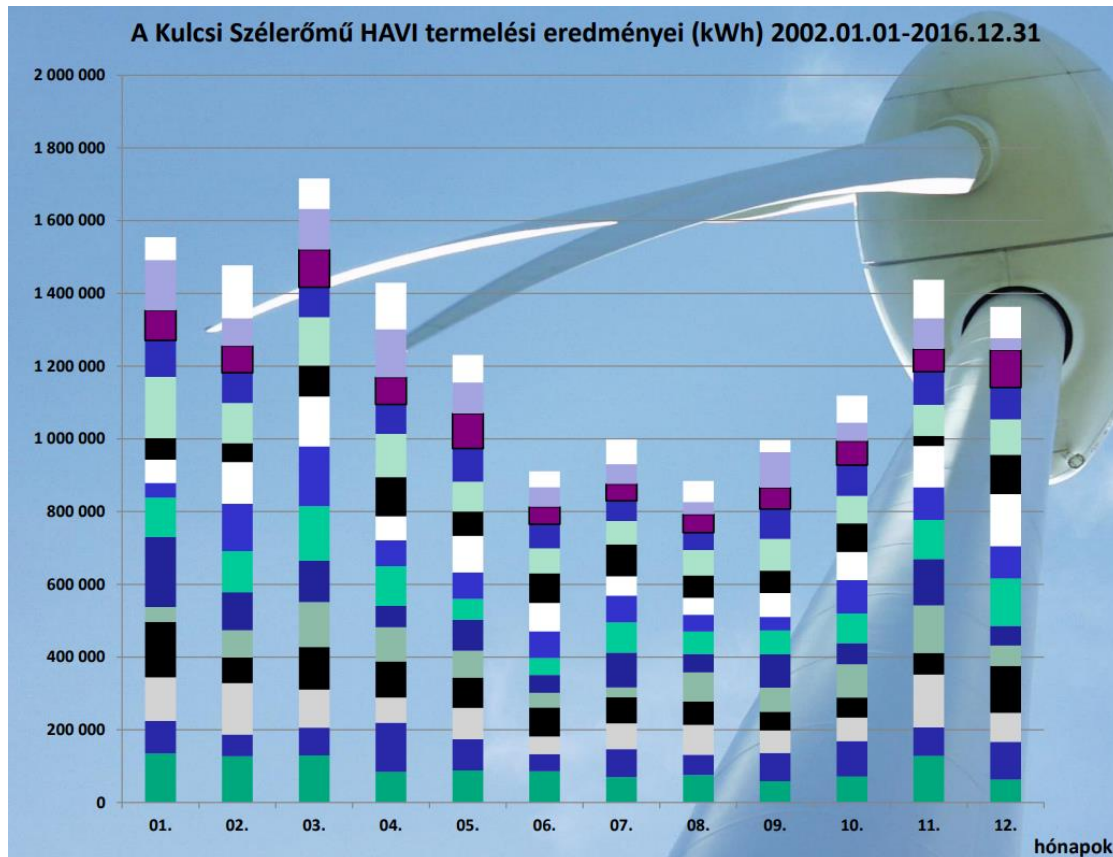
November-december-január hónapokban a kevés napsütéses óra és az éves szinten legalacsonyabb beesési szög eredményeként a naperőművek termelése jelentősen elmarad az éves átlagtól. Ezt a kiesést a szélerőművek átlag feletti termelése számottevően ellensúlyozni tudja.

A naperőművek esetében az is problémát jelenthet, hogy termelésük a nappali időszakra korlátozódik, és az esti áramfogyasztási csúcsokat nem tudják lefedni. A szélerőművek a napszaki ingadozások esetében is kiegyenlítő, kiegészítő hatással léphetnek be a rendszerbe a naperőművek mellé, melyet a 2. ábra szemléltet. Szintén a 2015-2019-es időszakot vizsgálva egyértelmű, hogy bár nem kiugró mértékben, de szignifikánsan magasabb a szélerőművek éjszakai termelése, mint a nappali. Bizonyos években (2017, 2019) csupán pár százalékkal, más években (2015, 2018) akár 10%-ot is meghaladó mértékben.



2. ábra: A szélerőművekből származó villamosenergia-termelés megoszlása az éjszakai (kék oszlopok) és nappali (narancs oszlopok) időszakok között Magyarország teljes szélerőmű-flottája esetén 2015-2019 között éves bontásban.

Az országos hálózatra gyakorolt pozitív hatások mellett egyedi erőműveket is megvizsgáltunk. A 3. ábrán a kulcsi szélerőmű 15 éves energiatermelése látható havi bontásban. Az adatok alapján szembetűnő, hogy a téli félév hónapjaiban tapasztalható magasabb termelési értékek nem csupán a teljes szélerőműflottára jellemzőek, hanem egyedi erőművekre is. Az ábrán egyértelműen kirajzolódik a nagyjából novembertől áprilisig tartó szelesebb időszak, mely klimatológiailag is megalapozottnak tekinthető a hosszú mérési időszaknak (15 év) köszönhetően.



3. ábra: A Kulcsi Szélerőmű havi termelési adatai 2002-2016 között

Az erőforrások diverzifikálásán, vagyis több típusú megújuló energia hasznosításán túl a területi diverzifikálás szintén a kiegyenlítő kapacitások igénybevételének, és a kiegyenlítő energia költségeinek csökkentése irányába hat. 2022 őszén is előfordult több olyan nap, amikor egyedül az Alföldön voltak olyan területek, ahol elegendő volt a szélsébség ahhoz, hogy egy szélerőmű elinduljon. Jelenleg azonban az Alföldön csupán néhány kisebb szélerőmű található (Erk, Mezőtúr, Törökszentmiklós), melyek az alacsonyabb oszlopmagasság és mára elavultnak tekinthető technológia miatt nem tudtak aktívan bekapcsolódni az energiatermelésbe ezeken a napokon sem.

A nap- és a szélenergia esetében a területi változékonyság európai léptékben erősen tetten érhető. Az ingadozó termelést, csúcsokat, és „szűk” időszakokat, nemzetközi szintű kiegyenlítéssel, nagyobb volumenű határkeresztező kapacitások kiépítésével lehet segíteni. A kiegyenlítés Magyarországon belül még könnyebben megoldható az országos hálózaton keresztül. Bár Magyarország nem olyan nagy területű a maga 93 000 négyzetkilométerével, ekkora területen is előfordulnak esetenként jelentősen eltérő időjárási adottságok egyazon napon vagy órában az ország különböző pontjain. Különösen igaz ez a szélre. Amennyiben az erőművek területi eloszlása egyenletesebb, jobban „kisimulnak” az időszakos és területi időjárási eltérések (felhős és napos, szeles és szélcsendes időszakok), és csökken az olyan időszakok gyakorisága, amikor egyetlen szélerőmű sem termel.

Az átlagos szélsébség értékek az Alföld területén is megfelelőek a szélenergia gazdaságos hasznosítására (átlagosan 5-8 m/s 150 méteres magasságban), hiszen a modern erőművek már 3 m/s értéktől termelnek, így a területi diverzifikálás előtt nem áll ilyen jellegű akadály. A mai modern technológiával épülő erőművek nagyobb oszlopmagassága és rotorátmérője (átlagosan 140 méter) az ebben a magasságban tapasztalható nagyobb szélsébség-átlagoknak köszönhetően jelentősen növeli a kihasználtságukat (kapacitásfaktorukat).



Magyarországon a kis szélesebesség értékek a leggyakoribbak. A modern szélerőművek épp ebben a tartományban jelentenek óriási előrelépést a korábbi (Magyarországon jelenleg üzemelő) modellekhez képest, hogy ezt a nagyon nagy gyakorisággal előforduló szélesebesség-tartományt is képesek kihasználni. Ennek köszönhetően kapacitásfaktoruk jelentősen nő a korábban telepített erőművekéhez képest, a jelenlegi 22-23%-os kihasználtság ugyanazokon a telepítési pontokon már 30% fölötti kihasználtságot jelenthet, vagyis közel 1,5-szeresére növekedhet a megtermelhető energia mennyisége, ami a gazdaságosságot, piaci versenyképességet is jelentősen javítja.

Mivel egy új típusú szélerőmű ideális elhelyezéssel képes lenne a magyarországi éghajlati, földrajzi adottságok mellett ugyanakkora beépített teljesítménnyel éves szinten nagyjából kétszer annyi energiát megtermelni, mint egy naperőmű, így napból és szélből éves szinten nagyjából ugyanannyi energiát tudnánk nyerni, ha a jelenlegi 6000 MW naperőmű mellett 3000 MW szélerőmű is működne. A kiegyenlítés és stabilitás érdekében Magyarországon célszerű a napelemes teljesítmények mellé legalább feleannyi szél teljesítményt beépíteni. A jövőben a bővítéseket párhuzamosan, lépésenként kell megvalósítani a napenergia és szélenergia vonatkozásában.

Ezért is nagyon csekély a felülvizsgált Nemzeti Energia és Klímatervben meghatározott 1 GW szélenergia célszám 2030-ig, tekintettel a napenergia 12 GW-os célértékére.

Az időjárásfüggő megújuló energiák együttes hasznosításába számos ország fektet óriási összegeket Európában és Európán kívül, és számos helyen telepítenek hibrid erőműveket is. Ilyenek például Európa első hibrid szél- és napenergia projektje, a Parc Cynog az Egyesült Királyságban, az EDPR első projektjei Spanyolországban (Lomillas, Cuenca), vagy a BayWa r.e. projektje Bayreuth közelében.

A nap- és szélerőművek együttes telepítése nemcsak országosan, de helyi szinten is kifizetődő, hatékony alternatíva. Együttes elhelyezésükkel megtakarítható a beruházási költség egy része a hálózati csatlakozások, a területhasználati és egyéb engedélyek beszerzése terén. Egy ausztrál hibrid projektben azzal, hogy a szél- és a naperőművet egymás mellett helyezték el, a költségek 20%-t megtakarították.¹

Magyarországon az elmúlt években az időjárásfüggő megújuló erőművek rendszerre csatlakozását jelentősen korlátozni kellett a nagy mértékű ingadozások kezelésére jelenleg alkalmatlan országos hálózat és a rendelkezésre álló háttérkapacitások hiánya miatt. A legújabb (2024-es) csatlakozási kapacitásigénylés 10 GW feletti volt megújuló erőművek esetében, melyből egyelőre csak 670 MW-nyi szélkapacitást fognak engedélyezni. A beruházói kedv, a szektorba potenciálisan beáramló piaci tőke óriási, így minden lehetőséget meg kell teremteni minél több beruházás megvalósítására, hiszen jelentősen gyorsíthatja Magyarország energiaátállítását.

A fenti igények nagyobb arányú kiszolgálására kínál kiváló alternatívát, ha a már meglévő naperőművi hálózati csatlakozási pontokra kötnek rá újonnan épülő szélerőműveket. Ebben az esetben nincs szükség új csatlakozásra sem. Az eltérő termelési profil biztosítaná, hogy a két erőmű az idő döntő részében képes egymás mellett termelni a csatlakozási engedélyben szereplő maximális kapacitás átlépése nélkül, a maradék rövid időszakokban (szeles-napsütéses időben) pedig könnyen leszabályozhatóak az erőművek. A hálózatot nemhogy nem terheli az új erőmű működése, de a nap-szél hibrid erőmű kiegyensúlyozottabb össztermelése, feltáplálása miatt még hasznos is lesz a hálózat szempontjából.

Szintén fontos aspektus, hogy a nap- és szélerőművek együttes hasznosítása a hidrogén technológia gazdaságos alkalmazásának alapját is jelentheti Magyarországon. Az Energiaklub által a RePower projekt keretében készített hidrogénnel foglalkozó tanulmány eredményei alapján csak a zöld hidrogén jelenthet Magyarországon életképes alternatívát, és csak abban az esetben lehet ez gazdaságos, ha a hidrogén előállítását nap- és szélerőművek együttes

¹ <https://www.scientificamerican.com/article/wind-and-solar-are-better-together/>

termelése biztosítja. A leghatékonyabb, ha ugyanarra a helyszínre telepített nap-szél hibrid erőművet kapcsolunk össze hidrogén üzemű energiátároló egységgel.

Nap- és szélenergia helyi szinten - Pfaffenhofen mintaterület

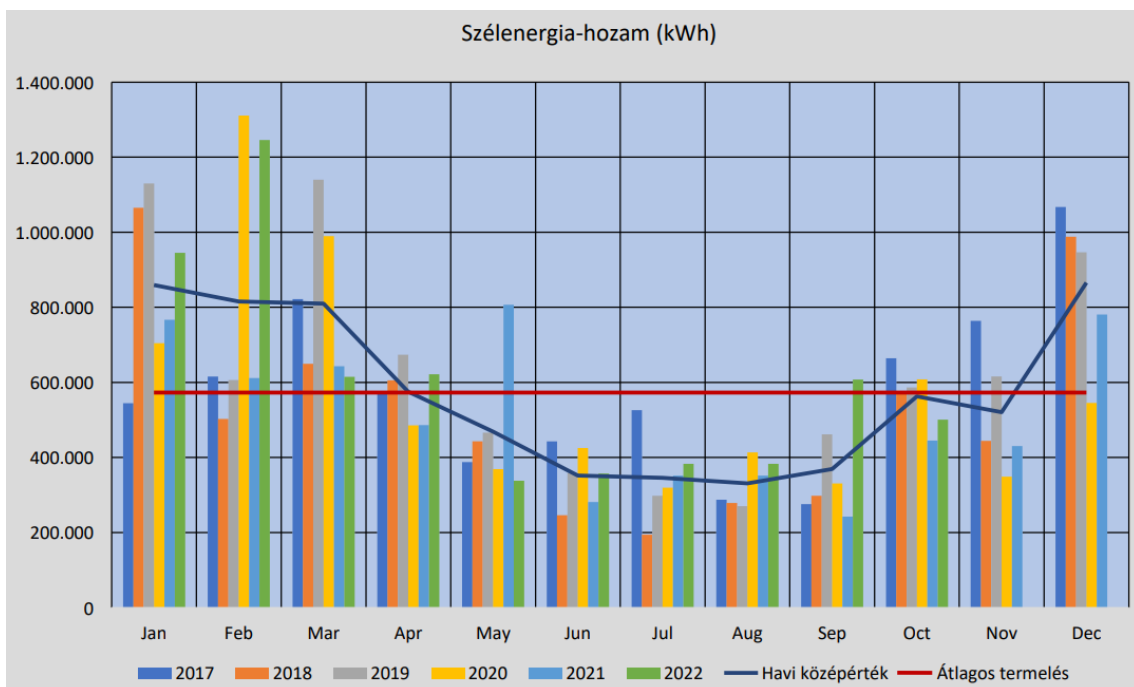
A nap- és szélenergia együttes hasznosítását nem csupán nemzeti energiaellátási szinten, hanem helyi, települési, közösségi szinten is vizsgálni kell. Egyrészt abból a célból, hogy információt kapjunk, miként termel egy adott helyszínen (térben közel telepítve egymáshoz) egy nap- és egy szélerőmű az év során, másrészt arra rávilágítva, hogyan segítheti a különböző megújuló forrásokra alapozott termelés egy közösség, település vagy kistérség (ön)ellátását.

Mivel Magyarországon nem álltak rendelkezésünkre helyi szintű, időben párhuzamos szél- és napenergia adatsorok, így mintaterületként a bajorországi Pfaffenhofen kisvárosát választottuk ki.

A választásnál több szempontot is figyelembe vettünk: egyrészt a német kisváros teljes energiaellátása (erőművei és villamos energia hálózata) egységesen önkormányzati tulajdonban áll, ami megkönnyíti az egységes adatgyűjtést, másrészt az energiarendszert működtető önkormányzati cég szakértőivel az Energiaklub egy európai uniós projekt keretében szoros szakmai együttműködést alakított ki, mely biztosítja az adatgyűjtés szakmai kereteit.

A pfaffenhofeni mintaterületen a német kollégák a közösségi tulajdonban lévő Lustholz szélerőmű és egy szintén közösségi tulajdonban álló, nagyméretű parkolóban felépített napelemes rendszer energiatermelésére vonatkozóan adtak sok évre visszatekintő adatsorokat. A szélerőmű teljesítménye 3 MW, a naperőműé 382,5 MW. A szélerőműnél 2017. januártól 2022. októberig álltak rendelkezésre termelési adatok, míg a napelemes rendszerénél 2014. januártól 2022. októberig.

A Lustholz szélerőmű termelési görbéje havi és éves bontásban az alábbiak szerint változott:

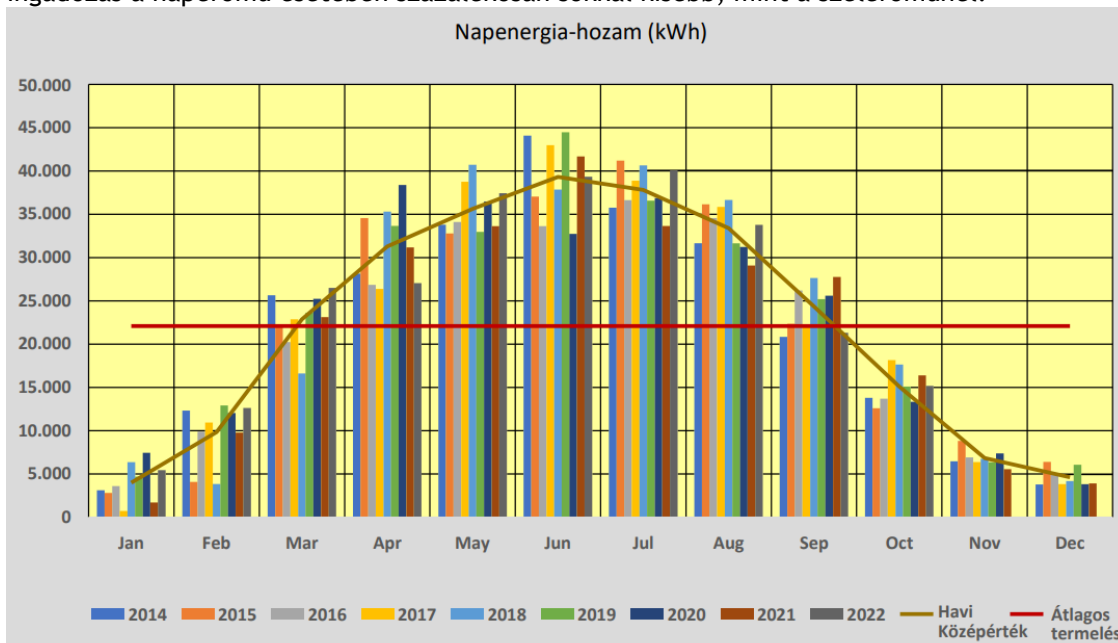


4. ábra: A pfaffenhofeni Lustholz szélerőmű energiatermelési adatai havi bontásban 2017-2022 között (Forrás: Bürger-Energie-Genossenschaft im Landkreis Pfaffenhofen a.d.Ilm e.G.)

A Lustholz szélerőműnél egyből szembeűnő a havi termelési adatok hasonlósága a kulcsi erőművel. Kisebb hozam a nyári hónapokban, jelentős hozam decembertől márciusig. Egyes hónapok esetében évről-évre nagy ingadozások adódhatnak: például volt két év, amikor az 1200 MWh-t is meghaladta a februári termelés, míg a többi évben 600 MWh körül alakult. Éppen ezért a hosszú adatsorok sokkal megbízhatóbb forrást biztosítanak az átlagosan várható hozamok számításakor.

A 6 éves intervallumban a szélerőmű átlagosan 26%-os kihasználtsággal (kapacitásfaktossal) működött, ami jelentősen meghaladja a német és az EU-s átlagot. Ez elsősorban a technológiai fejlődésnek köszönhető (újabb erőmű), nem a térség kiemelkedő szeles adottságainak.

Az 5. ábrán a pfaﬀenhofeni naperőmű adatsora látható 2014-2022 között. A havi termelési adatok egy jól ismert Gauss-görbét formálnak, nyári csúcsokkal, és a téli hónapokban a nyári értékek nagyjából egyötödét produkáló termeléssel. Az adott hónapokra vonatkozó éves ingadozás a naperőmű esetében százalékosan sokkal kisebb, mint a szélerőműnél.



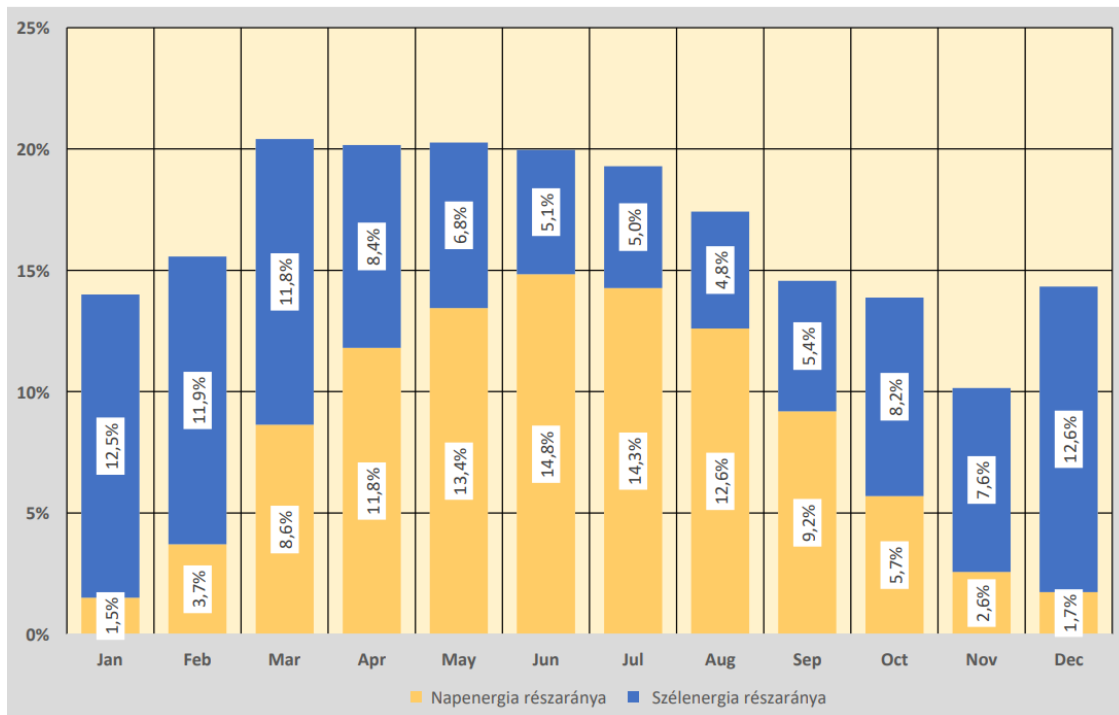
5. ábra: A pfaﬀenhofeni napelemes parkoló termelési adatai 2014-2022 között havi bontásban (Forrás: Bürger-Energie-Genossenschaft im Landkreis Pfaﬀenhofen a.d.Ilm e.G.)

Arra vonatkozóan is rendelkezésünkre állnak adatok, hogy a pfaﬀenhofeni nap- illetve szélerőmű havi bontásban mekkora részét szolgáltatja az általa a teljes évben megtermelt energiamennyiségnek. Ennek segítségével akár összehasonlíthatóvá válik egy olyan szél- és naperőmű egymás melletti termelése, amelyek az év során egyenként pontosan ugyanannyi energiát termelnének meg. Megvizsgálhatjuk, hogy adott klimatikus körülmények között mekkora részét adná a havi termelésnek egy szélerőmű, és mekkorát egy naperőmű, ha egyébként éves össztermelésük megegyezik. Ezt a 6. ábra mutatja be. (A kék oszlopok azt mutatják, hogy a szélerőmű a teljes éves termelésének hány százalékát adja le az adott hónapban, a sárga oszlopok ugyanezt a naperőmű esetében.)

Az adatok alapján a tavaszi-nyári időszak nagyon komoly kiegyenlítetttséget mutat, vagyis a nap- és a szélerőmű által szolgáltatott havi energiamennyiségek összege szinte konstans. Ez drasztikusan csökkentheti a szükséges kiegyenlítő energia mennyiségét. Emellett a téli és (a november kivételével) az őszi hónapok is képesek hozni a tavaszi-nyári havi össztermelés

nagyjából 70%-át, ami igen jó arány. Ez a szezonális energiátárolás problémájának megoldására is részben alternatívát kínál.

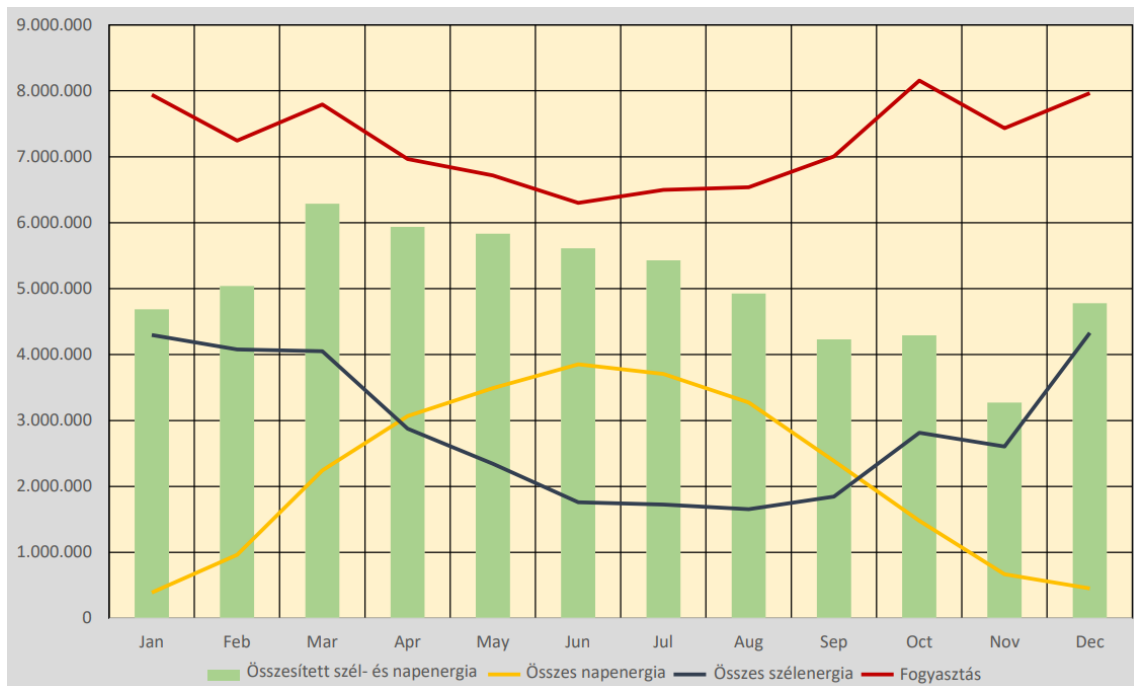
A pfaffenhofeni adatok alapján (a magyarországi tapasztalatokhoz hasonlóan) a november a legkritikusabb hónap, amikor a szél- és a napenergia-termelés is viszonylag alacsony. Az összeg nagyjából a tavaszi-nyári havi átlagok fele.



6. ábra: Látható, hogy a pfaffenhofeni nap- (sárga) és szélenergia (kék) éves termelésének hány százalékát adja le adott hónapokban (Forrás: Bürger-Energie-Genossenschaft im Landkreis Pfaffenhofen a.d. Ilm e.G.)

Az egymáshoz közeli helyszínen telepített szél- és naperőművek a pfaffenhofeni mintaterület példája alapján az év nagy részében jelentős mértékben kiegyensúlyozzák egymás termelését. Ez jelentősen megkönnyíti és olcsóbbá is teszi a (helyi) hálózat kiegyensúlyozását. Továbbá a hálózatról leválasztható és önállóan működő helyi energiahálózatokban alkalmazott kombinált nap- és szélenergia segíthet az akkumulátorok költségeinek csökkentésében is.

A 7. ábrán a 2021-es pfaffenhofeni települési áramfogyasztási adat mellett a 2024-re a város által elérendő szél- és napenergia-termelési célértékek vannak feltüntetve. Ezek elérése a „Citizen Wind Park” további három szélturbinájának felépülése, és 2024-es üzembe helyezése után valósul meg. Ekkorra a szél- és napenergia önmagában képes lesz fedezni a villamosenergia-szükséglet 70%-át a településen. A helyi víz-, biogáz- és biomassza-erőművek ezt az értéket tovább növelik, megközelítve a 100%-os önellátást az áramfogyasztást tekintve.



7. ábra: A 2024-re kalkulált havi nap- (sárga) és szélenergia (fekete) termelési adatok Pfaffenhofenben, valamint ezek összege (zöld oszlopok), illetve a 2021-ben mért áramigény (piros). (Forrás: Bürger-Energie-Genossenschaft im Landkreis Pfaffenhofen a.d. Ilm e.G.)

Ahhoz, hogy kontextusba helyezzük a német tapasztalatok alapján gazdaságosan (együttesen) hasznosítható nap- és szélenergia potenciált, megvizsgáltuk Pfaffenhofen klimatikus viszonyait. A város területén az Európai Szélatlasz online adatbázisa alapján a szél teljesítménysűrűsége 330 W/m^2 150 méteres felszín feletti magasságban. Magyarországon az Alföld területén találunk hasonló értékeket. Például Törökszentmiklós környékén, ahol 2006-ban épült is szél erőmű, a fentiekhez hasonlóan 330 W/m^2 körüli a szélpotenciál érték 150 méteres magasságban. A két település között a különbség, hogy míg Pfaffenhofenben nagyjából 1700 az éves napsütéses órák száma², addig Törökszentmiklóson, az utóbbi évtized adataira támaszkodva, 2200 körül alakult ez az érték.

Konklúzió

Magyarország területének döntő részén a szeles és a napos adottságok hasonlóak vagy jobbakként, mint egy olyan német kisvárosban, ahol elsősorban a nap- és szélenergia együttes helyi hasznosítására alapozzák a teljes önellátásukat. A szélenergia jelentős hazai fellendítésével, a napenergia mellé történő felzárkóztatásával (minden 1000 MW napelem után 500 MW szél erőmű telepítése) nagy lépést tehetünk az ingadozó időjárásfüggő termelés kiegyenlítése, a kiegyenlítésre fordított költségek lefaragása, és a tiszta, megújuló energiákra alapozott önellátás felé.

² <https://www.currentresults.com/Weather/Europe/Cities/sunshine-annual-average.php>