



A nap- és szélenergia hasznosítás helyzete 2020-ban és 2021-ben

Dobi Ildikó¹, Bíróné Kircsi Andrea², Péliné Németh Csilla³

¹Országos Meteorológiai Szolgálat, dobi.i@met.hu

²EPAM Systems Kft.

³Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálat

DOI:10.56474/legkor.2023.1.4

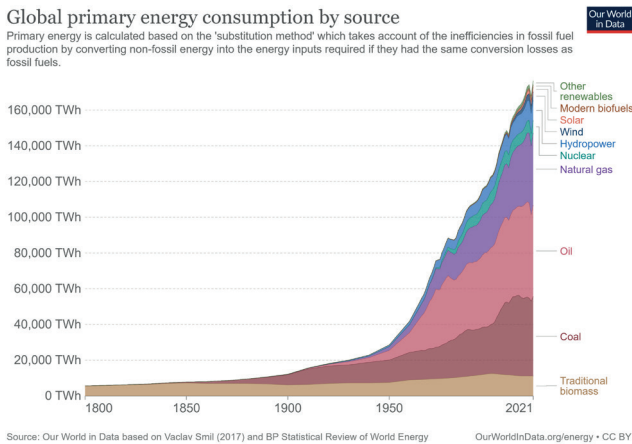
Az idén megújult Léggör „megújuló energia” rovatában hagyományteremtő cikksorozatot indítunk. Évente megjelenő nemzetközi és hazai elemzések alapján válogatást készítünk az energiaszektor, ezen belül a nap- és a szélenergia-hasznosítás globális, Európai Unió és magyarországi helyzetéről, fókuszban az időjárással való összefüggésekre. Ez alkalommal rövid áttekintést adunk az energetika működését alapjaiban meghatározó nemzetközi klíma megállapodásokról, a hatályos legfontosabb szabályozásról. A dekarbonizációs célok néhány évtizeden belül átforgatják a bolygó teljes energiagazdálkodását. Az energiaszektor átalakulásában jelentős szerepet kapnak az időjárásfüggő energiaforrások. Az elmúlt két év változásait érdemes együtt tekinteni, ugyanis a 2020-as pandémia és a lezárásokat követő visszarendeződés 2021-ben sok szempontból példátlan hatással volt az energetikára. Ami közös az elmúlt két évben, az a nap- és a szélenergia beruházások világszerte töretlen, exponenciális növekedése.

Solar and wind energy utilization in 2020 and 2021

This new series starts a new tradition in the renewable energy section of reformed "Léggör" Journal. A selection has been prepared on the state of the energy sector including utilization of solar- and wind energy based on annually published international and domestic analyzes from global, European and Hungarian perspectives. We intend to focus on the news related to the weather. On this occasion we provide a brief overview on the international climate agreements and the most important domestic regulations that basically determine the operation of the energy sector. Within a few decades the decarbonization goals will fundamentally reshape the entire energy management of the planet. Weather-dependent renewable energy resources play an important role in energy transformation. The changes in the past two years are worth to consider together, as the pandemic in 2020 and the reorganization during the following year had an unprecedented impact on energy sector in many ways. What is common in the last two years is the unbroken exponential growth of solar and wind energy investments all over the world.

Energia, környezet és klíma

A teremtett és az ember által létrehozott világot egyaránt a Naptól származó energia mozgatja. A természetben megtalálható energiaforrások az ún. primer energiahordozók, melyeknek egyik csoportja a fosszilis energiaforrások (kőszén, földgáz, kőolaj, uránérc stb.). „Ezekből minden egyes nap akkora mennyiséget termelünk ki és használunk fel, aminek a képződéséhez a földtörténeti múltban legalább 20 ezer évre volt szükség. Másképp fogalmazva a felhasznált energiánk jó részét napkonzervből nyerjük” (Gelencsér, 2011). Másik csoport, a megújuló primer energiaforrások köre, amelyhez tartozik egyebek közt – a cikk fókuszában lévő – időjárás függő nap- és szélenergia. Szekunder energiahordozók a feldolgozással előállított anyagok (kocsz, benzin, kerozin stb.), a hő- és a villamos energia.



1. ábra. Globális primer energiafelhasználás forrásoként 1800-tól 2019-ig [1].

A globális primer energiafelhasználás források szerinti alakulását 1800-tól 2021-ig az 1. ábra mutatja. Az ipari forradalmat közvetlenül megelőző időszakban a Föld népessége megközelítőleg egymilliárd főt számlált. Világszerte fa, növényi hulladék és faszén volt az alapvető primer energiaforrás. Az emberiség becsült energiafogyasztása az 1. ábra szerint 5653 Terawattóra (TWh) lehetett. A 19. század közepén a szénfűtésű gőzgépek világhódító elterjedésével általánossá vált a szén felhasználása, ezzel megkezdődött a fosszilis energiafogyasztás gyors növekedése

és a vele járó környezetszennyezés. A kőolaj és földgáz térhódítása nagyjából a huszadik század első felére datálható. Az első atomerőmű 1954-ben kezdte meg működését. A szélből és napsugárzásból villamos energiát előállító berendezéseket a hatvanas években találták fel, azonban ún. „modern” megújulók robbanásszerű, gyors elterjedése a világban csak az utóbbi évtizedekben következett be. A sokasodó népesség exponenciálisan növekvő energiaigényét érzékelteti, hogy a felhasználás az utóbbi 40 év alatt megduplázódott. A primer globális energiafogyasztás 2021. évi összege 176 431 TWh (BP, 2022a).

Az összes földi szférára kiterjedő környezetszennyezés döntő része az energiatermelésből és felhasználásból származik. A klímaváltozást fokozó üvegházgáz kibocsátás több, mint kétharmad része szintén az energiaszektor révén jut a légkörbe [2]. Az emberiség lélekszáma 2022 végére elérte a 8 milliárd főt, vagyis 1800 óta a nyolcszorosára növekedett, miközben az éves energiafogyasztás a harmincegyszeresére (!) nőtt. Ez a tendencia tarthatatlan, becslések szerint a jelenlegi életmód és népességnövekedés mellett 2050-re három Föld kellene az emberiség növekvő energiaigényének kielégítéséhez.

Az ipari forradalom óta sok idő telt el a környezet, a klíma és az energetika kölcsönös összefüggéseinek felismeréséig, a három területet átfogó globális együttműködések kialakulásáig. Az energiagazdálkodás területén nemzetközi szintű egyeztetések 1923-ban az Energia Világtanács (WEC) megalakulásával kezdődtek, a Kőolaj Exportáló Országok Szervezete (OPEC) 1960-ban jött létre (Farágó, 2019). A környezet ügyét illetően 1968-ban jelent meg a Római Klub jelentése a világ társadalmi, gazdasági, környezeti erőforrásainak elemzéséről és előrejelzéséről. Az első ENSZ szintű Világkonferencia az emberi környezet megóvása érdekében 1972-ben Stockholmban került megrendezésre, ezt követően körvonalazódott az európai közösségi környezetpolitika. Az 1873-ban alapított IMO (International Meteorological Organization) jogutóda 1950 óta a WMO (World Meteorological Organization), a Meteorológiai Világszervezet. Az éghajlati folyamatok jobb megértése érdekében a WMO

1973-ban elindította az első globális légkörkutató programot (GARP). Az expedíciós mérések feldolgozását követően 1976-ban állásfoglalást adott ki a globális éghajlatváltozás kockázatáról, a szükséges tennivalókról. A WMO Éghajlati Világprogramja (WCP) 1980-ban kezdődött.

A második Éghajlati Világkonferencián 1988-ban a WMO az ENSZ Környezetvédelmi Programjával (UNEP) közösen létrehozta a Éghajlatváltozási Kormányközi Testületet (IPCC). Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye (UNFCCC) a riói Fenntartható Fejlődés Konferencia gyümölcse, amely az összes ENSZ tagállam ratifikálását követően 1994-ben lépett hatályba. A klímapolitika legfontosabb szervezete az 1995 óta évente megrendezésre kerülő Részleges Felek Konferenciája (COP), melynek egyik feladata a klíma és energetika egymással összefüggő közösségi szintű kezelése, konkrét célok kitűzése, rendszeres felülvizsgálata (Faragó, 2018). Mára a klímapolitikai joganyagok teljességgel behatárolják az energiaszektor működését, ezért a következő három fejezetben szükségesnek találtuk röviden összefoglalni a meghatározó hatályos jogi előírásokat globális, EU és hazai nézőpontból.

A nemzetközi célkitűzések folyamatos monitoringját az ezredfordulót követően létrejött szervezetek és ügynökségek elemzése segítik (Faragó, 2019). A legismertebbek a 2003-ban alakult Megújuló Energia és Energiahatékonysági Partnerség (REEEP), a megújuló energiákra szakosodott nemzetközi hálózat a REN21, a 2009-ben létrejött Nemzetközi Megújuló Ügynökség (IRENA). Energia témában rendszeres és időszakosan elemzéseket publikálnak egyebek közt a British Petrol (BP) és a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) World Energy Outlook kiadványa. Európára fókuszál az Európai Környezet Ügynökség (EEA) és az EuroObserver. Magyarországra a Magyar Energia és Közműszabályozási Hivatal (MEKH) és a MAVIR tesz közzé rendszeres jelentéseket.

A felsorolt és egyéb forrásokból származó elemzésekből, cikkekből válogatunk aktuális információkat az energiafogyasztás, az energiamix jellemzőiről, a nap- és szélenergia globális, európai és magyarországi helyzetéről.

Az áttekintés kiterjed az időjárás-függő energiaforrások integrációját érintő sajátos nemzetközi és hazai meteorológiai tapasztalatokra. A 2020-ban a pandémia miatt hozott intézkedések következményei az energetikai ágazatra kivételes hatást gyakoroltak. A 2020 és 2021-es éveket így együttesen vizsgáltuk, továbbá utalunk a jövőben tervezett tendenciákra.

Jogháttér – globális

Energetika szempontjából a dekarbonizációs törekvések kezdete az említett Rio de Janeiro-i Világtalálkozóra, 1992-re datálható. Az UNFCCC keretében először került tételesen említésre az energiagazdálkodás szerepe, és ezen a fórumon deklarálták először az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának csökkentését (Faragó, 2022). Az 1997-es Kiotói Jegyzőkönyvben, majd 2012-ben a Dohai módosításban már megjelentek a számszerű kibocsátás-csökkentés vállalások. A 2015. évi Párizsi Megállapodás 2 °C fokban maximalta a felszínhőmérséklet emelkedését és az ágazatot érintően dekarbonizációs ütemtervet határozott meg. 2021-ben a Glasgow-i Éghajlati Egyezség (COP26) keretében megállapodás született arról, hogy a globális átlagos felszínhőmérséklet-emelkedést 1,5 °C-nál meg kell állítani. A fő kibocsátót, az energiaszektorot érintően három fontos döntés született. Egyrészt a tagállamok vállalták a szénhasználat fokozatos csökkentését. Másrészt az aláírók kötelezettséget vállaltak a fosszilis tüzelőanyagok állami támogatásának felszámolásáról, továbbá célként tűzték ki a karbonsemlegesség elérését 2050-re.

A fosszilis energiahordozókról a karbonmentes gazdaságra történő áttérés az energetikára nézve alapvető paradigmaváltást jelent. A profitorientált ágazat működését a jövőben a klíma célokhoz kell igazítani, ennek érdekében az energiaszektor működését gyökeresen át kell alakítani. A dekarbonizáció jegyében 2050-re a teljes energiafogyasztáson belül az áramellátás arányát 25%-ról 90%-ra kell növelni, ami az emberiség történelmében példátlanul gyors energiaátmenetet kíván. A globális dekarbonizációs törekvések előírányzott kulcsterületei a szél- és a napenergia alkalmazása.

Jogháttér – Európai Unió

Európa nem rendelkezik jelentős mértékben energiaforrásokkal, ezért az energiainport szempontjából a világon a legkiszolgáltatottabb kontinens. Emiatt az Unió elsődleges célja a fosszilis energia-felhasználás fokozatos megszüntetése, a klímasemlegesség megvalósítása 2050-re. A Párizsi Megállapodás keretében tett kötelezettségvállalások teljesítéséhez az évszázad közepére Európa a világ első karbonsemleges kontinensévé kíván válni. Ezt a célt a társadalmi-gazdasági rendszer gyökeres átalakításával, az Energiaunió létrehozásával kívánják megoldani. Az EU üvegházgáz-kibocsátásának több, mint 75%-ért az energiatermelés és -felhasználás felelős. Az energetikai ágazat működését a klímacélokhoz igazítják a nettó zéró emissziójú gazdaság elérése érdekében.

Az ambiciózus célok elérését biztosító szabályozás megújuló energiákra vonatkozó alábbi összegzését az EU hivatalos honlapjainak, az „Energia szakpolitikára” vonatkozó anyagából állítottuk össze [3-6]. A tiszta, megfizethető, biztonságos és fenntartható energiaellátás biztosítása érdekében 2015-ben az Európai Bizottság megalkotta az Energiaunió hosszú távú stratégiáját, amely egyaránt megoldást kínál az energiafüggőség, az elavuló infrastruktúra és a dekarbonizáció kihívására. 2016-ban jelent meg a hozzá tartozó „Tiszta energia minden európainak” elnevezésű jogszabálysomag, amelynek folytatásaként 2019-ben elfogadásra került egyebek közt a villamos energiáról szóló rendelet és irányelv is. A 2050-es éghajlatpolitikai célok megvalósítását biztosító második stratégia az ún. „zöld megállapodást” (European Green Deal) szintén 2019-ben fogadták el. A szakpolitikai intézkedési csomag összefogja a környezetvédelem, az energetika, a közlekedés, az ipar, a mezőgazdaság és a fenntartható finanszírozás stb. területeket.

Az „Irány az 55%!” joganyag tartalmazza a 2030-as célok eléréséhez szükséges jogalkotási javaslatcsomagot. Az EU tagállamok kötelezettséget vállaltak arra, hogy az 1990-es szinthez képest 2030-ig legalább 55%-kal csökkentik az EU nettó üvegházhatásúgáz-kibocsátását, a megújuló energia részarányának növelésére

pedig 40%-os célérték szerepelt. Az orosz-ukrán háború felgyorsítja az „Energiewende” néven emlegetett energiafordulatot. A 2022. márciusban közzétett REPowerEU csomag az orosz gáz helyett a napenergiára, a cseppfolyós gázra (LNG), és a – még kutatási fázisban lévő – biometánra, valamint a hidrogénre épít. A fotovillamos beruházások beépített összkapacitása 2025-re az EU tagállamokban együttesen meg kell, hogy haladja a 320 GW-ot (ez a 2020-as adat több, mint kétszerese), 2030-ig pedig közel 600 GW-ot.

Az EU klímavédelmi rendszerében az energiatermelés a kibocsátáskereskedelem (EU-ETS) szabályrendszere alá fog tartozni. Jelenleg az Európai Unióban a szuverenitás elve hivatott biztosítani azt, hogy a tagállamok önállóan jogosultak az energiamix meghatározására, csak bejelentési kötelezettségük van. Az ETS-szektorban nem léteznek külön tagállami célkitűzések.

Jogháttér – Magyarország

Magyarország az előző fejezetekben felsorolt globális megállapodások mindegyikéhez csatlakozott. Hazánk 1997 óta a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) tagja, és 2003 óta a hazai jogi szabályozást az EU irányelvei és joganyagai határozzák meg. A közép- és hosszútávú kibocsátáscsökkentési célszámokat a 2020. évi XLIV. törvény rögzíti. Hazánk vállalta az üvegházgázok kibocsátásának 40%-kal való csökkentését 2030-ig; ennek eléréséhez a megújuló energiák részarányát a bruttó végső energiafelhasználásban minimum 21%-ra növeli. Az EU-s célkitűzésekkel összhangban 2050-ig kívánjuk elérni a klímasemlegességet, miközben az ipari szén teljes kivezetésének határideje 2030.

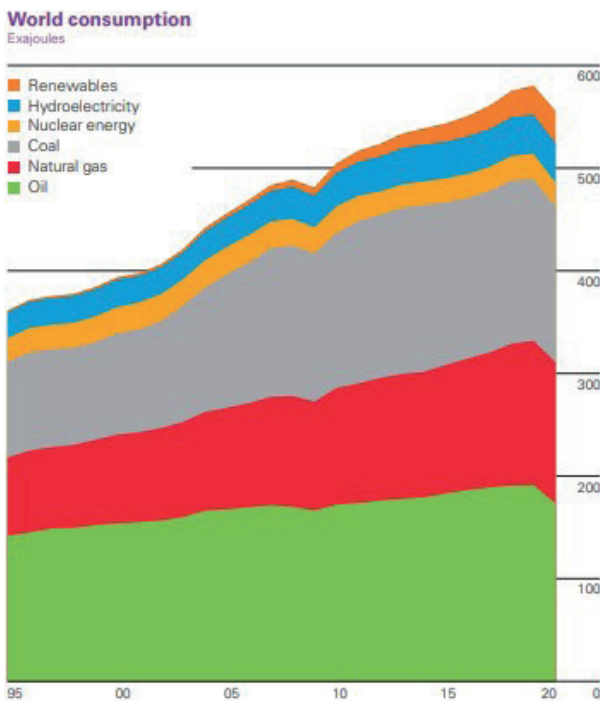
A 2020 januárjában elfogadott Nemzeti Energia- és Klímaterv (NEKT) szerint az ország napenergia kapacitása 2030-ra 6 500 MW-ra, 2040-re 12 000 MW-ra növekszik, miközben 2035-re legalább 200 ezer háztartás kell, hogy rendelkezzen tetőre szerelt napelemekkel (ZKK, 2/2022). Ennek megvalósítása érdekében a Megújuló Támogatási Rendszer (METÁR) mellett lakossági napelemes pályázatok kerülnek meghirdetésre. Az alábbiakban a teljesség igénye nélkül a jelenleg hatályos legfontosabb szabályzók listáját soroljuk fel.

- Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve
- Nemzeti Éghajlatváltozási stratégia
- Első Éghajlatváltozási Cselekvési Terv
- Nemzeti Tiszta Fejlődés Stratégia
- Magyarország Nemzeti Energia és Klímaterve
- Nemzeti Energiastratégia 2030 kitekintéssel
- Klíma és Természetvédelmi Akcióterv

A Magyar Energia és Közműszabályozási Hivatal a villamosenergia szektor, ezen belül az időjárás függő megújuló energiaforrások integrációját szabályozó hatóságként működik 2013 óta, miközben a villamosenergia átviteli, rendszerirányítási, elosztási területekre 2008 óta a MAVIR joganyagai irányadók.

Globális helyzet

Az emberiség primer energiafogyasztása 2020-ban 564 EJ volt, amely a pandémia következtében az előző évhez viszonyítva 4,5%-os



2. ábra. A világ primer energiafogyasztása (BP, 2022a).

Primer energiahordozók	1965	2021
fosszilis	93,38	82,28
megújuló	6,45	13,47
atom	0,17	4,25

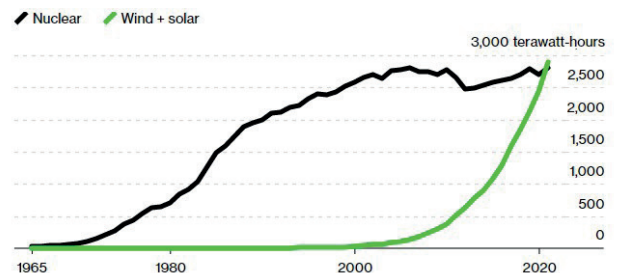
1. táblázat. Primer fosszilis, megújuló és atomenergia felhasználás a világon (%-ban)

(Megj.: a megújulók tartalmazzák a vízi-, nap-, szél-, geotermikus, hullám, ár-ápoly továbbá bioenergiát [8]).

csökkenést jelent, ez a második világháború óta a legnagyobb visszaesés (2. ábra). A szén-dioxid kibocsátás globális 6,3%-os csökkenése húszéves rekord. 2020 fontos mérföldkő volt a klímapolitikában is. Sok ország [7] a nettó zéró kibocsátás irányába új vállalást tett. A lezárások feloldását követően a 2021. évi primer energiafelhasználás 595 EJ volt, amely a teljes idősorban példa nélküli, 5,8%-os növekedést mutat (BP, 2022a).

A világ primer energiafelhasználásának összetételét a fosszilis, a megújulók és az atomenergia arányában 1965. és 2021. évekre az 1. táblázat tartalmazza. Amint az adatokból leolvasható, a primer forrás szerkezete lassan változik. Az elmúlt 56 év alatt a fosszilis energia felhasználása mindössze 11,9%-kal csökkent, a megújulók arányának duplázása 108,8%-os növekedést jelent.

Az energiamix átrendeződése az utóbbi évtizedben felgyorsult. A szél- és a napenergia aránya az áramtermelésben 2%-ról 10%-ra nőtt, aminek az a különleges jelentősége, hogy a szél- és a naperőművek névleges teljesítménye ezzel elérte a világon működő összes atomerőmű összteljesítményét (3. ábra).



3. ábra. Globális atomenergia (fekete vonal), valamint a szél- és napenergia (zöld vonal) előállítás időszora 1965-2021 között (Bullard, 2022).

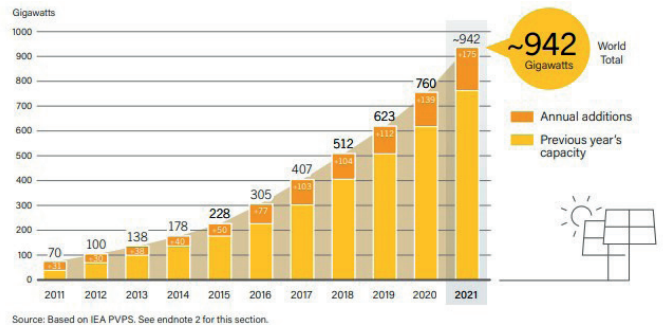
Kína közel egy évtizede a megújuló energia szektor élén jár, 2020-ban a létesült kapacitások 45%-át (117 GW-ot) Kínában telepítették. Az éves rangsorban USA, Brazília, India után 132 GW-al ötödikként következik Németország. Kína a koncentrált napenergia (CSP), a vízenergia, a fotovillamos (PV) és az offshore szélenergia területén abszolút világelső. Az egy főre jutó kapacitás tekintetében viszont a világranglistát Izland vezeti, Kína a 23. helyen áll [9].

A 4. ábra szemlélteti a napelemek beépített névleges teljesítményét, mely 2011 óta exponenciálisan növekszik [7]. 2021-ben a PV telepítések globális összteljesítmény 942 GW, az éves növekmény 175 GW. A piacvezető Kína, akit USA és India követ. Európából Német-, Spanyol- és Franciaország került fel a TOP10-be. Az utóbbi évek során akadozott a kínai napelemek üvegellátása egyrészt a világjárvány, másrészt a poliszilikát gyártása során bekövetkezett ipari balesetek miatt. Ez sokfelé ösztönzőleg hatott a helyi gyártás beindítására és a napelemek újrahasznosítására.

A napkollektorok közvetlen hőtermelése 2020-ban 501 GWth (gigawatt-hő) volt, az éves növekmény 25,2 GWth. A szoláris távfűtésre új piacok nyíltak Európában: Horvátország, Koszovó és Szerbia. 2021-ben a világszerte installált nettó kapacitás elérte a 843,1 GW-ot, ennek több mint felét 53,7%-át adta Ázsia [10]. Ez volt az első év, amikor a maximum nettó PV kapacitás meghaladta a szélenergiát (EuroObserver, 2022a). Megjegyzés: A CSP technológia hasonló jellegű növekedést mutat.

A szárazföldi „onshore” és tengerparti „offshore” széltermőművek 2021. évi globális becslült összteljesítménye 845 GW, ezen belül 102 GW-os éves növekedéssel [7]. A világrangsorban Kínát Németország és India követi, a TOP 10-ben Törökország és Vietnam is szerepel. A tengeri szél hasznosítás népszerűsége a magas kapacitástényezők, a közel egységes termelési profilok és csökkenő költségek miatt világszerte növekszik.

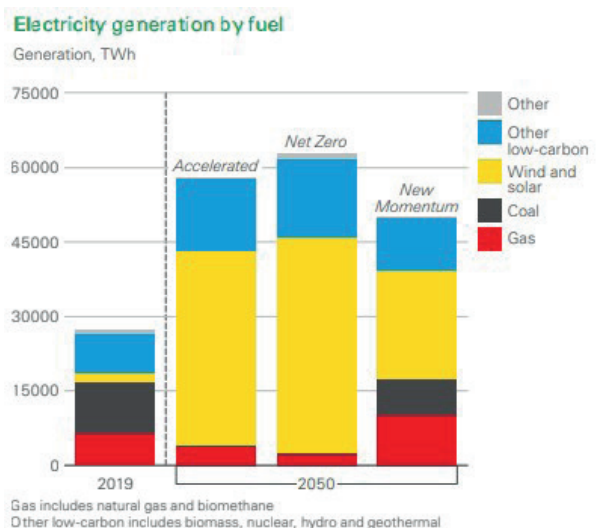
2040-ra a Föld népessége előreláthatólag 1,5 milliárd fővel fog gyarapodni, becslések szerint az energiaigény a 2017-ben regisztrált értékhez képest várhatóan negyedével nő (Molnár, 2020). A fosszilis energiahordozó készletek kimerülőben vannak, a ma ismert nyersolaj és földgáz



4. ábra. Globális PV kapacitás és az éves növekmények 2011-2021 között [7].

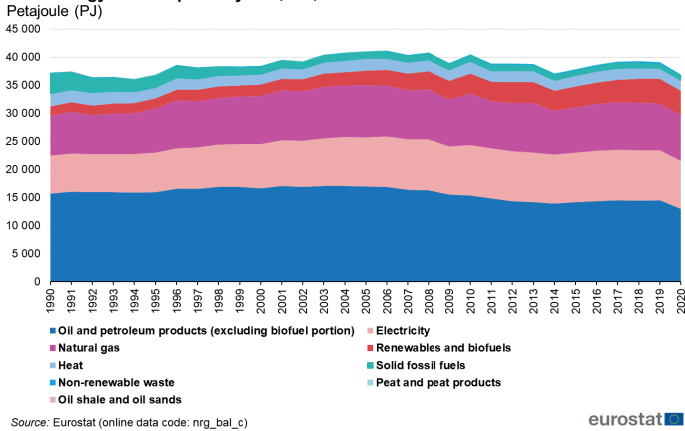
készletek – növekvő népesség, jelenlegi lelőhelyek, technológiai és felhasználás mellett – nagyjából az évszázad közepére, a szénkészletek a jövő évszázad elejére kimerülnek.

A British Petrol (2022c) az energiaszektor emisszió-csökkentésének megvalósításához három alternatívával, az ún. „gyorsított”, a „nettó zéró” és az „új lendület” (Accelerated, Net Zero, and New Momentum) globális forgatókönyvekkel számol (5. ábra). Mindhárom modellben 2050-re várhatóan elsősorban az offshore (tengeri) szélenergia, és másodsorban pedig a napenergia dominanciája jellemző, a kettő együtt legalább 70%-os arányt fog képviselni.



5. ábra. Az elektromos áram előállítása forrásonként 2019-ben és forgatókönyvek 2050-re (BP, 2022c).

Final energy consumption by fuel, EU, 1990-2020



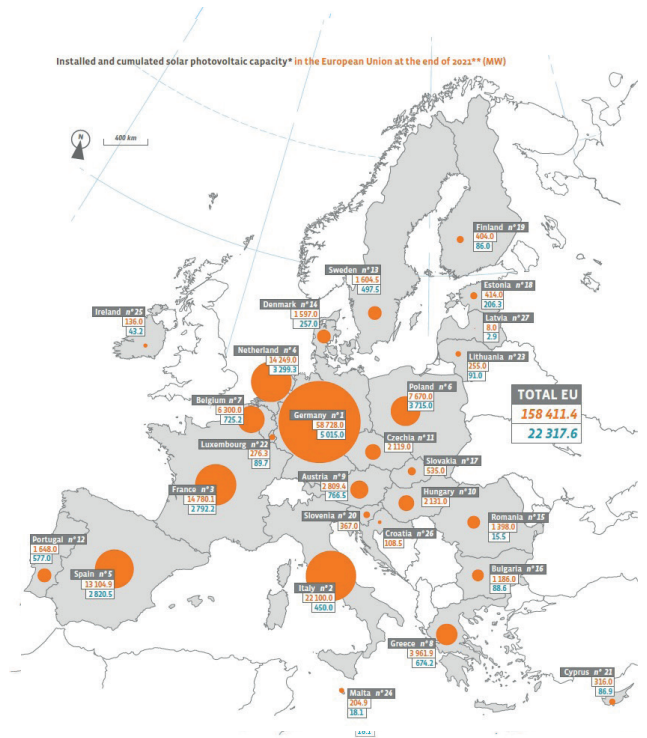
6. ábra. Az EU végső energiafelhasználása üzemanyagok szerint 1990 és 2020 között [13].

Európai helyzet 2020-ban és 2021-ben

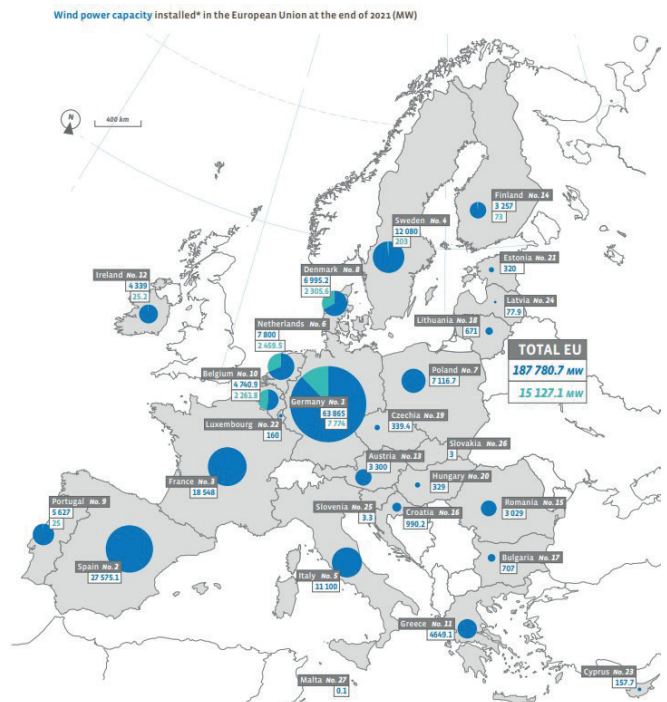
Amint az európai jogi fejezetnél említettük, az Unió energiáimport függősége a legnagyobb a világon: a 2008. és 2020. évek átlagban 57,5% [11]. Az EU-27-ből 17 országban az energiáimport függőség mértéke meghaladja az 50%-ot. A legmagasabb függőségi aránnyal jellemezhető államok Málta (98%), Luxemburg (95%) és Ciprus (92%). A leginkább önellátó országok Észtország (0,7%), Dánia és Románia egyaránt 24%-kal [12].

A végső energiafelhasználás az EU-ban 2020-ban 37 086 PJ volt, az előző évhez viszonyítva 5,6%-kal csökkent (6. ábra). A pandémiával összefüggésben 2020-ban a primer energiafelhasználás az előző évhez képest 8,5%-kal csökkent, 1984 óta ez a legalacsonyabb érték. Ehhez hozzájárult a szénfelhasználás 19%-os, a közlekedési szankciók következtében az olaj 14%-os és a gáz 3%-os visszaesése. Az év során a nettó szén-dioxid kibocsátás 13%-kal csökkent, ami a legalacsonyabb szint 1965 óta (BP, 2021). Összetételét illetően 2021-ben az EU primer energiafogyasztásának 70%-a fosszilis, 13,2%-a megújuló, a maradék nukleáris és vízi energiából származott. Az energiamixben a szélenergia aránya 6,1%, a napenergiáé 2,5% volt.

A Covid-19 világválság ideje alatti ellátási zavarok ellenére a napenergia piac jól szerepelt. Beépített új PV kapacitás tekintetében Németország,



7. ábra. Az Európai Unióban 2021-ben létesített és összesített fotovillamos kapacitások (EuroObserver, 2022a).



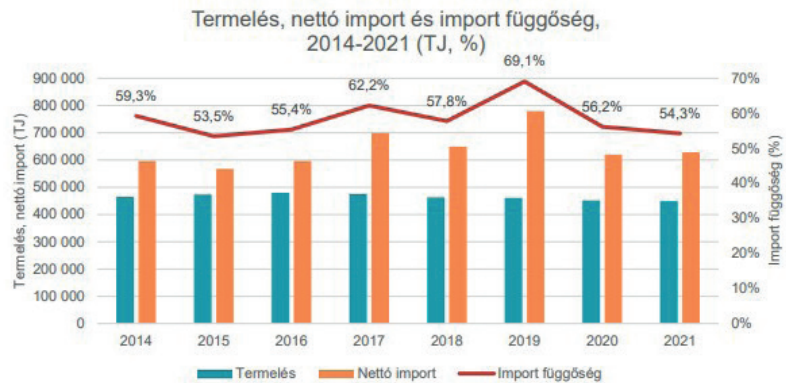
8. ábra. Az Európai Unióban 2021-ben létesített és összesített szélenergia kapacitások (EuroObserver, 2022b).

a lakosságszám arányában pedig Hollandia lett tavaly az első (7. ábra). Az EuroObserver (2022a) fotovillamos adatai szerint a kumulatív kapacitás az EU-ban 2021-ben 22 317,6 MW volt, ezzel a névleges összteljesítmény a kontinensen 158 411,4 MW-ra növekedett. Lengyelország egy év alatt megduplázta a PV installációkat, így a legnagyobb éves növekményt érte el. Magyarország először került be a TOP 10-be.

Az EuroObserver (2022b) szél adatai (8. ábra) szerint az EU-27 országokban 2021-ben 11 GW új szélerőmű létesült, ezzel a kumulatív érték 187,8 GW, amiből az offshore 15,1 GW. Az erőfeszítések ellenére a tavalyi összes beruházás mindössze harmada annak, amennyire az ambiciózus 2030-as célszámok eléréséhez időarányosan szükség lenne. A kontinensen Németország, Spanyolország és Franciaország jelenleg a piacvezető. Németország 2050 helyett már 2035-re megcélozta az ország villamosenergia-ellátásának 100%-ban megújuló forrásból történő ellátását.

Az időjárástól való függés okozta nehézségek jól megmutatkoztak a német megújuló piacon, ugyanis 2021 az előző évhez viszonyítva szélcsendesebb volt, emiatt az 1677 MW új szélerőmű beruházás ellenére az előállított energia éves teljesítménye az előző évinél 13,8%-kal kevesebb lett (EuroObserver, 2022b).

A British Petrol (2022a) statisztikai kiadványa szerint néhány tengerparti országban a szélenergia jelentős arányban járul hozzá a villamosenergia-termeléshez: Dániában kb. 58%, Írországban 38%, Egyesült Királyságban 24%. Az offshore szélerőmű-parkok létesítése 2016 óta tíz országot tömörítő nemzetközi együttműködés keretében zajlik a kontinensen. A szélből nyert energiát sok száz kilométeren át víz alatt kábeleken továbbítják pl. Dániából Belgiumba. Mindez ugyan drágább megoldás, mint a szárazföldi parkok, de az erőművek egyenletesen nagyobb teljesítménye miatt gazdaságosabb.



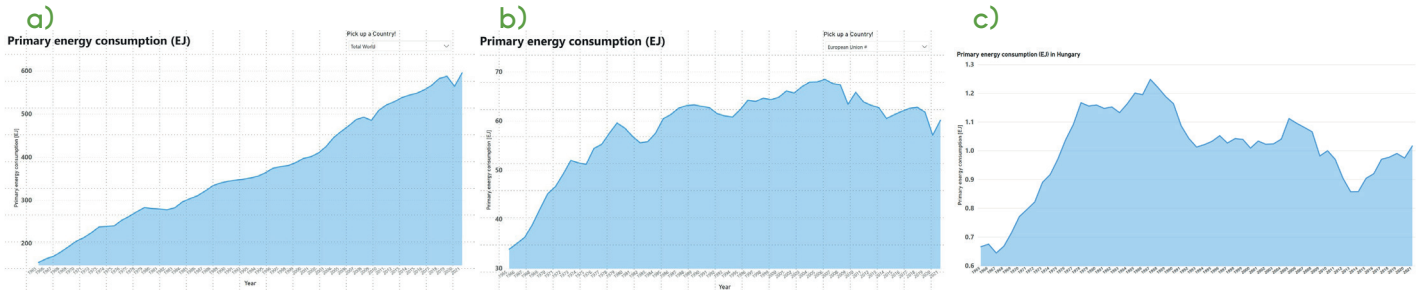
9. ábra. Elsődleges energiahordozók termelése, nettó import és importfüggőség alakulása [16].

Az EU jövőre vonatkozó energetikai terveit felülírja az orosz-ukrán háború, felgyorsítja a dekarbonizációs törekvéseket és rövidíti a megvalósítási határidőket. A tagországok 2022 augusztusától szénembargót vezettek be, a Bizottság 2027-ig teljesen meg kívánja szüntetni az orosz gázimportot. Emiatt számos EU ország döntött a megújuló energiák elterjesztésének felgyorsítása mellett, ami azonban növeli a kínai ellátási láncoktól való függőséget. Ennek ellensúlyozására az Európai Bizottság programot hirdetett, hogy „hozzuk vissza a gyártást Európába” a nyersanyagtól az újrahasznosításig. 2030-ra a kontinensen a cél az 1 TW napenergia kapacitás [14].

Magyarországi helyzet 2020-ban és 2021-ben

Hazánk energiaellátásának túlnyomó részét kőolaj, földgáz és széntermékek behozatala biztosítja. Az Unió 27 tagállamának átlagos energiaimport-függőségi rangsorában Magyarország a középmezőnyben szerepel, 2000-ben pl. a 15. helyen állt [15]. 2015 óta minden évben az uniós átlag feletti a behozatal, az import-függőség csúcspontja 2019-ben 69,1% volt, ez az érték 2021-ben 54,3%-ra mérséklődött (9. ábra).

A MEKH energiastatisztikai riportja (2022) szerint a hazai primer energiatermelés tavaly 448,8 PJ volt, az előző évhez viszonyítva 0,6%-kal csökkent. A lignit, földgáz és nukleáris energiatermelés kevesebb, a kőolaj és a megújuló



10. ábra. Primer energia fogyasztás 1965–2021: világ (a), EU-27 (b), Magyarország (c) (BP, 2022a).

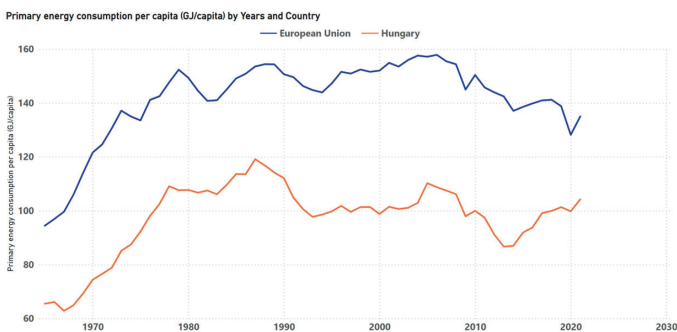
energiatermelés pedig több volt az előző évinél. A megújuló energia előretörése a napenergia beruházások állami támogatásának köszönhetően jelentős mértékben növekedett. A villamos energia hálózatra csatlakozott napelemek névleges teljesítménye 2021 végére megközelítette a 3000 MW-ot, ezzel a napenergiából származó primer energia-termelés egy év alatt 56,5%-kal növekedett.

Magyarország primer belföldi energiafelhasználása 2021-ben 1152,5 PJ volt, az előző évekhez képest emelkedett. Összetételét illetően a hazai ellátást elsődlegesen fosszilis energiahordozók (68,4%), nukleáris energia (15,2%), egyre növekvő mértékben elsődleges megújuló energiaforrások (12,5%), valamint villamos energia nettó import (4%-a) biztosította. A MEKH (2022) statisztikái szerint míg a 2020. április és október között a pandémia miatti lezárások átlagosan 5–10%-os terheléscsökkenést eredményeztek a havi bruttó villamosenergia-felhasználásban, addig 2021-ben 7–13,7%-os havi növekmény volt megfigyelhető. A magyar villamosenergia-rendszer legfontosabb mutatóit tekintve 2021 a rekordok éve volt (MAVIR, 2022).

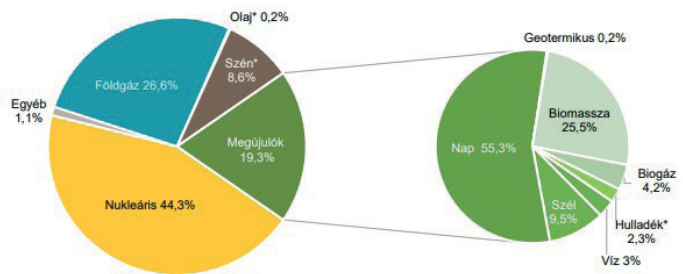
A primer energiafogyasztás 1965–2021 közötti időszaka jól érzékelteti a pandémia miatti korlátozások és feloldásuk hatását globálisan a világra, Európára és Magyarországra (10. ábra). Szembetűnő, hogy mindhárom ábrán a 2020 év visszaesést, a 2021 növekedést okozott. A „V” alakú változás globális léptékben – ahogy korábban említettük – egészen kivételes, Európára nézve kiugró, a magyarországi adatok közt kevésbé markáns eltérés mutatkozik.

A British Petrol egy főre jutó primer energiafelhasználás statisztikáiból látható (11. ábra), hogy egy magyar állampolgár az európai átlagnál lényegesen kevesebb energiát használ fel.

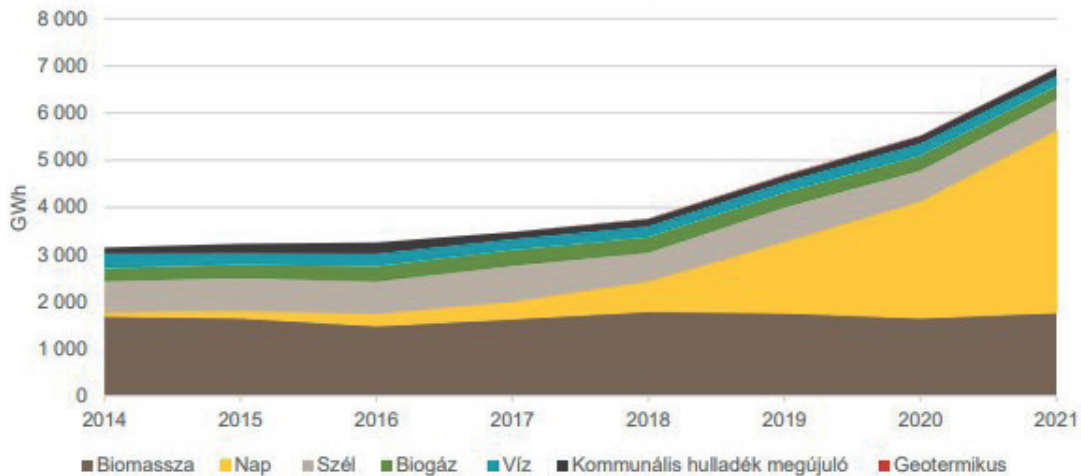
A 2021. évi bruttó villamosenergia-felhasználás 48 885 GWh, a termelés 36 130 GWh volt. A hazai energiatermelés 63,5%-a karbonsemleges forrásból, azaz 44,3%-a nukleáris, 19,3%-a megújuló energiahordozókból származott (12. ábra). A megújuló energiaforrásokból termelt bruttó villamos energia mennyisége több mint negyedével, a megújuló energiaforrásokból termelt hő 6,1%-kal nőtt 2020-hoz képest.



11. ábra. Egy főre jutó primer energiafelhasználás az EU-ban és Magyarországon (BP, 2022a).



12. ábra. Bruttó villamos energia-termelés megoszlása energiahordozók szerint [16].

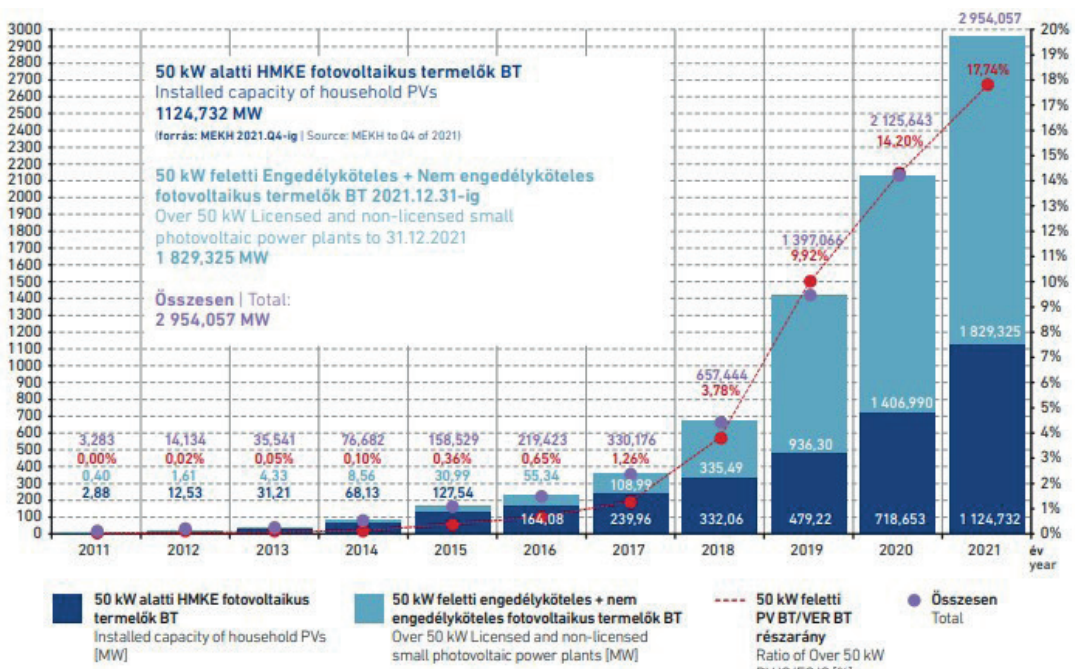


13. ábra. Megújuló energiaforrásokból termelt bruttó villamos energia alakulása [16].

2021-ben a hazai napenergia termelés meghaladott minden korábbi rekordot. A hazai energiamixben a naperőművek által előállított villamos energia mennyisége 2021-ben 3 793 GWh volt, ami 54,3%-os növekedés az előző évhez képest (13. ábra). A teljes bruttó termelésben a napenergia aránya 10,6%. A megújuló energiaforrásokból

előállított villamos energia részaránya a bruttó végső energiafelhasználáson belül 14,3%-ra emelkedett. Tendenciát illetően az elmúlt 10 évben több mint 400-szorosára gyarapodott a PV termelők száma.

2021 végén 137 166 db napenergia termelőegység üzemelt a rendszerben, ezek 98%-a háztartási méretű (HMKE) (14. ábra). A tetőkön



14. ábra. A háztartási méretű (50 kW alatti), engedélyköteles és nem engedélyköteles fotovillamos (50kW és az afelatti) kiserőművek darabszámának változása 2010.01.01-2021.12.31.-ig [18].

működő napelemek teljesítőképessége a MEKH adatközlése alapján elérte a 2 954 MW-ot. Amint korábban említettük, Magyarország az elmúlt években a tíz legnagyobb éves fotovillamos (PV) kapacitásbővülést produkáló tagország között szerepel.

A hatályos jogi szabályozás következtében a szél-erőművek kapacitása hazánkban 2011 óta változatlanul közel 330 MW. A szél-erőművek termelése rendszerint a hideg, vagyis az ősztől tavaszig terjedő időszakban a legnagyobb, míg nyáron viszszaesik, ezáltal némileg kompenzálja a napenergia termelést. A turbinák éves átlagos kihasználtsága 20–25% között alakul, meghaladva a nagyméretű naperőművek 14–17% közötti kihasználtságát [19].

A MAVIR rendszerirányítás feladata a fogyasztás és termelés egyensúlyban tartása, az egyenletes áramtermelés biztosítása (Kovács, 2022). A mindenkori aktuális állapotot az intézmény honlapján a „Rendszerterhelés” menüpont alatt lehet nyomon követni: <https://www.mavir.hu/web/mavir/rendszerterheles>. Nemzetközi és hazai tapasztalatok szerint az időjárás kaotikus jellegű viselkedése labilizálja a VER (Villamosenergia Ellátó Rendszer) működését (Hanula és Németh, 2021), ugyanis a kiegyenlítéshez „a hálózati szabályozókapacitásokat a fogyasztói igényváltozáson túl az előre nehezen kiszámítható (időjárásfüggő) termelés-ingadozásokat is figyelembe kell venni” (Molnár, 2020). Ezzel összefüggésben jelent meg 2022. május 2-án a MAVIR közleménye, mely szerint a magyarországi villamosenergia-rendszerben üzemelő 3000 megawattnyi kapacitás mellett „a kiegyenlítő szabályozási kapacitásoknak a biztosíthatósága szempontjából a villamosenergia-rendszerbe befogadható időjárásfüggő erőművi kapacitás mértékét (korlátját) nulla megawattórában” állapította meg [20].

A naperőmű parkok termelés-előrejelzéséhez kapcsolódó időjárás-előrejelzések fejlesztésében rejülő potenciált érzékelteti a MEKH árampiac 2021. évi jelentése, mely szerint 2020-hoz képest 2021-ben „a naperőművek teljes aggregált hibája csökkent, miközben a teljes termelés 50%-kal nőtt, így ehhez viszonyítva javult az előrejelzés relatív pontossága. Ezért a teljes szabályozási igény is csökkent, továbbá szimmetrikusabbá is vált, és az aránytalanul magas leszabályozási igények eltűntek.”

A jövőt illetően a dekarbonizációs célok megvalósítása érdekében hazánk alapvetően az atom- és a napenergiára épít (ZKK, 2022). Ez utóbbi rendkívül gyors hazai növekedési ütemére alapozva a NEKT által 2030-ra előirányzott 6,5 GW napenergia kapacitás duplája, azaz 12–13GW a nyolc éven belül elérendő új előirányzat [21].

Összefoglalás

A világválság miatt elrendelt korlátozások következtében a világ primer energiafelhasználása 2020-ban jelentős mértékben csökkent, majd 2021-ben rekord mértékben megnövekedett. A dekarbonizációs törekvéseket tükröző nemzetközi egyezmények, uniós és hazai jogszabályok az energiamix példátlan ütemű zöldítését irányozzák elő. Ezzel összhangban az európai és hazai statisztikák szerint egyaránt az időjárásfüggő megújuló energiaforrások felívelésének lehetünk tanúi. Az elmúlt két évben Magyarországon a fotovillamos beruházások támogatása robbanásszerű fejlődést eredményezett, melynek következtében mindkét évben felkerültünk az európai TOP-10-es listára. A további növekedést fékezi az a tapasztalat, miszerint a növekvő számú, időben és térben erősen változó nap- és szélenergiatermelés villamosenergia-rendszerbe történő integrálásával az időjárás kaotikus jellege megjelenik az áramellátásban. A problémás helyzetek átmeneti kezelése és tartós jövőbeli megoldása az iparág minden érintettje számára kihívást jelent, új szemléletet, a meteorológiai ismereteket is felhasználó innovációkon alapuló műszaki és módszertani fejlesztéseket kíván.

Irodalomjegyzék

- BP, 2021: Statistical Review of the World Energy - EU's energy market in 2020. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-eu-insights.pdf>
- BP, 2022a: Statistical Review of World Energy in 2021 <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>

- BP, 2022b: Statistical Review of World Energy - The EU energy system in 2021. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-eu-insights.pdf>
- BP, 2022c: Energy Outlook. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2022.pdf>
- Bullard, N., 2022: These 4 charts show how much global energy has changed since 2000. Bloomberg <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-06-30/these-4-charts-show-how-much-global-energy-has-changed-since-2000?leadSource=verify%20wall>
- EuroObserver, 2022a: Photovoltaic Barometer. <https://www.euroobserv-er.org/photovoltaic-barometer-2022/>
- EuroObserver, 2022b: Wind Energy Barometer. <https://www.euroobserv-er.org/wind-energy-barometer-2022/>
- Faragó T., 2018: Az EU energia - és klímapolitikájának összekapcsolódása. *Lépések a fenntarthatóság felé* 23(4), 4–6.
- Faragó T., 2019: Energiát mindenkinek, de fenntarthatóan! *Magyar Energetika* 26(2), 16–21.
- Faragó T., 2022: A kö(zsén)korszak vége az energiatermelésben? *Magyar Energetika* 29(1), 26–30.
- Gelencsér A, 2011: Megszívjuk? – A levegőszennyezés és következményei. Mindentudás Egyeteme. <https://mindentudas.videotorium.hu/hu/recordings/9127/megszivjuk-a-levegoszennyez-es-kovetkezmenyei>
- Hanula B. és Németh P., 2021: Fenntartható fenntarthatóság. *Magyar Tudomány* 3, 353–363. <https://doi.org/10.1556/2065.182.2021.3.7>
- Kovács G., 2022: Az országos villamosenergia-rendszer irányítása. *Léghör* 67, 157–161.
- Molnár F., 2020: A nap és szél erőművek integrálása a Villamos Energia Rendszerbe. *Energia Gazdálkodás* 61(5,6), 8–15.
- ZKK (2022): Policy Brief. https://zerocarbonhub.hu/wp-content/uploads/2021/09/ZKK_halozati_csatlakozas_Policy-Paper-2022_04.pdf
- [5] EUR-Lex. Az EU energiapiacának újratervezése <https://eur-lex.europa.eu/HU/legal-content/summary/redesigning-the-eu-s-energy-market.html>
- [6] Európai Bizottság, energiaunió, éghajlat-politika, környezet. https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment_hu
- [7] REN21, 2022: RENEWABLES 2022 Global Status Report. <https://www.ren21.net/gsr-2022/>
- [8] Our World in Data Charts, 2022: Primary energy consumption from fossil fuels, nuclear (1965-2021) <https://tinyurl.hu/vaxC>
- [9] REN21 Factsheet China: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GSR2021_Factsheet_China_EN.pdf
- [10] IRENA Renewable Capacity Statistics <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022>
- [11] Statista <https://www.statista.com/>
- [12] KSH Fenntartható fejlődési célok <https://www.ksh.hu/sdg/3-35-sdg-7.html>
- [13] Eurostat, Energy statistics - an overview. Forrás: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/9/9e/Final_energy_consumption_by_fuel%2C_EU%2C_1990-2020_Petajoule_%28PJ%29.png
- [14] PVEurope <https://www.pveurope.eu/markets/repower-eu-1-terawatt-eu-solar-pathway-2030>
- [15] Statista: Energy import dependency in the European Union (EU-27) in 2020, by country <https://www.statista.com/statistics/1301609/european-union-eu-27-energy-import-dependency-by-country/>
- [16] MEKH Energiastatisztika 2021. éves riport - előzetes adatok, 2022, <http://mekh.hu/energiastatisztika-2021-eves-riport-elozetes-adatok>
- [17] MAVIR Hír 2021 - a rekordok éve, 2022 <https://tinyurl.hu/sTyH>
- [18] A magyar villamosenergia rendszer adatai 2021, 2022 http://www.mekh.hu/download/d/8a/01000/katalogus_villamosenergia_2020.pdf
- [19] Greenfo. <https://greenfo.hu/hir/megfujtak-szelenergia-termelesuket-a-teli-szelviharok/>
- [20] MAVIR Közlemény, 2022: A 2022. május 2-i szabad kapacitások publikálásához kapcsolódóan. <https://tinyurl.hu/YkuU>
- [21] Portfolio. <https://www.portfolio.hu/uzlet/20220614/palkovics-laszlo-az-energiatarolas-kerdeset-nem-lehet-kikerulni-550601>
- [22] http://www.mettars.hu/wp-content/uploads/2022/09/MMTVGY_Dobietall_honapra.pdf
- [23] http://www.mettars.hu/wp-content/uploads/2022/08/Vandorgyules_Magyar-Meteorologiai-Tarsasag_Final.pdf

Hivatkozások

- [1] OurWorldinData. <https://ourworldindata.org/energy-mix>
- [2] Európai Parlament, Hírek, Üvegházhatású gázok kibocsátása az EU-ban <https://tinyurl.hu/9vIb>
- [3] Az Európai Unió Tanácsa, Energia <https://www.consilium.europa.eu/hu/topics/energy/>
- [4] Európai Parlament, Megújuló energia <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/hu/sheet/70/megujulo-energia>