

A HAZAI LAKOSSÁGI VILLAMOSENERGIA SEKTOR PARADIGMAVÁLTÁSA ÉS A NAPELEMES HMKE-K

HORVÁTH GÁBOR – SZEGEDI SÁNDOR – ZAKAR MÁTÉ – PÓKA CINTIA
– TÓTH TAMÁS

PARADIGM SHIFT IN THE HUNGARIAN ELECTRICITY PRODUCTION SECTOR
AND THE MICROGENERATION SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Abstract

The European Union and Hungary are committed to increasing the share of green energy in the energy mix. There are two main challenges for the Hungarian energy sector today. The first is energy safety that is to provide enough energy to fulfil the industrial and residential electricity demands and meeting environmental requirements at the same time. The other is to prepare for potential shifts in industrial and residential consumer habits. We deal with the political and economic impacts on the energy balance, the booming of electricity consumption, the development of the Hungarian electrical grid and challenges induced by weather dependent energy sources. We present some best practices, in particular low or no cost examples that can contribute to the balance of electricity production and consumption. We examine the conditions of economical operation of microgeneration solar photo voltaic systems after the potential lapse of net metering.

Keywords: consumer habits, electricity production, weather dependent renewable energy sources, microgeneration solar photovoltaic systems, net metering

Bevezetés

Az Európai Unió és azon belül hazánk is az utóbbi évtizedekben teljesen elköteleződött az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának csökkentésében, a megújuló energiaforrások hasznosításának még intenzívebb növelésében, valamint az energiahatékonyság szélesebb körű alkalmazásában. A határozott célkitűzéseket és terveket nagyban megnehezítik és módosíthatják a különböző nem tervezett tragikus következményekkel járó események, havária helyzetek (COVID19, orosz–ukrán háború). Meglátásunk szerint, az egyre szigorodó irányelvek ellenére mára az energiabiztonság valamelyest háttérbe szorította a környezetvédelmi szempontokat.

A magyarországi energiaszektor jelenleg két nagyobb, összetett kérdésére is keresi a választ a környezetvédelmi irányelvek betartása mellett. Az egyik az *energiabiztonság kérdése*, miszerint lesz-e elegendő energia hazánkban a jelenlegi ipari termelés és a lakosság humánkomfortjának fenntartásához? A másik, hogy milyen esetleges változásokra, a *felhasználói szokások milyen módosításaira* érdemes felkészülni az ipari és lakossági fogyasztóknak? Általánosságban a lakosság villamosenergiával kapcsolatos magatartása, fogyasztói szokásai még jelentős mértékű energiamegtakarítási lehetőséget rejt magában.

Tanulmányunkban kitérünk olyan kérdésekre, mint az energiamérleget befolyásoló fontosabb politikai, gazdasági hatások, a drasztikusan növekvő villamosenergia-használat és a magyar villamosenergia-hálózat fejlesztése. Hangsúlyt fektetünk az időjárásfüggő megújuló energiaforrások, elsősorban a napenergia (LÁZÁR, I. et al. 2020) hasznosításából fakadó hálózati kihívásokra. Bemutatunk jógyakorlatokat, csekély beruházást igénylő, vagy beruházás nélküli konkrét példákat, melyek hozzájárulhatnak a villamosenergia-termelés és -fogyasztás egyensúlyához.

Az EU főbb irányelvei a fosszilis energiahordozók kiszorítására

Az energiaszektor felelős a globális üvegházhatású gázok kibocsátásának 73,2%-ért. (Internet1) Több mint négy évtizede hangsúlyozzák a klímaváltozással foglalkozó szakmai szervezetek, elismert kutatók, hogy mérsékelni kell az ÜHG-ok kibocsátását, annak érdekében, hogy a globális felmelegedés hatásait a társadalom képes legyen mérsékelni, és részben alkalmazkodni a megváltozott körülményekhez (DUNKEL et al. 2018; KHAN, M. A. et al. 2014; JACKSON, P. 2007).

Az idő előrehaladtával a klímacsúcsokon (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) elméletileg egyre szigorodó irányelveket, célkitűzéseket fogadtak el a világ döntéshozói. A jelenleg érvényben lévő vállalás a 2015-ben 195 állam által aláírt Párizsi Megállapodás, amelyben elkötelezték magukat a globális hőmérséklet-emelkedés 2° alatt tartására (NONG, D. et al. 2021). Ezen országok felelősek a globális károsanyag-kibocsátás 97,48%-ért (HANELT, C. – PETERSEN, T. 2022). A gyakorlatban ez a dokumentum is csak puha önkéntes vállalásokat tartalmaz az aláíró országok részéről. Sajnálatos, de – ahogy a korábbi esetekben is – az várható, hogy a megállapodásokban foglaltakat nem sikerül maradéktalanul teljesítenie minden aláírónak. A probléma abból ered, hogy a vállalások nem teljesítése semmilyen kézzel fogható nemzetközi intézkedést (retorziót, szankciót, bírságot) sem von maga után.

A Párizsi Megállapodás és az azt követő klímacsúcsok, a Covid19, valamint az orosz–ukrán háború, és annak kapcsán hozott intézkedések együttesen az energetikai célok mihamarabbi átütemezésére kényszerítették az Európai Uniót. Az EU gyors intézkedési:

- **Fit for 55** – A klímarendelet kötelező érvényű az összes EU tagország számára. *Célja* 2030-ra 55%-kal csökkenteni a nettó ÜHG kibocsátását, 2050-re a klímasemlegesség elérése (Internet2).
- **RepowerEU** – Az orosz-ukrán háborúra reflektáló program, amely a függőségi viszonyt és az agresszorok közvetlen és közvetett módon történő anyagi támogatását kívánja csökkenteni. *Célja* az energiaellátás diverzifikálása az energiatakarékosság, a tiszta energiák térnyerése és az energiabiztonság szem előtt tartása mellett (Internet3).
- **H2MED** – A H2MED-projekt fejlesztése az első üteme az Európai Hidrogén Gerinchálózat kiépítésének, amelynek egyértelmű *célja* az európai dekarbonizációs törekvések felgyorsítása a szükséges hidrogén-infrastruktúra megteremtésével. A H2MED vezeték felgyorsítja a hidrogén telepítést Európában, és összeköti az Ibériai-félszigetet Franciaországgal és Németországgal (Internet4).
- **Net Zero by 2050** – A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) a Párizsi Egyezmény alapjait használva indította el a programot. *Célja* a globális szén-dioxid (CO_2) kibocsátás nettó nullára csökkentése 2050-re (Internet5).

Az energiabiztonság mint legfőbb prioritás

A schengeni határ túloldalán háború van. A fegyveres összecsapások mellett gazdasági csaták is zajlanak, melynek következtében az egyes országok, közösségek prioritásai megváltoztak. Európában rendkívüli módon megnőtt a veszélye, hogy nem akkor és nem annyi energiához jutnak a fogyasztók (ipar, mezőgazdaság, közszolgáltatások, lakosság), mint amennyire pont szükségük lenne. Jelenleg az *első globális energiaválság időszakát éljük*. Míg a hetvenes években „csak” olajválság volt, most egyszerre gyűrűzött be az

olajválság, a földgázválság és a szénválság is. Az európai országok számára az energia-biztonság lett a legfontosabb kormányzati törekvés. Az energiahiány veszélye miatt az *első reakciók általában a fogyasztói szokások megváltoztatása és az energiabiztonság növelése* voltak. Az energiaellátás területén sebezhetőbb országok a rendelkezésre álló eddig kevésbé használt erőforrásaikhoz, vagy éppen a felhasználás ütemét mérsékelni kívánt (fosszilis) energiahordozókhöz, energiatermelési eljárásokhoz nyúlnak vissza. Példaképpen Németországban az atomenergiát, Magyarországon a lignittüzelést kívánták fokozatosan kivonni az energiatermelésből, amit a körülmények miatt egyelőre felüggesztettek, és továbbra is az ellátásbiztonságot szolgálják.

Németországban – az EU legmeghatározóbb gazdaságában – a megújulóenergia-termelés intenzív hasznosítása és terjedése sem tudja a német energia éhséget csökkenteni. Mindeközben a már leállított atomerőműveket nem sikerült pótolni, és a lignitfelhasználás mértéke sem csökkent az elmúlt években. A 2022-es események hatására pedig az előző évek, évtizedek gyakorlatával szembe menően a *súlyosan környezetszennyező energiatermelési megoldások felé mozdultak el*. Németország fókuszba helyezte a felszíni lignitbányák újrainyitását, illetve új bányák létesítését, ezzel szörnyű környezeti pusztítást okozva. Sokat sejtett, hogy a döntéshozók a szénbányászat újjáélesztése okozta környezet- és tájrombolásokból eredő társadalmi és politikai nyomást is inkább felvállalják, mint az energiastabilitás, -ellátás bizonytalanságát. A német karbonkibocsátás 32%-át a szénerőművek okozzák, melyek az energiatermelés kb. 19%-át biztosítják jelenleg (APPUNN, K. et al. 2022; APPUNN, K. et al. 2022).

Magyarországon a paksi atomerőmű után a második legnagyobb energiatermelő egység a lignittel működtetett Mátrai Erőmű. Hazánkban is felmerült a szénbányászat újjáélesztése – ami egyelőre inkább csak politikai beszédként jelent meg – azonban a lignittüzelésű erőmű 2025 utáni működtetése újból mérlegelés alá került. *2022 második félévében a megváltozott ideiglenes jogszabályi környezet már egyáltalán nem segíti az időjárásfüggő energiatermelők elterjedését*. A rezsicsökkentés felső határait meghatározva, az átlagfogyasztás felletti energiaért/energiahordozóért (áram, földgáz) piaci árat fizetnek a lakossági fogyasztók is. Az említett változások két komoly hozadéka, hogy *egyrésről általánosabban takarékosabbak, energiatudatosabbak lettek az érintett fogyasztók, másrésről, hogy a napelem-beruházások megtérülési ideje ezzel kedvezőbben alakult*. Bár ez nem tartott sokáig, mivel 2022 november 1-től az új napelemes rendszer telepítések tekintetében kiveztették az ún. szaldós elszámolást (részletesen lásd később) (Magyar Közlöny 2022).

A villamosenergia-fogyasztás megreformálásának fontossága

A *fogyasztó elvárása* a folyamatos és zavartalan energiaellátás, más szóval mindig legyen villamosenergia az adott helyen, az adott pillanatban, amikor csak szüksége van rá. A mindenkori életvitelnek megfelelően, a napi tevékenységekhez, évszakokhoz és napszakokhoz illeszkedően jelentős eltérések vannak az egyes emberek fogyasztási szokásaiban, ami egy igen hektikus villamosenergia-felhasználást eredményez. Termelői és elosztói oldalról a szakembereknek tervezniük kell, hogy mikor, mennyi áramra lesz majd szükség és eszerint szabályozzák az erőműveket.

A *hazai villamosenergia-termelés törzsét az atomenergia biztosítja*, megközelítőleg 36%-ban, 22%-ban földgáz, 6%-ban szén és megközelítőleg 10%-ban a megújuló energia fedezi a hazai energiaigényt (MEKH a). A hazai villamosenergia-termelés alapját jelentő Paksi Erőmű termelése a fúziós folyamatnak köszönhetően viszonylag szűk határok közt változtatható, a technológia stabilitása adja eredendően a rugalmatlanságát is.

Megjegyzendő azonban, hogy a mai nagyerművi villamosáramot termelő technológiák közül a legkisebb karbonlábnnyommal rendelkeznek. Amikor az ország villamosenergia felhasználása a felső csúcs felé tart, bekapcsolják a vészerőműveket is, amelyek főként szénalapúak. Érdekes tény, hogy ez legfőképpen a nyári hőségek idején jelentkezik, amikor a klímaberendezések használata felerősödik. Az alacsony villamosenergia-felhasználás évszaktól függetlenül általában az éjszaka folyamán jelentkezik. Az el nem használt áram túlkínálatot eredményez, amelyet hazánk általában környező országok felé tovább értékesít, jellemzően alacsonyabb áron.

A fogyasztási szokások racionalizálásával csökkenteni lehet az energiacsúcs és az energiaminimum közötti különbséget. Ennek elősegítésére vezették be az éjszakai áram fogalmát, amellyel a fogyasztók jóval kedvezőbb áron juthattak energiához, melyet általában melegvíz előállítására használtak fel. A hálózati különbségek kiegyenlítésének egyik másik megoldása lehet, a megújuló energiaforrások mellé történő energiátároló telepítése. Az energiátárolás módja is komoly aggályokat vet fel. A tárolással járó viszonylag magas, (min. 10%-os) energiaveszteség mellett, az újabb hatalmas mértékű karbonlábnnyom is megfontolandó.

A villamosenergia-felhasználás jellegzetességei

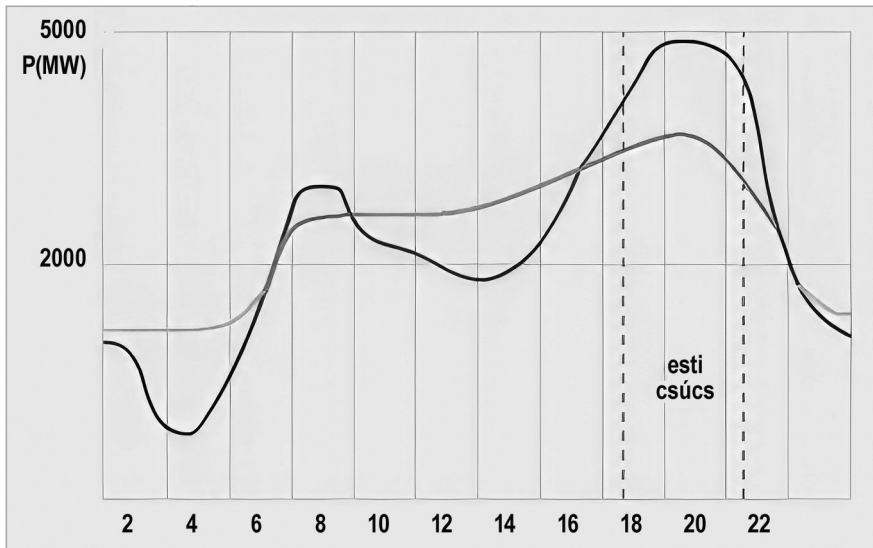
A nehézségek ellenére számos jogyakorlat létezik már, melyek hozzájárulhatnak – akár beruházás nélkül – a villamosenergia-termelés és fogyasztás egyensúlyához. A MAVIR az egyensúly megtartásának érdekében a lehető legtöbbször a villamosenergia-termelést igazítja a fogyasztáshoz, de napjainkban elindultak már nagyszabású, példaértékű kezdeményezések az egyensúly könnyebb megtartására.

Elterjedőben van az egyes ipari fogyasztók vezérelt szabályozása. Az üzemeltető megállapodhat az áramszolgáltatójával, hogy az általa használt eszközök, berendezések tekintetében milyen időközönként, mekkora időtartamban tudja átadni a kapcsolást. A fogyasztó minimum villamosszükségletének 300kW-nak kell lennie és lehetőleg 24 órás üzemben legyen működtetve. A legegyszerűbb példa erre egy hűtőház esete, ahol a kívánt hőmérséklet-tartománynak -18°C és -21°C között kell lennie. A működéséből eredően az energiavölgyek idején érdemes lehet bizonyos szintig túlhűteni a hűtőházat és a napi energiamaximum idején pedig visszaengedni a hőmérsékletet magasabb érték közelébe. A beruházás költsége alacsony, mindössze egy távolról vezérelhető villanyórát szükséges telepíteni hozzá (Internet6).

A másik terjedőben lévő lehetőség az energiaközösség. Legfőbb célja a lokálisan megtermelt energia helyi elfogyasztásának maximalizálása. Ez egy új szövetkezeti vagy nonprofit gazdasági forma, aminek elsődleges célja, hogy a tagjai számára környezeti, gazdasági és szociális közösségi előnyöket nyújtson. Az egyes tagoknak legalább egy, de lehet több szerepük is a villamosenergia-termelésben, -tárolásban, -fogyasztásban, -megosztásban és az elektromos töltőberendezés üzemeltetésében. A tagok lehetnek lakossági fogyasztók, vállalatok, intézmények, vezérelhető fogyasztók, napelemes erőművek, energiátárolók, de akár E-mobilitás töltők is. A tagok egymás között a megújuló energiaforrásokból termelt energiát jóval kedvezőbb áron tudják elosztani, így sarkallva a tagokat a kiegyensúlyozottabb, tervezhetőbb fogyasztási szokásokra (Internet7).

Az egyre kisebb fogyasztási egységeknek is egyre nagyobb szerepet szükséges vállalnia a villamosenergia-hálózat egyensúlyának fenntartásában, mivel az eddigi fogyasztási szokásokról fokozatosan át kell térni egy általánosan tervezhetőbb és szabályozhatóbb fogyasztási profilra.

Az 1. ábrán látható egy átlagos háztartás napi lakossági villamosenergia-szükséglete (fekete vonal). Megállapítható, hogy szinte évszaktól függetlenül két tetőponttal rendelkezik, melyek között általában két fogyasztási völgy jelenik meg. A kisebbik csúcs a reggeli órákban a munkába és nevelési intézményekbe (bölcsődébe, óvodába, iskolába) készülődés során jelentkezik. A második, lényegesen nagyobb tetőpont a hazaérkezést követően a délutáni és este órákban jelenik meg. Ez a fogyasztási időszak a legmarkánsabb, ugyanis az otthontartózkodás alatt ekkor kerül sor a legtöbb árammal működő eszköz használatára. A legnagyobb völgyidőszak az éjszakai, hajnali pihenéssel magyarázható, míg a kisebb völgy a kevesebb számú otthontartózkodással, kisebb mértékű otthoni fogyasztással magyarázható. A napszakok közötti villamosenergia-fogyasztás különbségeihez a rendszerirányítónak kell folyamatosan alkalmazkodnia.



1. ábra Napi átlagos lakossági villamosenergia-felhasználás óránkénti bontásban
 Figure 1 Average diurnal residential electricity consumption by the hours
 Forrás: JÁSZAY T.–NIEBERL N. (2015) alapján saját szerkesztés
 Source: Based on JÁSZAY T.–NIEBERL N. (2015), Authors' editing

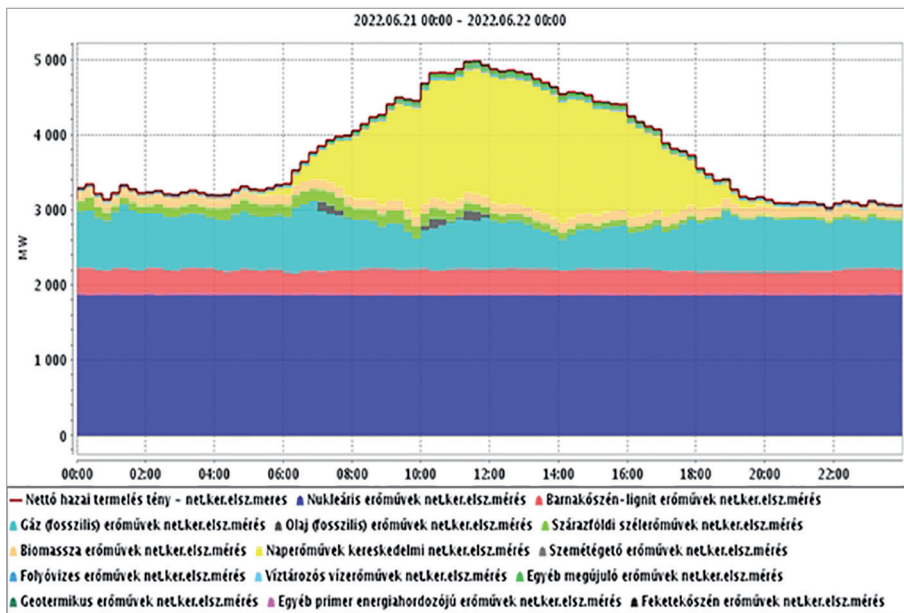
Napjainkban a technológia fejlődésével, az időzíthető/vezérelhető eszközök elterjedésével a fogyasztói szokásaink rugalmassága, ütemezése a korábbi időszakokhoz képest jóval nagyobb szabadságot élvez. A háztartásokban egyre nagyobb számban jelennek meg a napelemes rendszerek mellett a wifi vezérlésű hőszivattyúk, melegvíztárolók, klímaberendezések, mosó-, szárító- és egyéb háztartási gépek, jelenlétérzékelők, redőnyök, világítótestek, illetve az elektromos autók vagy akár a kémiai akkumulátorok is. Ezek a fogyasztók akkor tudják segíteni a fogyasztási görbe kisimítását, ha megfelelően, tervezett használatban vannak, a gondos felprogramozás mellett tudatosabb felhasználói magatartást igényelnek. Hosszútávon újra kell gondolni, hogy melyek azok a ténylegesen a jelenlétünkhöz kötött működésű eszközök és melyek azok, amelyeknek az energiafelhasználását ütemezhetően a napelemes rendszer várható termeléséhez lehet igazítani. Az 1. ábrán a színek egy lehetséges, simított, elvi fogyasztási görbét mutatnak.

A zöld szakasszal jelölt időszak lehet a legalkalmasabb a melegvíz előállítására, mosó- és/vagy szárítógép használatára, illetve az esetlegesen előforduló elektromos autók töl-

tésére. A jelen fogyasztási szokásokhoz igazodva ekkorra lehet a legkevesebb kényelmetlenséggel a napi lakossági villamosenergia-szükségletet áthelyezni az egyenletesebb felhasználás érdekében.

A kézzel jelzett időszakokban az esetlegesen meglévő energiatárolók részben hozzájárulhatnak a villamoshálózatból felvett energia csökkentéséhez. Napközben a napelemek által megtermelt és eltárolt energiával, illetve az oda-vissza töltésre alkalmas (veliche to home – V2H) töltőre csatlakoztatott elektromos autókkal mérsékelni lehet a fogyasztási csúcsot, ezáltal a villamosenergiatermelő-kapacitás csökkentése érhető el.

A narancsszínnel jelölt időszak során alkalmazhatóak a jelenléttől független fogyasztók, illetve feltölthetők a telepített energiatárolók. Az időjárásfüggő megújulók közül hazánkban a fotovoltaiikus rendszerekre alapozott napenergia-hasznosítás a domináns. A napelemek termelése ebben az időszakban (2. ábra) az országos villamoshálózatban gyakorta olyan nagymértékű visszatöltött elektromos áramot jelent rendszer szinten, hogy ezen energiatöbblet felhasználása sokszor kis hatékonysággal valósul meg. A helyben hatékonyan felhasznált villamosenergia többek között az időzíthető fogyasztóknak, illetve a telepített energiatárolóknak köszönhetően ezen időszakban csökkenthetné a feltöltésből származó hálózati leterhelést és javítaná a lakossági napi fogyasztás arányosabb alakulását.



2. ábra MAVIR termelési adatok 2022.06.21. napján
Figure 2 MAVIR daily electricity production data for 21-06-2022
Forrás/Source: MAVIR

A 2. ábra a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (MAVIR) hivatalos adatait mutatja, ahol a napelemek által megtermelt villamosenergia-mennyiség jól szemlélteti a probléma súlyát. Az 1. és 2. ábrák alapján egyértelműen látható az alacsony lakossági fogyasztású és az ahhoz tartozó a hálózatban lévő villamosenergia-többlettel rendelkező időszakok. A lakossági villamosenergia-felhasználás nappali völgyidőszakában rendelkezésre álló nagyobb energiamennyiség az év során sem azonosan alakul (nyári maximum, téli minimum). Az évi menet nem pusztán az időjárásfüggő

megújuló energiaforrásokkal hozható összefüggésbe, hanem kifejezetten a napenergia energiámixben betöltött túlsúlyára vezethető vissza. A szélenergia nagyobb kihasználtsága mérsékelné az évi különbségeket, mivel a szél- és napenergia-potenciál időbeli rendelkezésre állása általában is, de hazánkban kifejezett jól kiegészíti egymást, ahogy azt már számos tanulmány is bebizonyította (HAVAS M. – HRENKÓ I. 2015; ALEX, Z. et al. 2014; LAKATOS, L. et al. 2011).

Módszertan

A jelen, szabályozás szempontjából bizonytalan időszakban kerültek modellezésre egy átlagos villamosenergia-fogyasztással rendelkező háztartás széles spektrumon bemutatott telepítési lehetőségei. Az egyes scenáriók azt mutatják be havi bontásban, hogy hogyan alakul a helyben megtermelt és felhasznált energia mennyisége, illetve mennyi energia táplálható vissza a hálózatba. Az egyes elemzésekben a napelemes rendszer termelési kapacitása (Wp), illetve a telepített energiatároló névleges kapacitása (Wh) változik az azonos fogyasztás mellett. Céljaink között szerepel, hogy rámutassunk a helyes rendszerméretezés fontosságára, láthatóvá tegyük a napenergia által okozott villamoshálózat-terhelés irányait a különböző méretű energiatárolók használatának esetében. Az egyes hónapok átlagos villamosenergia-termelési hányada 10 db magyarországi napelemes rendszer tapasztalati adatait felhasználva került kiszámításra.

A gyakorlati tapasztalatokon alapuló szabály szerint 1150–1200 kWh fogyasztáshoz megközelítőleg 1 kWp napelem szükséges. *A gyakorlatban viszont általában még egy darab panelt fel szoktak helyezni.* Magyarországon állami szinten meghatározott átlagos lakossági fogyasztást figyelembe véve – ami 2523 kWh – egy 2500 Wp erőmű összteljesítményt vettünk alapul a modellezés során. Ehhez a rendszerhez az első esetben nem csatoltunk energiatárolót, míg a többi esetben 4000, 5000, 6000, 7000 Wh névleges teljes kapacitású tároló csatolásával számoltunk. Az utolsó scenárió során meghatározásra került, hogy mi az a legkisebb rendszer és a hozzá tartozó tárolókapacitás, ami teljes szigetüzemként a téli időszakban is el tud látni egy átlagos villamosenergia-felhasználással rendelkező háztartást.

A ma legjobban elterjedt energiatárolók a Li-ion-akkumulátorok. Ezek a kémiai energiatárolók azonban elég érzékenyek a kisülésre, meghálálják, ha nem teljesen vannak feltöltve, és ezen szempontok betartásával működésüket évekkel kitolhatjuk. Arányaiban nem javasolt az alsó 20% és a felső 15–20% töltöttségi szint szerinti rendszeres használat. Felelős üzemeltetőként érdemes ezzel kalkulálni, ezért a névleges kapacitás átlag 62%-kával számítottuk a ténylegesen rendelkezésre álló kapacitást. A modellezés során 25% részarányal vettük figyelembe a napelemek révén megtermelt, a háztartás által közvetlenül elfogyasztott energiamentiségét. A fentiek alapján minden scenárió megmutatja:

- a helyben megtermelt és felhasznált energia mennyiségét.
- a hálózatba visszatáplált energia mennyiségét.
- a helyben megtermelt és elfogyasztott energia mennyiségét, valamint a teljes arányát.
- a hálózatból vételezett és oda visszatáplált villamosenergia mennyiségét.

Eredmények

A következőkben bemutatásra kerülnek beruházás nélkül is elvégezhető, illetve kisebb-nagyobb anyagi ráfordítást igénylő energiamegtakarítási lehetőségek, amelyek

hozzájárulnak a villamoshálózat egyensúlyának fenntartásához. Az adott háztartás műszaki színvonala és a fogyasztó pénzügyi helyzete nagyban meghatározza, hogy az említett lehetőségek közül melyek számára a megvalósíthatók, illetve kivitelezhetők.

Beruházás nélküli eszközök:

- A fogyasztás ütemezése.
- A belső hőmérséklet beállítása, szabályozása, éjszakai és hétvégi fűtés csökkentés, időprogramok beállítása.
- Fűtési rendszer beszabályozása (túl- és alulfűtött helyiségek esetén).
- Hőszivattyúk fűtési jelleggörbéjének beállítása.
- Kezelők időprogramjának beállítása.
- Lekötött villamosteljesítmény optimalizálása.
- Energiaközösségek elterjedése.

Kiseb-nyagyobb beruházásokkal elérhető megoldások:

- Épületszerkezeti korszerűsítés: külső határoló épületszerkezetek hőszigetelése, nyílászárók cseréje 3 rétegű üvegezésű szerkezetekre, külső árnyékolók beépítése.
- Épületgépészeti korszerűsítés: hőtermelő cseréje, hőleadók cseréje, fűtési rendszer szabályozása, beszabályozása.
- LED világításkorszerűsítés: LED izzó, LED panel, LED csarnokvilágító.
- Ütemezett, távvezérelhető fogyasztók tudatos használata.
- Napkollektoros használati melegvíz termelés.
- Hőszivattyús fűtés-hűtés.
- Energiatárolók használata.

Az orosz invázió miatt bekövetkezett változásokból fakadóan a részleges energiaárak növekedése és az energiabiztonsági szempontokból eredően a 2022. év közepén a fotovoltaikus rendszerek iránti érdeklődés megugrott. Örvedetes folyamatok indultak el, sosem látott magasságokban szárnyalt a hazai időjárásfüggő energiatermelők (elsősorban a napelem) iránt a kereslet. A kisméretű és a háztartási méretű kiserőművek (HMKE) esetében a többéves átlagot meghaladó engedélyeztetési kérelem érkezett be a szolgáltatóhoz. 2022. november elsejétől egy *hirtelen állami szintű beavatkozás történt a szabályzásban*. Az új rendelkezés értelmében az elektromos szolgáltató a beérkező engedélykérelmeknél nem járul hozzá ezen rendszerek elektromoshálózatba betáplálásának a lehetőségéhez. (Magyar Közlöny 2022). Az indok részben valós, miszerint a megjelenő napelemes igények túlterhelhetik a villamoshálózatot és ezáltal a rendszerbiztonság veszélybe kerül. Ez annyit jelent, hogy a napelemes rendszer által megtermelt energiát teljes mértékben a háztartásnak szükséges felhasználnia vagy kárba vész. Másként megfogalmazva a november 1. utáni rendszerekre nem érvényes az *éves szaldós elszámolás*. A támogatások nélkül telepített napelemes rendszerek ezelőtt is egy család életében hosszú távú befektetésnek számítottak. Egy jól dimenzionált, megfelelő tájolással rendelkező rendszer megtérülése is legalább 10-12 év. Betáplálási lehetőség nélkül mikrogazdasági létjogosultsága elenyésző.

Sajnos a tanulmányunk elkészültéig még nem tisztázódott a napelemes rendszerek jelenét, jövőjét meghatározó jogszabályi és műszaki környezet. Szakmai körökben is mindössze feltételezések és találgatások vannak az egyes lehetőségekről, esetleges foratókönyvekről. A valószínűbb (vagy csak remélt) scénáriók:

- a mindenkori *telepítést követő 10 évben jár majd mindenkinek alanyi jogon az éves szaldó*, vagy
- mindenkinek *át kell térnie a havi szaldós elszámolásra*, vagy
- bevezetésre kerül a *bruttó elszámolás rendszere*.

Tanulmányunkban bemutatásra kerül egy átlagos villamosenergia-fogyasztással rendelkező háztartás, napelemes rendszerének telepítési lehetőségeit realizáló modellezése.

A bemutatott scenáriók célja, hogy látható legyen havi lebontásban a várható megtermelt energiamentiség, a helyben megtermelt és felhasznált energia, valamint a várhatóan a hálózatba visszatáplált mennyiség. További cél volt felhívni a figyelmet a helyes rendszerméretezésre, láthatóvá tenni a napenergia által okozott villamoshálózat terhelési irányait a különböző méretű energiatárolók használatának bevonásával.

Az egyes hónapok átlagos villamosenergiatermelési hányada a teljes magyarországi napelemes rendszer havi adatait felhasználva került kiszámításra.

1. táblázat – Table 1

A napelemes rendszer által megtermelt energia havi bontásban
Electricity produced by solar PV system by the months

	Teljes villamosenergia felhasználás (kWh):	Erőmű teljesítménye havi %-os bontásban:	Megtermelt energia (kWh):
Összesen:	2523		2875
Január	225	3,39	97
Február	208	6,50	187
Március	216	8,25	237
Április	200	9,58	275
Május	197	10,05	289
Június	207	13,20	380
Július	218	13,81	397
Augusztus	201	11,76	338
Szeptember	193	10,35	298
Október	212	6,14	177
November	217	3,60	104
December	229	3,37	97

Forrás/Source: MEKH b adatai alapján saját szerkesztés/Based on MEKH b, Authors' editing

Ezek alapján a júliusi napelemes termelés 4,07-szerese a januári termelésnek, de ez nagyon változó lehet az adott év időjárásától, az ingatlan elhelyezkedéstől, a napelemes rendszer tájolásától, dőlésszögétől függően, egyes esetekben ez ötszörös különbséget is jelenthet. Ez a különbség már előzetesen is mutatja, hogy egy havi szaldós elszámolás januári energiatermelése csak szélsőséges esetekben képes egy háztartás teljeskörű energiaellátására, a nyári időszakban pedig jelentős többlettermelést eredményezhet. A telepítést megelőzően már érdemes tudni, hogy milyen elszámolási rendszerhez kell igazodnia a HMKE-nek. Egy havi elszámolás esetén érdemes lehet a téli körülményekhez jobban igazítani a rendszert, hogy valamelyest kiegyensúlyozottabb lehessen havi bontásban a termelés. Eddig meggyőző többséggel a telepítések nagyrészt az éves legnagyobb termeléshez lettek igazítva. Sajnos sok rendszernél észrevehető, hogy érdemes lett volna egy benapozási vizsgálatot elvégezni a telepítés előtt, mivel a tájolásnak hatalmas szerepe van egy hatékony napelemes rendszernél.

Az első esetben egy klasszikus (átlagos villamosenergia-fogyasztással rendelkező háztartás) napelemes telepítésének sarokszámai láthatók (*2. táblázat*).

Hiába több energiát termel a rendszer, mint amennyire éves szinten szüksége van a háztartásnak, mert többségében nem akkor termeli, amikor azt elfogyasztaná. Ebből

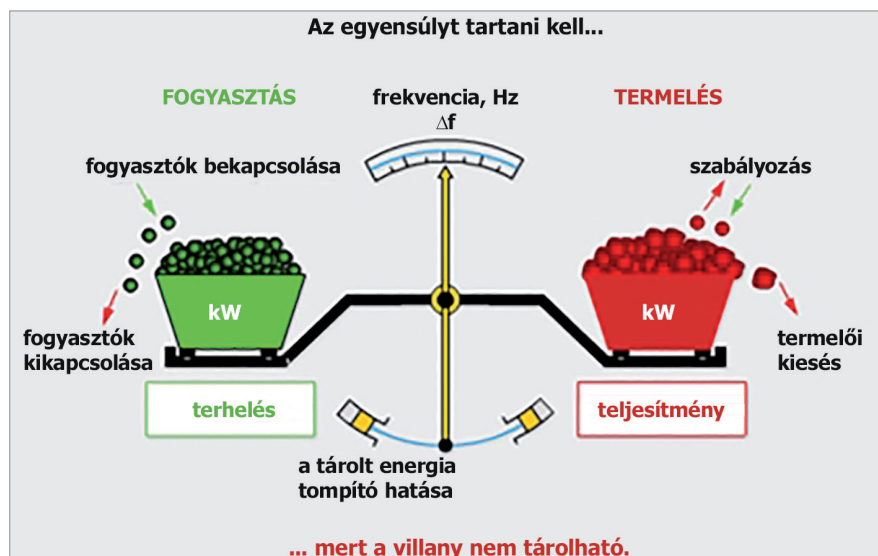
Az „a” scenárió sarokszámai
Key numbers for scenario „a”

„a” scenárió	Összesen
Teljes villamosenergia felhasználás	2523 kWh
Erőmű összeteljesítménye és havi %-os bontásban	2500 Wp
Megtermelt energia	2875 kWh
Energiatároló átlagos kihasználhatósága	62%
Energiatároló teljes kapacitása	0 Wh
Hálózathál vételezett	1892 Wh
Helyben megtermelt és felhasznált energia	631 kWh
Hálózatba visszatáplált	2244 kWh
Helyben megtermelt és elfogyasztott és teljes aránya	25,00%
Hálózathál vételezett és visszatáplált összesen	4136 kWh

Forrás/Source: saját modelledmények/model results of the authors

fakadóan 164%-kal nagyobb villamosenergia-forgalmat generál a háztartás, mint amennyit a napelemes rendszer nélkül tenne. Általánosan ez a villamosenergia-hálózat működéséért felelős szereplők alapvető problémája, mivel jelentősen megnövekszik a rendszer terhelése a hálózatba visszatáplált mennyiség miatt. Az éves szaldós elszámolás esetén hatalmas előny, hogy a rendszer kvázi eltárolja a fogyasztó számára szükséges villamosenergiát, és akkor használhatja fel, amikor éppen akarja.

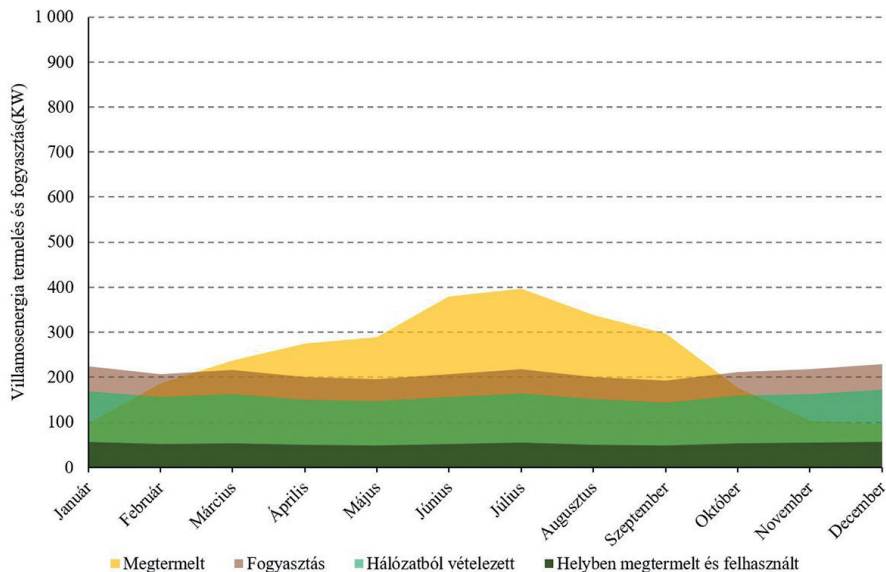
A villamoshálózat önmagában nem képes energiát tárolni, mindig egyensúlyban kell lennie ahhoz, hogy szolgáltatni tudjon (3. ábra).



3. ábra A villamosenergia termelés és fogyasztás egyensúlya
Figure 3 The balance of electricity production and consumption
Forrás/Source: BODNÁR I. (2019)

A legnagyobb kihívást a villamosenergia-hálózat egyensúlyának folyamatos megtartása jelenti. A termelési és a fogyasztási oldalnak (3. ábra) mindig egyensúly közeli állapotban kell lennie különben a váltóáram 50Hz frekvenciája megváltozik, mellyel destabilizálja a hálózatot. A MAVIR az egyensúly megtartásának érdekében a legtöbbször a villamosenergia-termelést igazítja a fogyasztáshoz. Ebben a lakossági oldalon paradigmaváltásra van szükség, ami magában foglalja, hogy a kisebb fogyasztási egységeknek is egyre nagyobb szerepet szükséges vállalnia az egyensúly fenntartásában. Az egyre növekvő napelemes termelés rendszerszintű beavatkozást igényelt. Emellett *nagy hatást gyakorol az egyensúlyra a fogyasztási oldal drasztikus növekedése, a fejlesztésre szoruló hálózat, az urbanizáció, a globális klímakatasztrófa hatásai, az erőművi kiesések, illetve a politikai, gazdasági hatások, támogatási rendszerek, háborúk, válságok is.*

A 4. ábrán látható, hogy az év folyamán hogyan alakul havi bontásban a termelés és a fogyasztás viszonya a már említett 2. táblázatban részletezett példa esetében. A havi bontás során gyakorlatilag 2 metszéspontban van egyensúly, két pillanat erejéig tavasszal és ősszel. A nyári időszakban a 218 kWh fogyasztói szükséglet mellett közel a dupláját, 397 kWh villamosenergiát termel a napelemes rendszer. A téli időszakban pedig a 225 kWh szükséglet kevesebb, mint felére, 97 kWh termelésre képes. A zöld terület mutatja, mennyi energiát sikerült rendszerterhelés nélkül, helyben felhasználni.



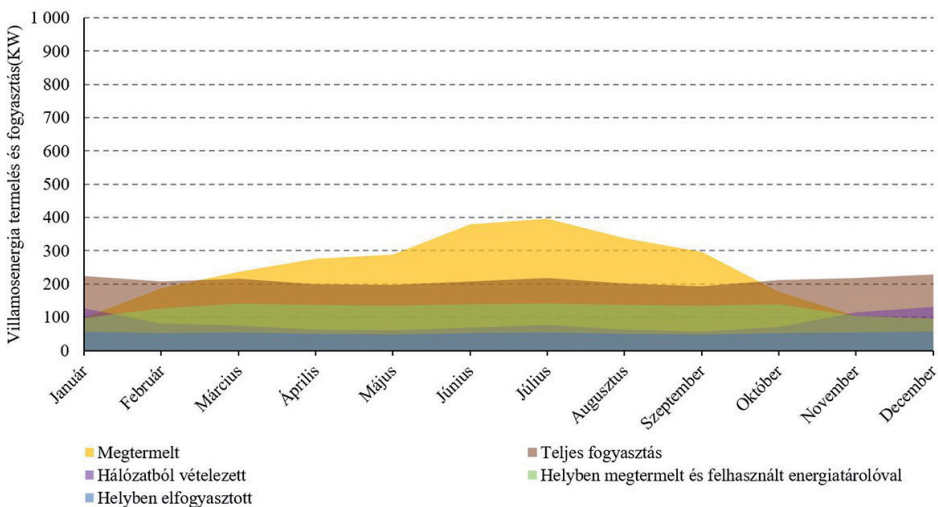
4. ábra Az „a” Szenárió termelése és fogyasztása
 Figure 4 Electricity production and consumption in scenario „a”
 Forrás /Source: Saját szerkesztés/ Authors’ editing

A következő szenáriókban az előzőekben *ismertetett napelemes rendszer különböző méretű (4000, 5000, 6000, 7000 kWh) lítiumion akkumulátorral lett kiegészítve.* Ezen modellfuttatások eredményei megmutatják, az adott méretű napelemes rendszer helyben felhasználható energiamennyisége hogyan növekedne, ezáltal mennyivel csökkenne a hálózatból vételezett és visszatáplált teljes energia mennyisége. A szemléltetéshez a fent leírtakból két szélső eset kiragadva a „b” (5. ábra, 3. táblázat) és az „e” (6. ábra, 4. táblázat) szenárió paraméterei és termelési-fogyasztási ábrái kerülnek bemutatásra.

A „b” scenárió sarokszámai
Key numbers for scenario „b”

„b” scenárió	Összesen
Teljes villamosenergia felhasználás	2523 kWh
Erőmű összeteljesítménye és havi %-os bontásban	2500 Wp
Megtermelt energia	2875 kWh
Energiatároló átlagos kihasználhatósága	62%
Energiatároló teljes kapacitása	4000 Wh
Hálózathálból vételezett	993 Wh
Helyben megtermelt és felhasznált energia	1530 kWh
Hálózatba visszatáplált	1345 kWh
Helyben megtermelt és elfogyasztott és teljes aránya	60,63%
Hálózathálból vételezett és visszatáplált összesen	2339 kWh

Forrás/Source: Saját szerkesztés/Authors' editing



5. ábra A „b” scenárió termelése és fogyasztása

Figure 5 Electricity production and consumption in scenario „b”

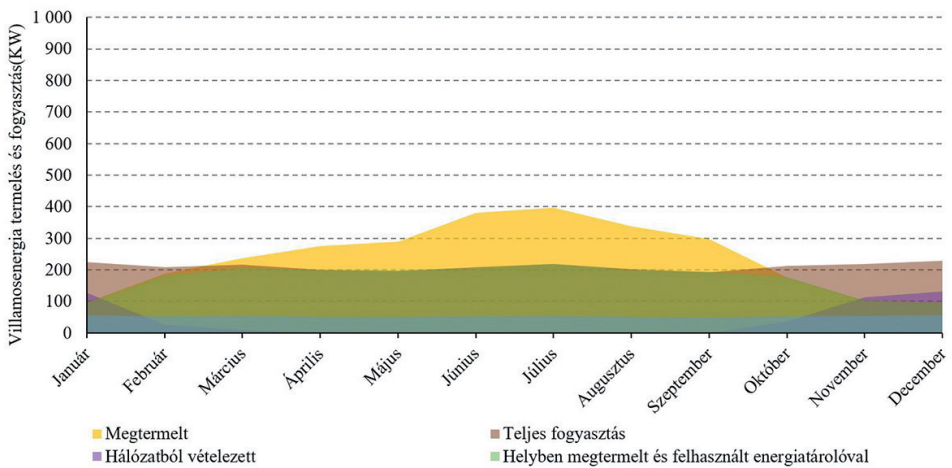
Forrás/Source: Saját szerkesztés/Authors' editing

Jól kivehető, hogy a tárolókapacitás bővítésével folyamatosan nő a helyben felhasználható energia mennyisége, és csökken a hálózat leterheltsége. Az „e” scenárió (6. ábra, 4. táblázat) a 2500 Wp névleges teljesítményű napelem rendszer a 7000 kWh kapacitású lítiumion energiátárolónál éri el az elméleti határértéket. Ennél a rendszer konfigurációnál a háztartás szinte teljesen helyben felhasználja a napelem által megtermelt villamosenergiát. Nem beszélhetünk szigetüzemről, hiszen a háztartás az áramszükségletét 5 hónapon át részlegesen csak a villamoshálózathálból tudja fedezni. Az „e” scenárió esetében az országos rendszer terhelése kellően lecsökkent, kevesebb, mint fele lett a napelem nélküli háztartásokénak.

Az „e” scenárió sarokszámai
Key numbers for scenario „e”

„e” scenárió	Összesen
Teljes villamosenergia felhasználás	2523 kWh
Erőmű összeteljesítménye és havi %-os bontásban	2500 Wp
Megtermelt energia	2875 kWh
Energiatároló átlagos kihasználhatósága	62%
Energiatároló teljes kapacitása	7000 Wh
Hálózathál vételezett	444 Wh
Helyben megtermelt és felhasznált energia	2079 kWh
Hálózatra visszatáplált	797 kWh
Helyben megtermelt és elfogyasztott és teljes aránya	82,40%
Hálózathál vételezett és visszatáplált összesen	1241 kWh

Forrás/Source: Saját szerkesztés/ Authors' editing



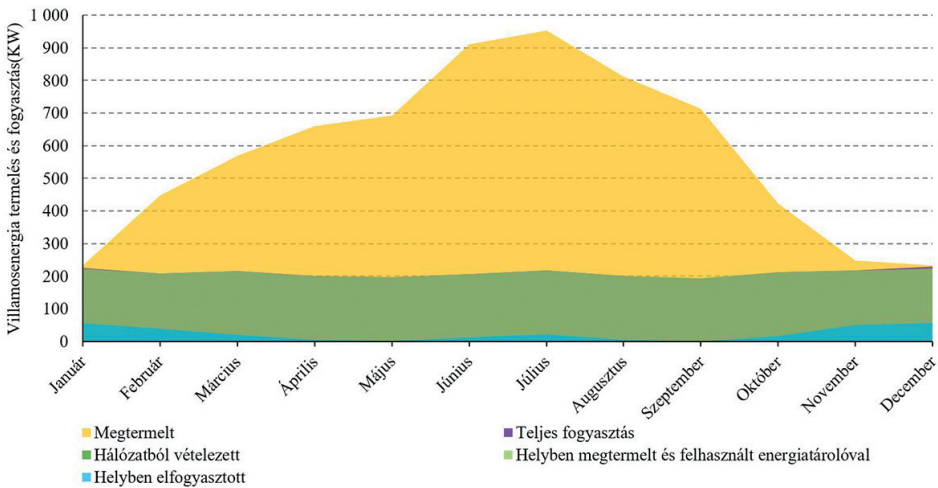
6. ábra Az „e” scenárió termelése és fogyasztása
Figure 6 Electricity production and consumption in scenario „e”
Forrás/Source: Saját szerkesztés/ Authors' editing

Az „f” scenárió megmutatja, hogy az átlagos fogyasztási jellemzőkkel rendelkező háztartásnak mekkora rendszerre van szüksége ahhoz, hogy teljesen leválhasson a villamoshálózatról. Ahhoz, hogy októbertől márciusig biztosított legyen a kellő villamosenergia-mennyiség, legalább 6000 Wp névleges teljesítményre van szükség, és egy 9000 Wh névleges kapacitású energiatárolót is szükséges beépíteni (5. táblázat, 7. ábra). Amennyiben a megtermelt felesleges energia visszatöltésre kerül a hálózatra, akkor a rendszer terhelése nagyon hasonló egy energiatároló nélküli 2500 Wp teljesítményű napelemes rendszerhez.

Az „f” scenárió sarokszámai
Key numbers for scenario „f”

„f” scenárió	Összesen
Teljes villamosenergia felhasználás	2523 kWh
Erőmű összeteljesítménye és havi %-os bontásban	6000 Wp
Megtermelt energia	6900 kWh
Energiatároló átlagos kihasználhatósága	62%
Energiatároló teljes kapacitása	9000 Wh
Hálózathál vételezett	0 Wh
Helyben megtermelt és felhasznált energia	2520 kWh
Hálózatra visszatáplált	4380 kWh
Helyben megtermelt és elfogyasztott és teljes aránya	99,90%
Hálózathál vételezett és visszatáplált összesen	4380 kWh

Forrás/Source: Saját szerkesztés/Authors' editing



7. ábra Az „f” scenárió termelése és fogyasztása

Figure 7 Electricity production and consumption in scenario „f”

Forrás/Source: Saját szerkesztés/Authors' editing

Következtetések

Az Európai Unió, és azon belül Magyarország is elkötelezett a minél nagyobb arányú zöld energiatermelés és -felhasználás, az energiabiztonság és az energiastabilitás mellett. Az energiahiány veszélye és az energiabiztonság növelése miatt szükséges a fogyasztói szokások megváltoztatása. Magyarországon az energiaárak emelkedése a napelembelházások megtérülési idejét kedvezően befolyásolta, sajnálatos módon nem túl sokáig. Az új napelemes rendszertelepítések tekintetében kiveztették a szaldós elszámolást, amelyet

részben a villamosenergia-hálózat jelenlegi állapotára, és az időjárásfüggő napenergia-termelés sajátosságaira lehet visszavezetni. A hálózati terhelés időbeli alakulásának optimalizálásában a fogyasztói szokások megváltoztatásának, valamint a napelemes rendszerek észszerű betáplálásának kulcsfontosságú szerepe van.

A kutatás eredményeképpen a lakossági zöldenergia elterjedésére és a hálózat kisebb terheltségének elérésére vonatkozó fontosabb intézkedési javaslataink:

- *Szaldós elszámolás sávos meghagyása*
- *Bruttó elszámolás sávos bevezetése*
- *Kötött méretű napelemrendszer és energiatároló együttes támogatása*
- *Energiaközösségek térnyerésének serkentése*
- *Mélyszegénységben élő közösségekhez központosított napelemes erőművek telepítése részleges ellátás érdekében*
- *V2H képes elektromos autók extra támogatása, ha rendszeres aktív energiatároló eszközként is használatban van.*
- *Háztartási méretű szél erőművek támogatása*

HORVÁTH GÁBOR
DE TTK Földtudományi Doktori Iskola, Debrecen
gabor@horvath.im

SZEGEDI SÁNDOR
DE TTK Meteorológiai Tanszék, Debrecen
szegedi.sandor@science.unideb.hu

ZAKAR MÁTÉ
DE TTK Földtudományi Doktori Iskola, Debrecen
zakar.mate4@gmail.com

PÓKA CINTIA
DE TTK Földtudományi Doktori Iskola, Debrecen
pokacintia7@gmail.com

TÓTH TAMÁS
DE TTK Meteorológiai Tanszék, Debrecen
toth.tamas@science.unideb.hu

IRODALOM

- ALEX, Z. – CLARK A. – CHEUNG W. – ZOU L. – KLEISSL J. 2014: Minimizing the Lead-Acid Battery Bank Capacity through a Solar PV-Wind Turbine Hybrid System for a high-altitude village in the Nepal Himalayas. – *Energy Procedia* 57. pp. 1516–1525.
- APPUNN, K. – HAAS, Y. – WETTENGEL, J. 2022: Germany's energy consumption and power mix in charts. URL: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>
- APPUNN, K. – ERIKSEN, F. – WETTENGEL, J. 2022: Germany's greenhouse gas emissions and energy transition targets. URL: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-greenhouse-gas-emissions-and-climate-targets>
- BODNÁR I. 2019: Villamosenergetika és biztonságtechnika. – Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Elektrotechnikai és elektronikai Intézet, Miskolc. 150 p.
- DUNKEL Z. – BOZÓ L. – GERESDI I. 2018: Az éghajlatváltozás hatására fellépő környezeti változások és természeti veszélyek. – *Földrajzi Közlemények* 142. 4. pp. 261–271
- HANELT, C. – PETERSEN, T. 2022: COP27 in Egypt – The Role of the EU. URL: <https://globaleurope.eu/globalization/cop27-in-egypt-the-role-of-the-eu/>

- HAVAS M. – HRENKÓ I. 2015: Északnyugat-Magyarország alkalmazása szélenergiák és sűrített levegős energiatároló telepítésére. – Földrajzi Közlemények 139. 4. pp. 273–287
- JACKSON, P. 2007: From Stockholm to Kyoto: A Brief History of Climate Change. – Green Our World! No. 2. XLIV. 79 p.
- JÁSZAY T. – NIEBERL N. 2015: Trendek a magyarországi háztartások villamosenergia-fogyasztásában II. 2015/12. URL: <https://www.villanylap.hu/lapszamok/2015/december/3940-trendek-a-magyarorszag-i-haztartasok-villamosenergia-fogyasztasaban-ii>
- KHAN, M. A. – KHAN, M. Z. – ZAMAN, K. – NAZ, L. 2014: Global estimates of energy consumption and greenhouse gas emissions. – Renewable and Sustainable Energy Reviews 29. pp. 336–344.
- LAKATOS, L. – HEVESSY, G. – KOVÁCS, J. 2011: Advantages and Disadvantages of Solar Energy and Wind-Power Utilization. – World Futures: The Journal of New Paradigm Research 67:6. pp. 395–408.
- LÁZÁR, I. – SZEGEDI, S. – TÓTH, T. – CSÁKBERÉNYI-NAGY, G. 2020: An estimation model based on solar geometry parameters for solar power production. – Energy Reports. 6 (9), pp.1636–1640.
- Magyar Közlöny 2022: URL: <https://magyarkozlony.hu/hivatalos-lapok/j27xYWAZJCt1NRnmeTr763519a94889e5/dokumentumok/8f8dbedf6c1084fab83186324fb38c6862070309/letoltes>
- MAVIR – Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. URL: <https://www.mavir.hu/web/mavir/naptermeles-becsles-es-teny-adatok>
- MEKH – Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (a). URL: http://www.mekh.hu/download/9/85/31000/4_3_Villamos_energia_merleg_2022_januar_december.xlsx
- MEKH – Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (b). URL: http://www.mekh.hu/download/8/85/31000/4_1_orszagaos_villamosenergia_ellatas_havi_2022_januar_december.xlsx
- NONG, D. – SIMSHAUSER, P. – NGUYEN D. B. 2021: Greenhouse gas emissions vs CO₂ emissions: Comparative analysis of a global carbon tax. – Applied Energy 298. pp. 1–11.

Internetes források

- Internet1: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector#energy-electricity-heat-and-transport-73-2>
- Internet2: <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- Internet3: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repower-eu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_hu
- Internet4: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/statement_22_7616
- Internet5: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- Internet6: <https://www.eon.hu/hu/uzleti-es-kozisagzatasi/termek/energetikai-megoldasok/integralt-energetikai-megoldasok/megoldasaink/fogyasztoi-szabalyozas.html>
- Internet7: <https://energiakozossegek.hu/eon-energiakozossegek>