
DIPLOMADOLGOZAT

BALÁZSI VIKTOR
2022

BUDAPESTI GAZDASÁGI EGYETEM
KÜLKERESKEDELMI KAR
NEMZETKÖZI GAZDASÁG ÉS GAZDÁLKODÁS SZAK

**Az atomenergia és a megújuló energiaforrások szerepe a
Visegrádi Együttműködés országainak villamosenergia-
termelésében**

Belső konzulens (témavezető): **Dr. Engelberth István**

Külső konzulens: **Hárfás Zsolt**

Készítette: **Balácsi Viktor**

Budapest, 2022

Tartalomjegyzék

Ábrák jegyzéke	4
Táblázatok jegyzéke	6
1. BEVEZETÉS	7
2. NEMZETI ÉS EURÓPAI KLÍMASTRATÉGIA	9
2.1 Európai klímastratégia	9
2.2 Magyar klímastratégia	11
2.2.1 Magyar klímastratégiai költségek	12
2.2.1.1 TIMES-modell: beruházási és működési költségek	12
2.2.1.2 Modellezési eredmények	13
2.2.1.3 A kiegészítő intézkedések forгатókönyve	14
2.3 Szlovák klímastratégia	16
2.4 Lengyel klímastratégia	17
2.5 Cseh klímastratégia	18
3.1 Villamosenergia-fogyasztási körkép	19
3.2 A villamosenergia-termelés forrásai a V4-ek államaiban	21
3.2.1 Magyarország villamosenergia-adatai	23
3.2.2 Lengyelország villamosenergia-adatai	24
3.2.3 Csehország villamosenergia-adatai	26
3.2.4 Szlovákia villamosenergia-adatai	28
3.3 Villamosenergia-importfüggőség Magyarországon és a V4-ekben - összefoglalás	30
3.3.1 Importkitettség vagy ellátásbiztonság?	33
4. AZ ATOMENERGIA BEMUTATÁSA	34
4.1 Az atomerőmű működése	34
4.2 A magyarországi és a V4-ekben alkalmazott reaktortípusok	35
4.3 Atomenergetikai helyzet a V4-ekben	36
4.3.1 Magyarország jelenlegi és tervezett nukleáris kapacitása	36
4.3.2 Lengyelország jelenlegi és tervezett nukleáris kapacitása	37
4.3.2 Csehország jelenlegi és tervezett nukleáris kapacitása	38
4.3.2 Szlovákia jelenlegi és tervezett nukleáris kapacitása	39
4.4 Az atomenergia megítélése a visegrádi együttműködés országaiban	40
5. VILLAMOSENERGIA-ELŐÁLLÍTÁS MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKBÓL	41
5.1 Villamosenergia-termelés napelemekkel	41

5.1.1 A napelemek hatásfoka.....	42
5.1.2 A napelemek teljesítményének meghatározása.....	43
5.2 A szélenergia hasznosítási lehetőségei.....	45
5.2.3. A szélerőművek teljesítménye és hatásfoka.....	46
5.3 Vízenergia alkalmazása.....	49
5.4 Geotermális energia alkalmazása.....	50
5.5 A hazai időjárásfüggő erőművek rendelkezésre állása.....	53
5.6 Kihívás: a megújuló energiaforrások rendszerbe illesztése.....	58
5.7 Megújulók anyagigénye: importkockázat.....	59
6. VESZÉLYES-E AZ ATOMENERGIA?.....	60
6.1 Légszennyezés: a nukleáris energia az egyik legkímélőbb energiaforrás.....	60
6.2 Teljes élekciklus: az atom a legkisebb CO ₂ kibocsátó.....	64
6.2 Az atomenergia szereplői tanulnak a hibákból - biztonság.....	66
7. Összefoglalás.....	67
Felhasznált irodalom.....	70

Ábrák jegyzéke

- 1. ábra:** *A villamosenergia-termelés szén-dioxid intenzitása az EU-ben és az Egyesült Királyságban, 2020.* (Forrás: EMBER EU Power Sector 2020 – saját szerkesztés)
- 2. ábra:** *A szén-dioxid intenzitás alakulása a V4-ek államaiban 2000-2020.* (Forrás: Our World in Data alapján saját szerkesztés)
- 3. ábra:** *A teljes nettó addicionális költségek időbeni és költségnembeli változása a WAM és WEM forgatókönyvek között, milliárd forint.* (Forrás: [NEKT](#))
- 4. ábra:** *A nettó addicionális beruházási költségek időbeni és költségnembeli változása a WAM és WEM forgatókönyvek között (milliárd forint).* (Forrás: [NEKT](#))
- 5. ábra:** *A nettó addicionális fix üzemeltetési és fenntartási költségek időbeni és költségnembeli változása a WAM és WEM forgatókönyvek között, milliárd forint.* (Forrás: [NEKT](#))
- 6. ábra:** *Teljes bruttó villamosenergia-felhasználás Magyarországon 2010-2020 (TWh)* (Forrás: mekh.hu – saját szerkesztés)
- 7. ábra:** *Nettó villamosenergia-fogyasztás gazdasági ágaként Magyarországon 2020-ban (TWh).* (Forrás: MAVIR/saját szerkesztés)
- 8. ábra:** *Teljes bruttó villamosenergia-felhasználás a V4-ek államaiban.* (Forrás: <https://ourworldindata.org/energy/country/czech-republic>, saját szerkesztés)
- 9. ábra:** *Az EU villamosenergia-előállítási rangsorai a „tisztaság”, szén-részesarány és karbonintenzitás szempontjából.* (Forrás: [EMBER](#))
- 10. ábra:** *Magyarország villamosenergia-termelésének megoszlása a források szerint (TWh).* (Forrás: [EMBER](#))
- 11. ábra:** *Magyarország villamosenergia-külkereskedelmi adatai 2010-2020 között (GWh).* (Forrás: [MEKH](#))
- 12. ábra:** *Lengyelország villamosenergia-termelése a források eloszlása alapján (TWh).* (Forrás: ARE / saját szerkesztés)
- 13. ábra:** *Lengyelország villamosenergia-importja (TWh) 2016 és 2020 között.* (Forrás: [EMBER](#))
- 14. ábra:** *Villamosenergia-termelés Csehországban az energiaforrások megoszlása szerint (TWh) 2000 és 2020 között.* (Forrás: [IEA](#))
- 15. ábra:** *Csehország villamosenergia-exportja és -importja 2000 és 2020 között (TWh).* (Forrás: [IEA](#))
- 16. ábra:** *Szlovákia villamosenergia-termelése a források eloszlása alapján.* (Forrás: <https://ember-climate.org/data/data-explorer/>)
- 17. ábra:** *Néhány uniós állam (és a V4-ek) nettó import tartamdiagramjai a terheléshez viszonyítva.* (Forrás: ENTSO-E)

- 18. ábra:** *A magyarországi nettó tartamgörbe – 2021 tény és 2030 előrejelzés (MW).* (Forrás: MAVIR)
- 19. ábra:** *Az atomerőmű működése nagyvonalakban.* (Forrás: paks2.hu)
- 20. ábra:** *A Magyarországra jutó átlagos éves sugárzási energia.* (Forrás: [OMSZ](http://omsz.hu))
- 21. ábra:** *Uralkodó szélirányok és jellemző szélesség Magyarországon.* (Forrás: OMSZ)
- 22. ábra:** *A vízenergia-hasznosítása.* (Forrás: [Tennessee Valley Authority](http://tennesseevalleyauthority.com))
- 23. ábra:** *Az energiahasznosítás lehetőségei a földhő hőmérsékletének függvényeként.* (Forrás: Megújuló energiák hasznosítása, MTA, 2010)
- 24. ábra:** *Villamosenergia-termelés és hőellátás esetén a termásvíz-hasznosítás jellemzői.* (Forrás: Megújuló energiák hasznosítása, MTA)
- 25. ábra:** *A napelemek teljesítőképességének alakulása 2015-2021 (MWh).* (Forrás: MAVIR, MEKH)
- 26. ábra:** *A 2021-es magyarországi naperőművi betáplálás tartamgörbéje (MW).* (Forrás: MAVIR)
- 27. ábra:** *A 2021-es magyarországi szélenerőművi betáplálás tartamgörbéje (MW).* (Forrás: MAVIR)
- 28. ábra:** *A beépített teljesítőképességhez viszonyított nap- és szélenerőművi betáplálás tartamgörbéje 2021-ben (%).* (Forrás: MAVIR)
- 29. ábra:** *A magyarországi heti csúcsfogyasztásai, valamint a napelemek és szélenerőművek betáplálása 2021-ben (MW).* (Forrás: MEKH)
- 30. ábra:** *A 49,9 – 50,1 Hz-es sávon kívül eső negyedórák száma 2018-21 között (db).* (Forrás: MEKH, MAVIR)
- 31. ábra:** *A halálozások száma kockázati tényezők szerint világszerte 2019-ben.* (Forrás: [IHME, GBD](http://ihme.gbd.org))
- 32. ábra:** *A halálozási arány a balesetekből eredő halálozások és a légszennyezés terawattóra (TWh) lebontva.* (Forrás: Markandya et al., 2007 és Sovacool et al. 2016 alapján saját szerkesztés)
- 33. ábra:** *Az egyes erőművi technológiák teljes életciklusához kapcsolódó különböző, egyéb kibocsátások.* (Forrás: ENSZ IPCC - IPCC (2014): Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change, p. 548.)

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: *A szlovák megújuló energia alapú erőművekre vonatkozó tervek 2021-2030-ra (MW).*

(Forrás: [Slovak Ministry of Economy, 2019](#))

2. táblázat: *A visegrádi négyek néhány alapadata 2019-ben.* (Forrás: [visegradgroup.eu/saját szerkesztés](http://visegradgroup.eu/saját_szerkesztés))

3. táblázat: *Szlovákia villamosenergia-exportja és importja 2010 és 2020 között (TWh).* (Forrás:

<https://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=82&c=lo&l=en>)

4. táblázat: *Lengyelország tervezett nukleáris kapacitásai.* (Forrás: WNA [https://world-](https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/poland.aspx)

[nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/poland.aspx](https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/poland.aspx))

5. táblázat: *Csehország jelenleg is működő reaktorai.* Forrás: World-Nuclear [https://world-](https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/czech-republic.aspx)

[nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/czech-republic.aspx](https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/czech-republic.aspx))

6. táblázat: *Tervezett nukleáris kapacitás Csehországban.* (Forrás: WNA [https://world-](https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/czech-republic.aspx)

[nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/czech-republic.aspx](https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/czech-republic.aspx))

7. táblázat: *A Szlovákiában működő reaktorok.* (Forrás: [WNA](#))

8. táblázat: *Szlovák építés alatt álló és tervezett erőművi reaktorok.* (Forrás: [WNA](#))

9. táblázat: *A napelemek hatásfoka alapanyag szerint.* (Nemcsics, 2001)

10. táblázat: *Az éves napsütéses órák száma a V4-ekben.* (Forrás: [https://weather-and-](https://weather-and-climate.com/average-monthly-hours-sunshine,Bratislava,Slovakia)

[climate.com/average-monthly-hours-sunshine,Bratislava,Slovakia](https://weather-and-climate.com/average-monthly-hours-sunshine,Bratislava,Slovakia))

11. táblázat: *Fajlagos földgázkiváltás a termásvíz hasznosításakor hő- és/vagy villamosenergia-termelés esetén.* (Forrás: MTA alapján saját szerkesztés)

12. táblázat: *Különböző erőművi technológiák teljes életciklusra vetített fajlagos CO₂-kibocsátása.*

(Forrás: IPCC (2014): Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change, p. 1335.)

1. BEVEZETÉS

A villamos energia gyakorlatilag nélkülözhetetlen a mai fejlett világban. Erre csak egy esetleges áramszünet vagy tartós áramkimaradás idején eszmélünk rá. Az európai államok integrált villamosenergia-rendszerei egyelőre kellő megbízhatósággal dolgoznak, azonban vannak intő jelek, melyek egy közép- és hosszútávú energiastratégia kidolgozását sürgetik.

2021. január 8-án hajszál híján egy egész Európát érintő áramszünet lépett fel (*Strobl, 2021*). Az esemény kiindulópontja egy horvátországi alállomás volt, itt eltérő feszültségű távvezetékek találkoznak egymással, ezért az energiaforgalom lebonyolításához transzformátorok kellenek. A két gyűjtősínt összekötő sínáthidaló túláram-védelme január 8-án 14 óra 5 perc körül lekapcsolta ezt a rendszerelemet, megszakítva a délkelet-északnyugati irányú áramlást, így azok a szomszédos vezetékek felé terelődtek, ám ezek túláram-védelme ezeket is sorban lekapcsolta. Európa északnyugati térségében 6300 MW (megawatt) teljesítményhiány, ezzel szemben a dél-keleti régióban 6300 MW teljesítménytöbblet lépett fel. Az említett időszakban a szokottnál nagyobb volt a villamosenergia-export Délkelet-Európából Nyugatra, túlterhelve a horvát alállomást. Az okokról: a hideg időjárás miatt megnőtt a fogyasztás Európa-szerte, emellett az időjárásfüggő nap- és szélenergia-termelése nagyon alacsony volt, így kapacitáshiány alakult ki Nyugat-Európában, tehát az említett időszakban nem volt elegendő erőművi kapacitás a villamosenergia-fogyasztók kiszolgálására.

2021. december 9-én 16 óra 45 perc körül 7361 MW-os (15 perces) abszolút rendszerterhelési csúcsot mértek Magyarországon (*MAVIR, 2022*).

2022. január 25-én 17 óra 15 perc körül újabb történelmi magyarországi rendszerterhelési csúcs született 7396 MW (15 perces) értéken (*MAVIR, 2022*).

Az atomenergia és a megújuló energiaforrások szerepe a Visegrádi Együttműködés országainak villamosenergia-termelésében című dolgozatomban bemutatom, milyen lehetőségek állnak hazánk és a V4-ek országainak rendelkezésére a villamos energiát előállító megújuló források részarányának növelésére. Megvizsgálom, mely megújuló energiahordozókkal lehetne reális esély a primer energiahordozó kiváltására a Visegrádi Négyek és Magyarország körülményeit figyelembe véve? Összehasonlítom a fogyasztási adatokat, rámutatok a különbségeikre és azok okaira.

A területi korlátok miatt a dolgozat az elmúlt 10 év adataira támaszkodva mutatja meg, hogy változtak a megújuló energiaforrások részarányai, melyek – az utóbbi tíz évben értek el robbanásszerű fejlődést a technológiák hatásfokukat és terjedésüket tekintve. Statisztikai adatok, tények, számok segítségével ismertetem hazánk és a V4-ek jelenlegi helyzetét mind a primer, mind a megújuló (villamos) energiaforrásokra tekintettel. Javaslatot teszek a V4-ek és azon belül Magyarország a villamos energia előállításának módozataira a megújuló forrásokra vonatkozóan. Megvizsgálom azt a kérdést, mely különösen aktuális napjainkba, hogy reális-e a tiszta villamosenergiatermelés biztosítása a nukleáris energia nélkül a régióban?

A dolgozatban olyan kérdésekre próbálok választ adni, mely a legtöbb emberben is felmerül, azaz miért ellenzik bizonyos államok az atomenergia alkalmazását és hogyan oldják meg a biztonságos villamos energiaellátást? Közép- és hosszútávon sem megoldható az atomenergia végleges és teljes kiváltása?

A dolgozatomban az eddigi ismereteim, szakirodalom áttekintése után az alábbi hipotéziseket vizsgálom meg:

Hipotézis 1: Az atomenergia nélkül elképzelhetetlen Magyarország, illetve a V4-ek folyamatos és biztonságos áramellátása, a nukleáris energia teljes kiváltása jelenleg nem lehetséges.

Hipotézis 2: A nukleáris energia alkalmazása valóban „zöld” megoldást jelent más – megújulónak tekintett – energiaforrásokkal szemben: ha az egyes villamosenergia-termelési módokat a teljes életciklusra vonatkoztatva elemezzük, akkor a legkisebb szén-dioxid-egyenérték-kibocsátással az atomerőművek rendelkeznek.

Hipotézis 3: A V4-ek tagállamai közül Magyarországnak vannak a legjobb adottságai a megújuló energiaforrásokra támaszkodni a villamosenergia-termelésben.

Dolgozatomban a trendek kimutatásához a jelenleg zsinórmértéknek számító hivatalos statisztikai adatbázisokra, statisztikai összefoglalókra és nemzetközi elemzésekre támaszkodtam (MAVIR, MEKH, statista, EMBER. KSH), mint hiteles szekunder források.

Fontosnak tartottam megszólaltatni a témában jártas személyt, aki energetikai-fizikai oldalról tudja – akár edukációs jelleggel – emelni a dolgozat tartalmi színvonalát, külső konzulensként, sok egyeztetéssel Hárfás Zsolt sokat segített a felmerülő szakmai-tudományos és energetikai kérdéseket megválaszolni, de meg kell említeni a Dr. Csoknyai et. al. által összeállított Környezettechnika c. egyetemi jegyzetet), valamint fontos szakmai segítséget jelentett a Magyar Épületgépészet szakmai folyóirat is.

2. NEMZETI ÉS EURÓPAI KLÍMASTRATÉGIA

Ebben a fejezetben áttekintem, hogy az Európai Unió és ezen belül Magyarország, Lengyelország, Csehország, valamint Szlovákia, azaz a Visegrádi Együttműködés országai milyen közép- és hosszútávú környezetvédelmi és energiaelőállítási stratégiát valósítanak meg az elkövetkező években, évtizedekben.

2.1 Európai klímastratégia

Az Európai Parlament 2019. március 14-i, éghajlatváltozásról szóló állásfoglalásában helyben hagyta az Európai Unió arra irányuló célkitűzését, hogy 2050-re elérje a nulla nettó üvegházhatásúgáz-kibocsátást. Ezen túlmenően 2019. november 28-i állásfoglalásaiban megállapította, hogy éghajlati és környezeti vészhelyzet áll fenn. (*Európai Parlament, 2019.*)

Az Európai Parlament nyomatékosan kérte a Bizottságot, hogy teljeskörűen értékelje valamennyi idevágó jogalkotási és költségvetési javaslat éghajlati és környezeti hatását, továbbá biztosítsa, hogy a javaslatok maradéktalanul összeegyeztethetők legyenek a globális felmelegedés mértékének 1,5 °C alá való korlátozására irányuló célkitűzéssel, és hogy ne járuljanak hozzá a biológiai sokféleség csökkenéséhez; valamint felszólított a mezőgazdasági, kereskedelmi, közlekedési, energiaügyi és infrastrukturális beruházási politikák mélyreható reformjára (*Európai Parlament, 2019.*)

Az európai zöld megállapodásról szóló 2020. január 15-i állásfoglalásában az Európai Parlament a klímasemleges társadalom legkésőbb 2050-ig történő szükség szerű megvalósítását kérte, és azt, hogy tegyék ezt európai sikertörténeté (*Európai Parlament, 2019.*).

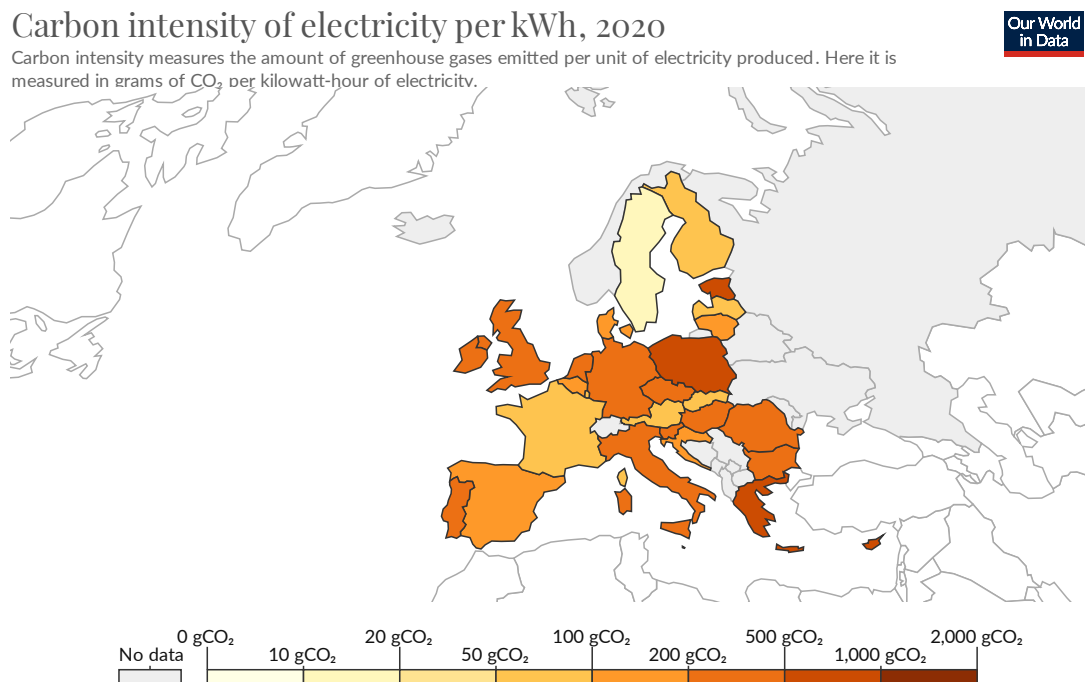
A carbon dioxide equivalent (CO₂eq) CO₂eq - emissziós faktor olyan együttható, mely lehetővé teszi a tevékenységi adat üvegház-hatású gáz (ÜHG) emisszióra való átváltását. Ez az adott forrás átlagos kibocsátási mértéke a tevékenység vagy folyamat egységeihez viszonyítva. A villamos energia szén-dioxid-intenzitása az egységnyi villamos energiára jutó CO₂ mennyiségét mutatja. Ezt a kilowattóránként (kWh) termelt CO₂ grammokban mérik.

Azokban az országokban, amelyek villamos energiájuk nagy részét alacsony szén-dioxid-kibocsátású forrásokból (megújuló és atomenergia) nyerik, alacsonyabb lesz a szén-dioxid-intenzitás.

Az 1. ábra a villamosenergia-termelés szén-dioxid-intenzitását mutatja az Európai Unióban, illetve az Egyesült Királyságban.

1. ábra

A villamosenergia-termelés szén-dioxid intenzitása az EU-ben és az Egyesült Királyságban, 2020



Source: Ember EU Power Sector 2020
Note: Data is currently only available for EU countries, plus the UK.

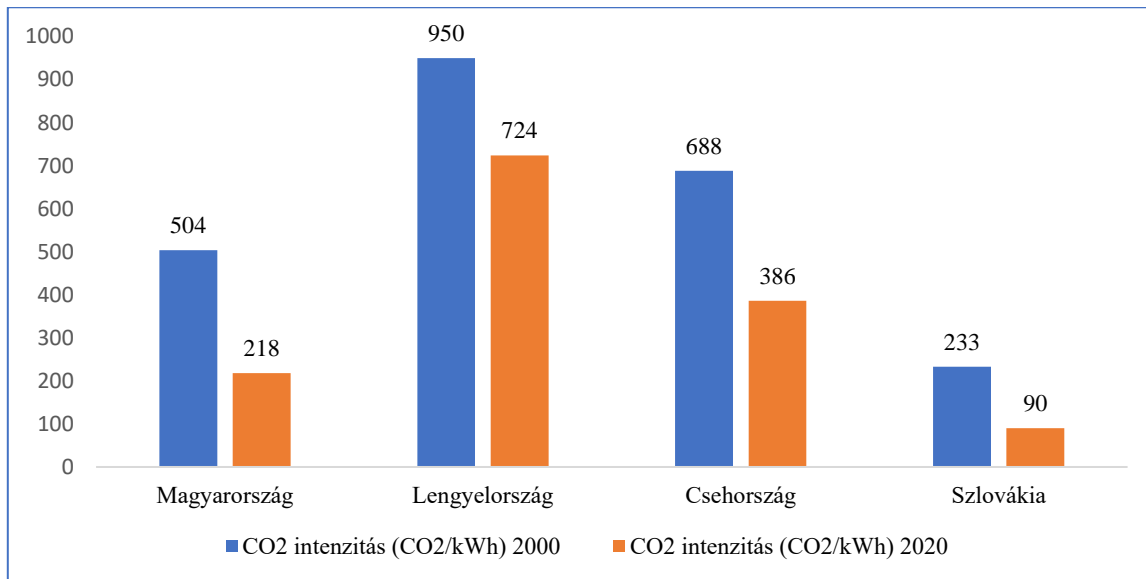
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Forrás: EMBER EU Power Sector 2020 – saját szerkesztés

Az egy kilowattóra jutó szén-dioxid intenzitást a visegrádi együttműködés minden tagállama jelentősen tudta csökkenteni az elmúlt húsz év leforgása alatt, de minden állam klíma- és energiastratégiájának része a további redukció.

A 2. ábrán látható, a V4-ek mire jutottak húsz év alatt a dekarbonizációs úton: arányaiban a szlovákok, a magyarok és a csehek hasonló mértékben csökkentették az egy kilowattóra vetített szén-dioxid terhelésüket (61%, 57%, illetve 56%). A lengyelek csupán 24 százalékot faragtak, mert – és ez a nagyobb gond - Európai Unióban ők támaszkodnak legnagyobb mértékben a fosszilis energiára (a feketekőszénre).

A szén-dioxid intenzitás alakulása a V4-ek államaiban 2000-2020



Forrás: Our World in Data [2022] alapján saját szerkesztés

A 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 fejezetekben kifejtem, mely állam milyen módon próbál megfelelni a klímavédelmi terveknek, és az energiastratégiai céloknak.

2.2 Magyar klímastratégia

Magyarország a villamosenergia-fogyasztásban a megújuló alapú energiatermelés arányát 2030-ra legalább 20 százalékra szándékozik növelni. A környezetkímélőbb átalakítási folyamat központi elemét a napelemes kapacitások kibővítése jelenti, amelyek nagysága a 2016-os nem egészen 680-ról 2030-ra közel 6500 MW-ra nő, 2040-re pedig jelentősen meghaladhatja a 10 000 MW-ot. A NEKT (Nemzeti Energia- és Klímastratégia) távlatában (2030-ban) a szélenergiás kapacitás a mostani szint (~330 MW) közelében alakul - köszönhetően a hazai szegényes szélkészségnek (ld. 5.2.2 fejezet).

Az egyik legnagyobb Magyarországra vonatkozó dekarbonizációs feladat a lignit-tüzelésű Mátrai Erőmű alacsony széndioxid kibocsátású megoldásokra épülő átalakítása, ezáltal a szén és a lignit kivezetése a magyar villamosenergia-termelésből 2030-ig. A Mátrai Erőmű kulcsfontosságú alaperőműve a magyar villamosenergia-rendszernek, viszont a legjelentősebb

CO₂ kibocsátó is, amely a teljes energiatermelő ágazat szén-dioxid kibocsátásának közel 50 százalékát, ezáltal a teljes hazai üvegházgáz-kibocsátás 14 százalékát teszi ki.

A Mátrai Erőmű átalakítása nem csupán az erőmű technológiai kérdéseit veti fel, hiszen az erőmű működése által érintett észak-magyarországi régió társadalmi-gazdasági és környezetvédelmi hatásait is szem előtt kell, hogy tartsa együttesen. Ennek a regionális, valamint gazdasági dekarbonizációs folyamatnak a része a Mátrai Erőmű lignit alapú villamosenergia-termelésének, alacsony CO₂ kibocsátású technológiákra épülő újjászervezése, átalakítása.

Tervek vannak egy új gázturbinás erőmű létesítésére a Mátrai Erőmű telephelyén, amely különösen a keleti országrész ellátásbiztonsága szempontjából fontos, új fotovoltatikus (PV) erőmű és ipari energiátároló egység építése, valamint az anyagában nem hasznosítható hulladékok (RDF) energetikai hasznosítása. (NEKT, 2019)

A Magyarországon előállított villamosenergia 50 százalékát, az elhasznált „villany” harmadát a jelenleg működő Paksi Atomerőmű biztosítja, melynek a már meghosszabbított élettartama 2032-37 között lejár. A tervezett két új paksi blokk a leálló erőmű pótlására hivatott.

2.2.1 Magyar klímastratégiai költségek

Ebben a fejezetben megvizsgálom, hogy a fenntarthatóság mellett mekkora költsége jelent közép- és hosszútávon egy-egy energetikai fejlesztési stratégiapont megvalósítása. A V4-ek közül a dolgozat terjedelmi korlátai miatt a magyar költségscenáriókat tárgyalom részletesen.

2.2.1.1 TIMES-modell: beruházási és működési költségek

A NEKT elkészítéséhez használt úgynevezett TIMES¹ modell az investíciós költségek mellett a működési költségek változását is figyelembe veszi az energetikai területen. Ez a modell a klímastratégia céljainak elérését biztosító intézkedések végrehajtásának pótlólagos költségét kalkulálja ki, azaz a NEKT szerinti WAM („with additional measures”, azaz kiegészítő intézkedésekkel) és a referenciának tekintett WEM („with existing measures”, azaz meglévő intézkedésekkel) forgatókönyvek költségkülönbségét mutatja meg.

¹ (The Integrated MARKAL-EFOM System): A Magyarországra adaptált TIMES modell lefedi a komplett magyar energiaszektort, ideértve az átalakítási ágazatokat, az ipari és a közlekedési szektor energiafelhasználását, illetve az épületekhez köthető energiafelhasználást.

A modell magában foglalja az energiaátalakító ágazatokat, a háztartási és a terciér szektor energiafelhasználását, a közlekedési-, az ipari és mezőgazdasági szektorokat is. Működési logikája szerint adott végfelhasználói kereslet kielégítésének a leginkább költséghatékony módját keresi meg – ez tekinthető a WEM forgatókönyv költségének.

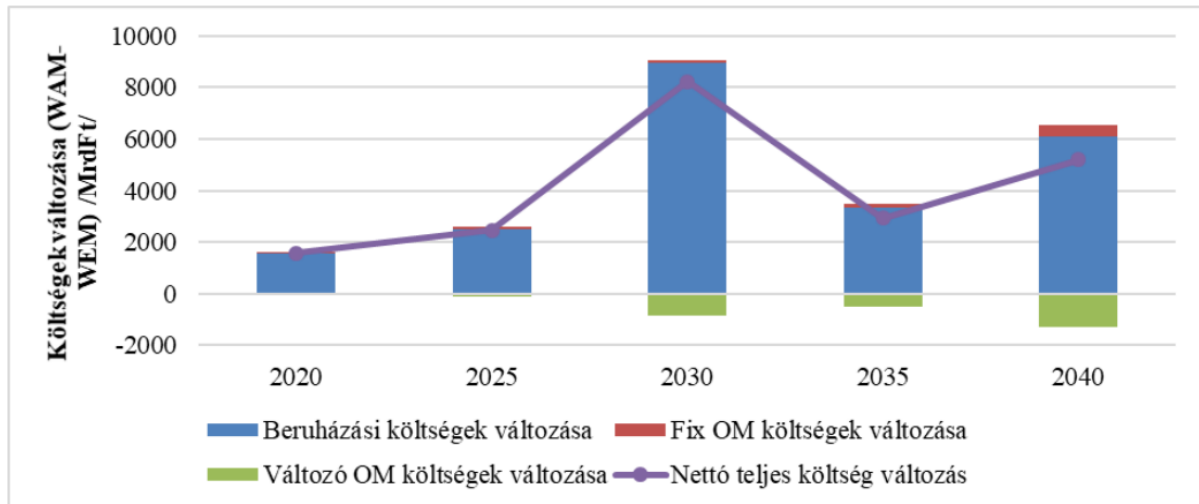
Ellenben a WAM forgatókönyv tartalmazza a számszerűsíthető célokat, és azok figyelembevételével keresi meg a költség-optimumot. A teljes időszakra becsült költség jelenre diszkontált értéke, az úgynevezett teljes rendszerköltség a WAM forgatókönyvben azért magasabb, mert drágább technológiákat is alkalmazni kell, például a magasabb emissziócsökkentési célok elérésére (*NEKT, 2019*)

2.2.1.2 Modellezési eredmények

A vizsgált 2016 és 2040 közötti időszakban a WAM forgatókönyv pótlólagos, teljes diszkontált rendszerköltsége 20 401 milliárd forint, melynek éves átlagos értéke 582,9 milliárd forint. A nettó addicionális költségek folytonosan emelkedve 2030 környékén érik el a legmagasabb szintet, ugyanis a modellezés eredményei szerint a 2030-as célok elérését célzó beruházásokkal – a technológiai költségek csökkenése miatt – érdemes kivárni. (*NEKT, 2019*)

A 2040-es célok elérése érdekében történő új beruházások miatt 2035 után a költségek ismételt – kisebb mértékű – növekedését láthatjuk. Az eredmények arra is rávilágítanak, hogy habár az új beruházások tökeintenzívek, alkalmazásukkal – és a már meglévő technológiák optimálisabb üzemeltetésével – a változó üzemeltetési és fenntartási költségek jelentősen csökkenthetők.

A teljes nettó addicionális költségek időbeni és költségnombeli változása a WAM és WEM forgatókönyvek között, milliárd forint



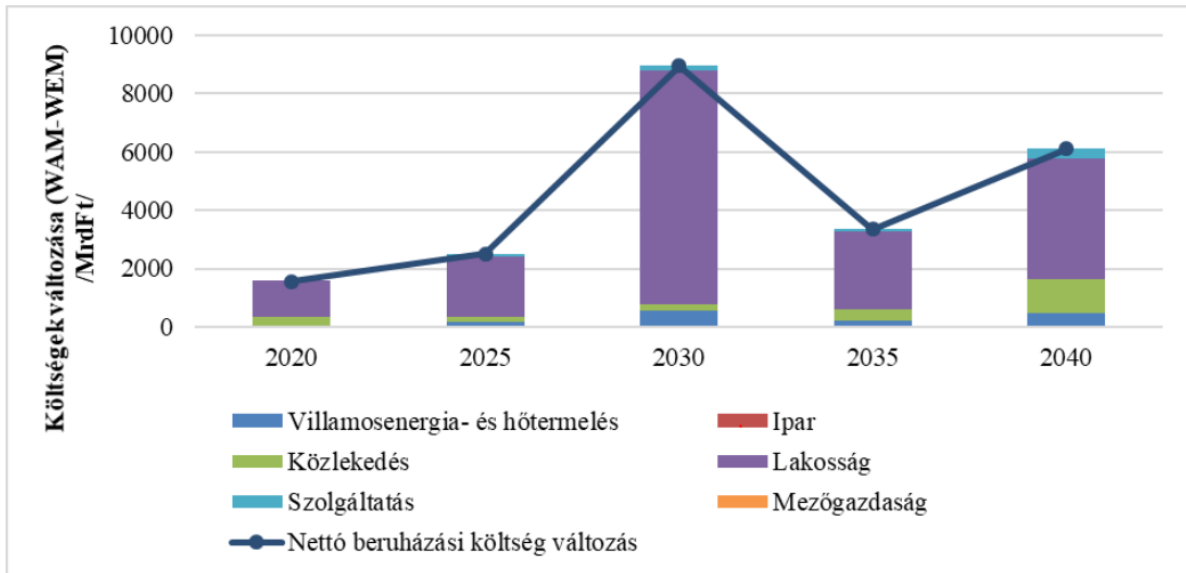
Forrás: NEKT [2019]

2.2.1.3 A kiegészítő intézkedések forgatókönyve

A WAM forgatókönyv beruházási költségtöbblet-igénye elsősorban a lakossági szektorban jelentkezik: összességében az a növekmény 80 százalékos, 2030-ban az összes költség 90 százalékát teszi majd ki. (NEKT, 2019)

A közlekedési szektor beruházási igénye az időszak végén éri el a legmagasabb szintet. A villamosenergia- és hőtermelés, valamint a szolgáltató szektorokban kisebb mértékű addicionális beruházási költségekkel számolhatunk, az iparban és a mezőgazdaságban pedig nincs különbség a WEM és a WAM forgatókönyvek beruházási igénye között. (NEKT, 2019)

A nettó addicionális beruházási költségek időbeni és költségnembeli változása a WAM és WEM forgatókönyvek között (milliárd forint).

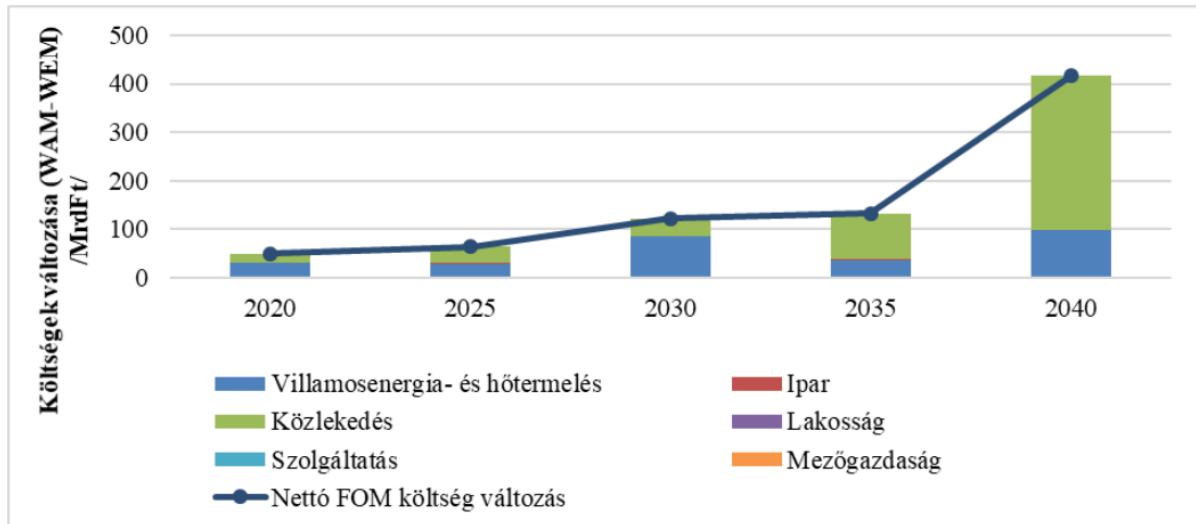


Forrás: NEKT [2019]

Bár a WAM forgatókönyv teljes pótlólagos költségigényét főként a magasabb beruházási költségek magyarázzák, a fix üzemeltetési és fenntartási (FOM) költségek szintén magasabbak, és azok növekedése is megfigyelhető a vizsgált időtávon.

Utóbbi főként a közlekedési szektorban szembetűnő: a WAM forgatókönyvben megjelenő új technológiák nem csak tökeigényesebbek, hanem fix üzemeltetési és fenntartási költségük is nagyobb. (NEKT, 2019)

A nettó addicionális fix üzemeltetési és fenntartási költségek időbeni és költségnembeli változása a WAM és WEM forgatókönyvek között, milliárd forint.



Forrás: NEKT [2019]

Az EU emisszió-kereskedelmi rendszerének harmadik kereskedési időszakában (2013-2020) a kibocsátási egységek értékesítéséből származó bevétel meghatározott hányadának felhasználása a Zöldgazdaság Finanszírozási Rendszer fejezeti kezelésű előirányzaton történik. 2021 és 2030 között – tonnánkénti 25 eurós átlagos CO₂-árat feltételezve – mintegy 910 milliárd Ft-os kvótabevétellel tervez a magyar állam. Ebből 726 milliárd Ft a kvótabevételek általános szabályai szerint (EP, 2003) lesz elkölthető, vagyis 50 százaléka (363 milliárd Ft) célzottan zöldgazdaság-fejlesztési célokat szolgál (NEKT, 2019)

2.3 Szlovák klímastratégia

Szlovákia nem áll különösebb ellátásbiztonsági vagy klímapolitikai kihívás előtt az következő 20-30 évben. Északi szomszédunk energiapolitikája ennek megfelelően kapacitásmechanizmust nem működtet, és így a Nemzeti Energia- és Klímatervében sem szerepeltet különösebb változtatást erőműportfólióban. A villamosenergia-termelésben meglévő jelenlegi 24 százalékos megújuló részarányt vállalásaik szerint 2030-ra 27,3 százalékra növelik, ezen célok elérésére a jelenlegi kicsivel több mint 500 MW-os napelemes kapacitást 1200 MW-ra növelik, szélenergia kapacitásaikat pedig a jelenlegi nullához közelítő szintről 500 MW-ra emelik. (NECP, 2018)

A szlovák megújuló energia alapú erőművekre vonatkozó tervek 2021-2030-ra (MW).²

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
SZET	916	916	916	916	916	916	916	916	916	916
Vízermű	1627	1628	1629	1630	1641	1731	1742	1753	1754	1755
Geotermikus	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4
PV	680	730	790	850	870	900	950	1000	1100	1200
Szél	30	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Biomassza (solid)	190	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Biogáz	130	150	160	170	180	190	200	200	200	200
Teljes (SZET nélkül)	2657	2808	2929	3054	3145	3325	3446	3557	3708	3859

Forrás: Slovak Ministry of Economy [2019]

Az országos gázellátottság magas szintje – a lakosság több mint 90 százaléka hozzáfér a földgázhoz – a megújuló energiaforrások hőágazati elterjedése ellen szól. A földgázból a biomasszára való átállás a háztartásokban ezért levegőtisztasági szempontból problémás, ami veszélyeztetheti az uniós jogszabályok betartását.

2.4 Lengyel klímastratégia

A lengyel energetikai átállás jelentős beruházási ráfordítást igényel, melynek mértéke a 2021-2040-es években körülbelül 1600 milliárd PLN (lengyel zloty) lesz. Az üzemanyag- és energiaszektorba történő beruházások körülbelül 867-890 milliárd PLN-t tesznek majd ki.

A villamosenergia-termelési szektor becsült ráfordításai hozzávetőlegesen 320-342 milliárd PLN-be kerülnek majd, ennek 80 százalékát a zero kibocsátású egységekre, azaz a megújuló energiaforrásokra és az atomenergiára fordítják majd.

Az üzemanyag- és energiaszektor fent említett jelentős átalakulása miatt az energiaköltségek emelkedhetnek. Körülbelül 260 milliárd PLN-t különítenek el az uniós és nemzeti alapokból különböző mechanizmusok keretében 2030-ig a nemzeti energia- és éghajlatváltozási átmenetre (*Ministry of Climate and Environment, 2021*).

A 2021 elején elfogadott új lengyel energiastratégia (PEP2040) a villamos energiára vonatkozóan az alábbi célokat fogalmazza meg:

² SZET – szivattyús energiatároló, PV – fotovoltaikus rendszer (pl. napelem)

- 2030-ban a szénalapú villamosenergia-termelés ne haladja meg a teljes villanytermelés 56%-át (ma 75%).
- Atomerőmű megvalósítása, az első blokk 2033-ig, összesen 6db 1000-1600 MW-os blokk (6-9 GW) megépítése 2043-ra.
- A megújuló energiaforrások a lengyel nettó villanyfogyasztás legalább 32%-át termeljék meg (főleg szél, illetve fotovoltatikus alapon).
- Szélerőművek: a lengyel kormányzati előrejelzés szerint 2030-ra mintegy 13 GW, 2040-re kb.16 GW létesül.
- Fotovoltatikus rendszerek tekintetében a cél 2030-ig 5-7 GW, 2040-ig 10-16 GW kapacitás beépítése.
- A földgázra átmeneti forrásként tekintenek, azonban a gázerőművek beépített kapacitása a következő két évtizedben a jelenlegi mintegy 2500 MW-ról 2040-re a lengyel előrejelzés szerint kb. 8500 MW-ra nő.

2.5 Cseh klímastratégia

Csehország 2040-re tervezett céljairól a Cseh Köztársaság Nemzeti Energia- és Klímatervéből tájékozódhatunk. A dolgozat terjedelmi korlátai miatt csupán a villamosenergia-előállításban szerepet játszó energiaforrásokra fókuszáltam. A klímaterv a 2016-os adatokhoz viszonyított tervezett részarány-változást írja le, eszerint:

- a szén- és egyéb szilárd, nem megújuló tüzelőanyagok részarányát 50 százalékról 21 százalékra kívánja csökkenteni;
- az atomenergia 29 százalékos részarányát 46–58 százalékra kívánja növelni;
- a földgáz jelenlegi 8 százalékos részarányát 5-15 százalékra kívánja növelni;
- a megújuló és másodlagos energiaforrások részarányát 13 százalékról 18-25 százalékra kívánja növelni.

Csehország a dekarbonizáció jegyében:

- CO₂ emissziós faktorát legalább 40 millió tonnával kívánja csökkenteni 2005-höz képest;
- indikatív célként 2040-ig 70 millió tonnára kívánja csökkenteni CO₂ ekvivalensét;

- indikatív célként 2050-ig 39 millió tonnára kívánja csökkenteni emissziós faktorát, mely az 1990-es adatokhoz viszonyítva 80 százalékos csökkentés lenne. (*Czech Government, 2019*)

3. A V4-EK VILLAMOSENERGIA-FELHASZNÁLÁSA ÉS -TERMELÉSE

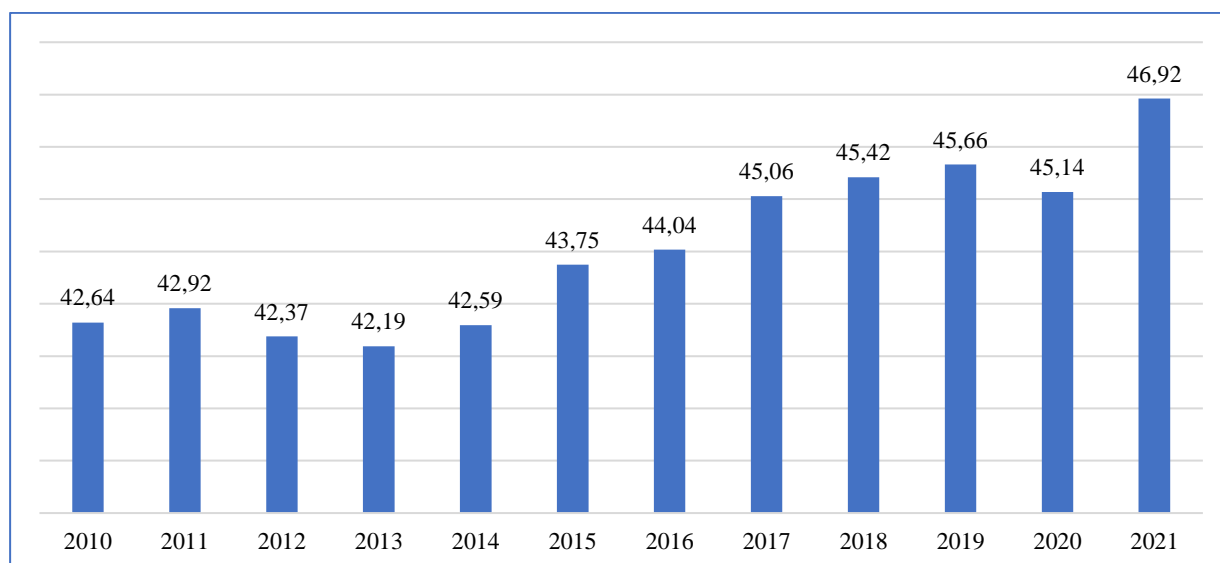
Ebben a részben megvizsgálom a visegrádi együttműködés országainak villamosenergia-fogyasztását, előállítását. Kimutatom, mekkora a megújuló energiaforrások részaránya, mekkora szeletet hasít ki magának a nukleáris forrásból keletkezett villamos energia a többi primer energiaforrás mellett. Nemzetgazdasági szempontból különösen nagy jelentősége van annak, hogy az elérhető villamos energiának mekkora hányada import.

3.1 Villamosenergia-fogyasztási körkép

A területi korlátok miatt a 2010-2020 közötti időszak adatait tekintem át a dolgozatban. Ezekből kitűnik, hogy Magyarországon a COVID 19 járvány időszakában a fogyasztás némileg visszaesett köszönhetően a lezárásoknak, leállásoknak. Ugyanakkor a 2020-as megtorpanástól eltekintve kiolvasható, hogy 11 év leforgása alatt a hazai villamosenergia-igény 4 TWh-val (terawattóra) nőtt meg Magyarországon.

6. ábra

Teljes bruttó villamosenergia-felhasználás Magyarországon 2010-2020 (TWh)

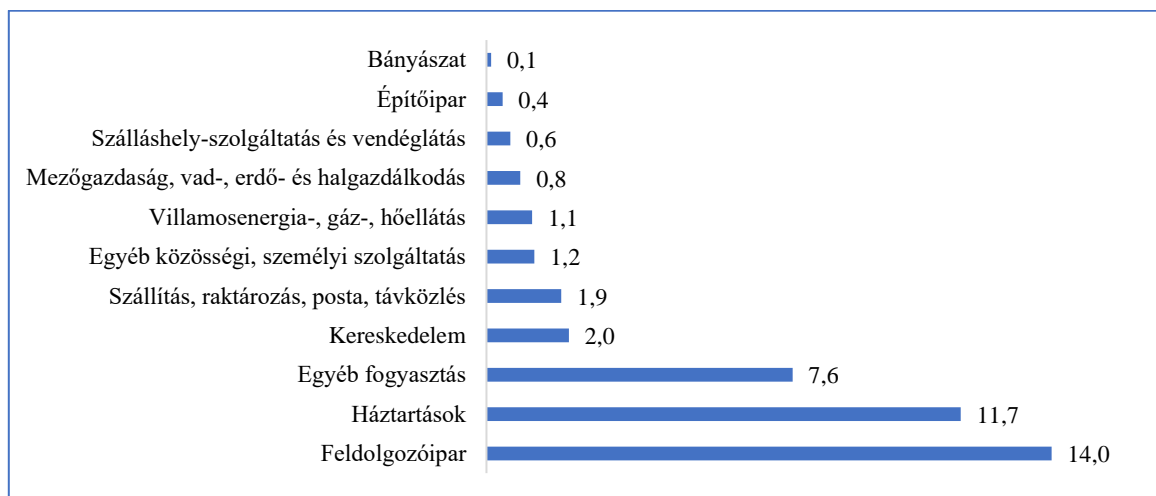


Forrás: MEKH [2021] alapján saját szerkesztés

A nettó villamosenergia-felhasználás 2020-ban Magyarországon 41,45 TWh volt (MAVIR, 2020). A 7. ábra mutatja, hogy a háztartások és a feldolgozóipar használta a legtöbb villamos energiát. A hazai éves villamosenergia-fogyasztási adatokkal kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a valós fogyasztás nagyobb volt, hiszen a háztartási naperőművek adatai nem jelennek meg a rendszeradatok között.

7. ábra

Nettó villamosenergia-fogyasztás gazdasági ágaként Magyarországon 2020-ban (TWh)

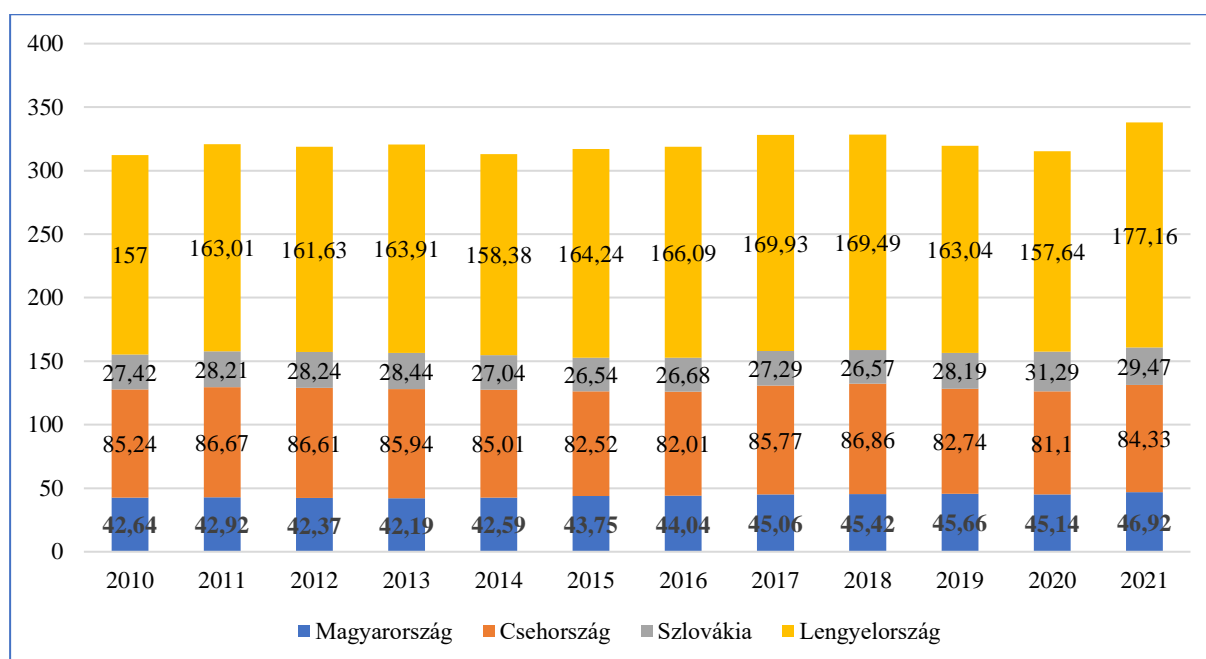


Forrás: MAVIR alapján saját szerkesztés

Az 8-as ábra megmutatja, hogy a V4 államokban a lakosság számához aránylik a villamosenergia felhasználás, ezért jóval nagyobb a lengyel villamosenergia-igény a többihez viszonyítva.

Ami talán meglepő, Csehország villamosenergia-fogyasztása, hiszen a két ország területe és lélekszáma is hasonló (ld. 1. táblázat). Villamosenergia-fogyasztás (2019): 60,1 TWh (ipar 46%, szolgáltató épületek 28%, lakóépületek 26%, közlekedés 3%) ennek a magyarázata a két ország ipari berendezkedési különbsége adhat magyarázatot, a cseh dolgozó lakosság több mint 40 százaléka az ipari szektorban dolgozik (Krauss *et al.*, 2019)

Teljes bruttó villamosenergia-felhasználás a V4-ek államaiban (TWh)



Forrás: OWID alapján saját szerkesztés

Összehasonlításképpen áttekinthető a V4-ek lakossága és területe az 2-es táblázatban.

2. táblázat

A visegrádi négyek néhány alapadata 2019-ben

Ország	Terület (km ²)	Népesség (fő)
Magyarország	93 036	9 769 526
Lengyelország	312 696	38 382 576
Csehország	78 866	10 693 939
Szlovákia	49 036	5 449 270

Forrás: visegradgroup.eu/saját szerkesztés

3.2 A villamosenergia-termelés forrásai a V4-ek államaiban

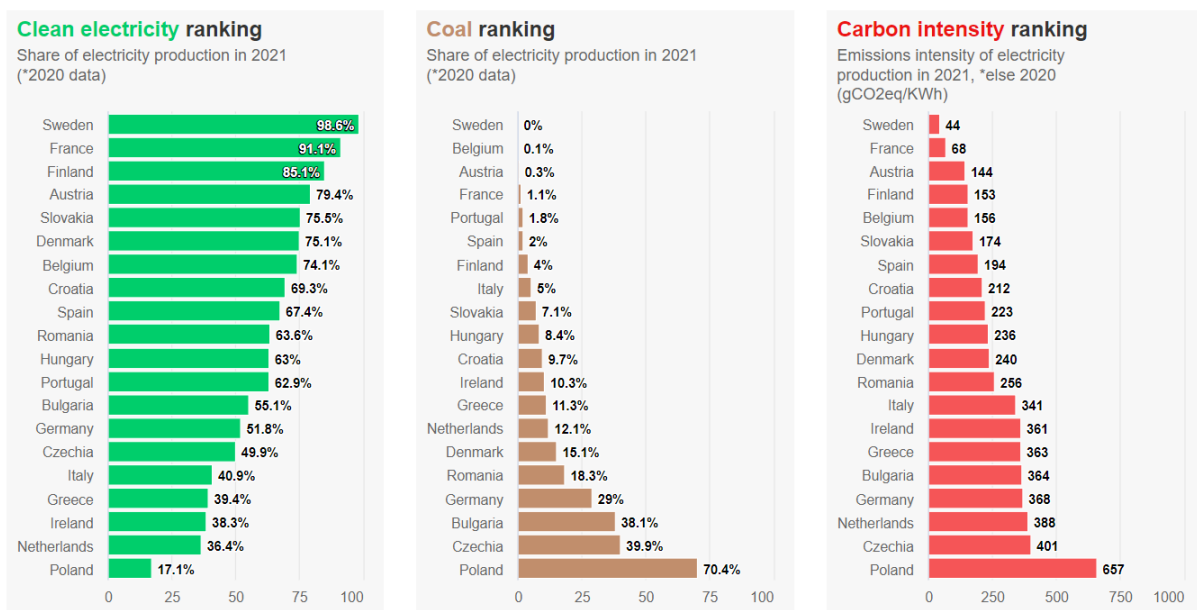
Ebben a fejezetben megvizsgálom, a visegrádi együttműködés államainak villamosenergia-termelése milyen forrásokból tevődik össze, valamint azt, hogy a diplomamunkám írása közben zajló orosz-ukrán konfliktus milyen módon befolyásolja az európai szénkivezetési terveket.

Villamosenergia-előállítás tekintetében Csehország és Lengyelország az Európai Unió két „fenegyereke”. 2030-ra Csehország lesz a 2. legszennyezőbb energiaforrásból származó villamosenergia-előállító az EU-ban. Egyike lesz annak a három országnak, ahol a szén – a leginkább szén-dioxid-kibocsátású fosszilis tüzelőanyag – részesedése meghaladja a villamosenergia-mix egyharmadát. Csehország a legalacsonyabb arányban tervezi megújuló energiaforrások bevezetését az EU-ban.

2030-ra Lengyelország lesz a legszennyezőbb forrásból előállított villamosenergia-hálózat az EU-ban. Lengyelország lesz az Unió legnagyobb széntermelője, amely az EU szén-alapú villamosenergia-termelésének több mint 40 százalékát teszi majd ki. Szél- és napenergia alkalmazásának részaránya jelentősen elmarad az uniós átlagtól. (EMBER, 2022)

9. ábra

Az EU villamosenergia-előállítási rangsorai a „tisztaság”, szén-részarány és karbonintenzitás szempontjából.



Forrás: EMBER [2020]

„Tiszta” villamosenergia-előállítás (Clean electricity ranking) tekintetében Szlovákia az igen előkelő 5. helyen áll a 2020-as adatok szerint, Magyarország a 11. helyen, a középmezőnyben foglal helyet az Unióban.

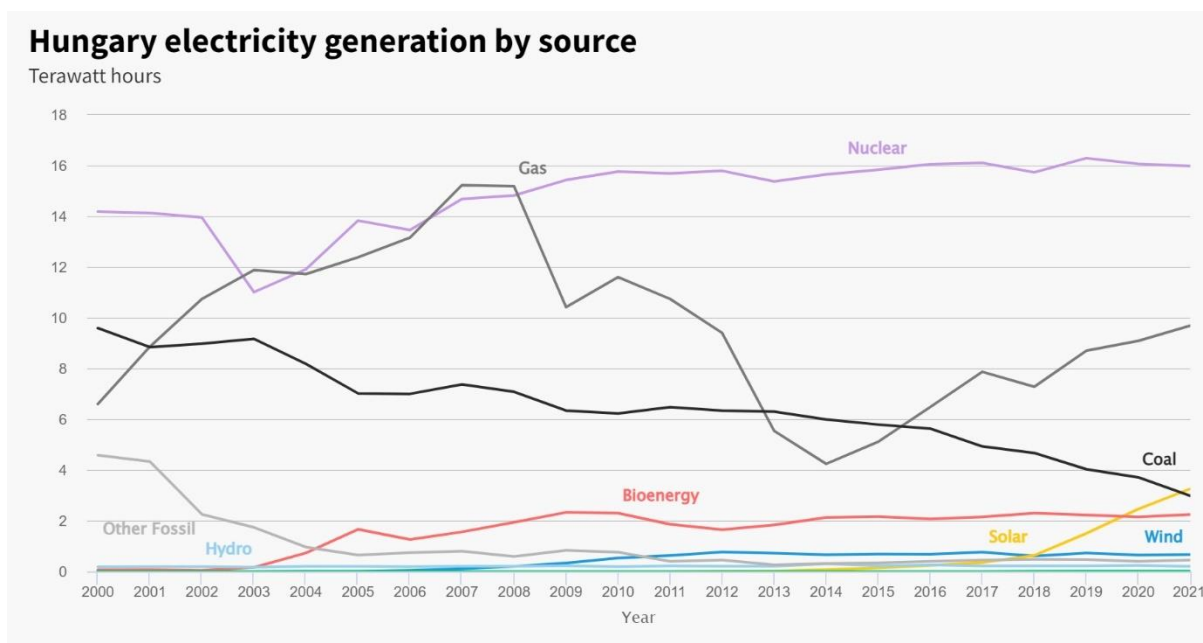
A villamosenergia-előállítás szén részarányát (Coal ranking) vizsgálva Szlovákia a 9., Magyarország a 10., a két sereghajtó pedig Lengyelország és Csehország, ahogyan a karbonintenzitási skálán is utóbbi két ország az utolsó. (EMBER, 2022)

3.2.1 Magyarország villamosenergia-felhasználásának adatai

A primer energiának hozzávetőlegesen 1/3-át fordítjuk villamosenergia-előállításra. A 46,9 TWh villamosenergia-fogyasztás mellett Magyarország energiatermelése 2021-ben 35,8 TWh volt. Ez 2 TWh-val több, mint 2018-ban. Magyarország áramtermelése leginkább a Paksi Atomerőműben történik, aránya eléri a kb. 50 százalékot. A többit főleg szén- és gáztüzelésű erőművek, illetve a feltörekvő megújuló energiatermelés (ennek aránya 2008 óta a duplájára emelkedett, 4,19 százalékról 8,48 százalékra) biztosítja.

10. ábra

Magyarország villamosenergia-termelésének megoszlása a források szerint (TWh).



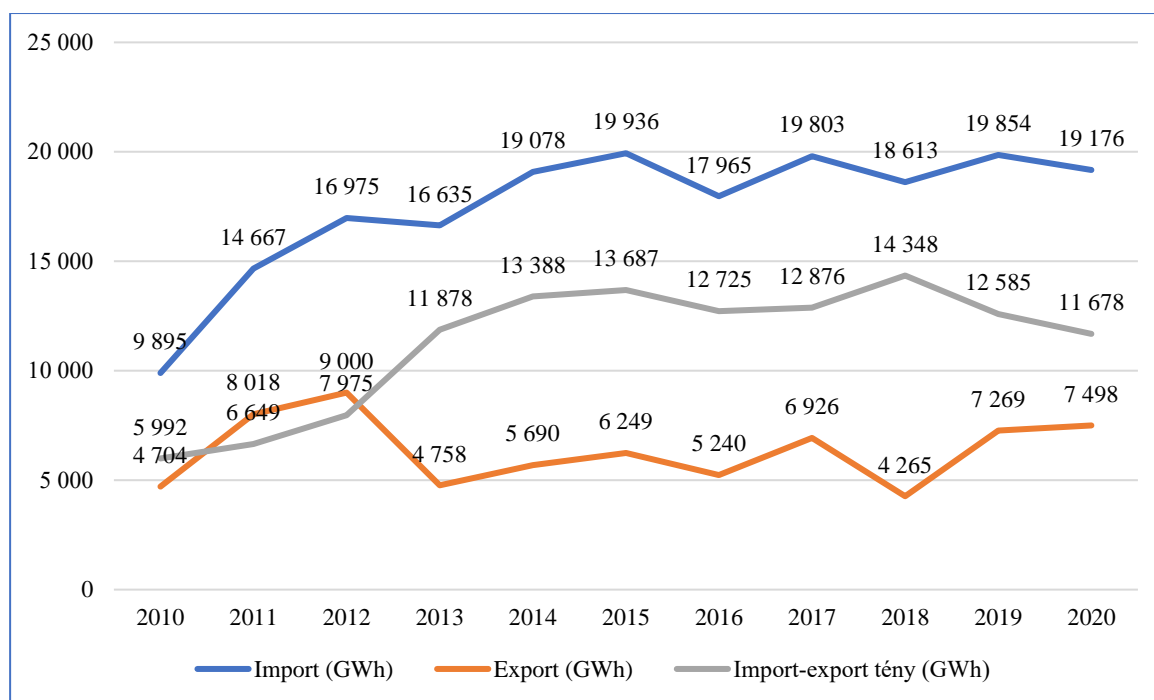
Forrás: EMBER [2020]

A 10. ábrából látszik, hogy az alapforrások (atom és földgáz) mellett a szoláris megújuló részarány is szépen emelkedik – legfőképp az utóbbi három évben - és ha kismértékben is, de a szén részarány fokozatosan csökken. Elgondolkodtató, hogy a 2032-2037 közötti Paks 1 négy

blokkjának végleges leállításával 2000 megawattnyi tiszta primer energiaforrás esik ki a magyar hálózathoz, a paksi két új blokk a régiók pótlását szolgálja majd.

11. ábra

Magyarország villamosenergia-külkereskedelmi adatai 2010-2020 között (GWh).



Forrás: MAVIR [2021] alapján saját szerkesztés

Magyarország nettó villamosenergia-importőr, szükségletének körülbelül 30 százalékát külföldről származó villamos energiából fedezi. Az utóbbi években nagymértékben növekvő import villamos energia részaránya az elmúlt időszakban forduló trendet követ, a 2018-as év 31,6 százalékos, rekord nagyságú import részarányát követően, 2019-ben ez a szám 27,6 százalékra csökkent, majd a 2020-as évben 25,9 százalékra mérséklődött. (VER, 2021.) A magyar importkitettségről a 3.3-as fejezetben írok részletesebben.

3.2.2 Lengyelország villamosenergia-felhasználásának adatai

Méreteit tekintve a lengyel rendszer körülbelül négyszer akkora, mint a magyar. Ez igaz mind a villamosenergiafogyasztás mértékére (≈ 160 TWh), a napi terhelések tartományára (≈ 12000 - 25000 MW) és a beépített erőművi kapacitások méretére is (≈ 45000 MW). A magyar rendszerhez mért hasonlóság a villamosenergia-fogyasztás növekedésének évi szűk 1%-os

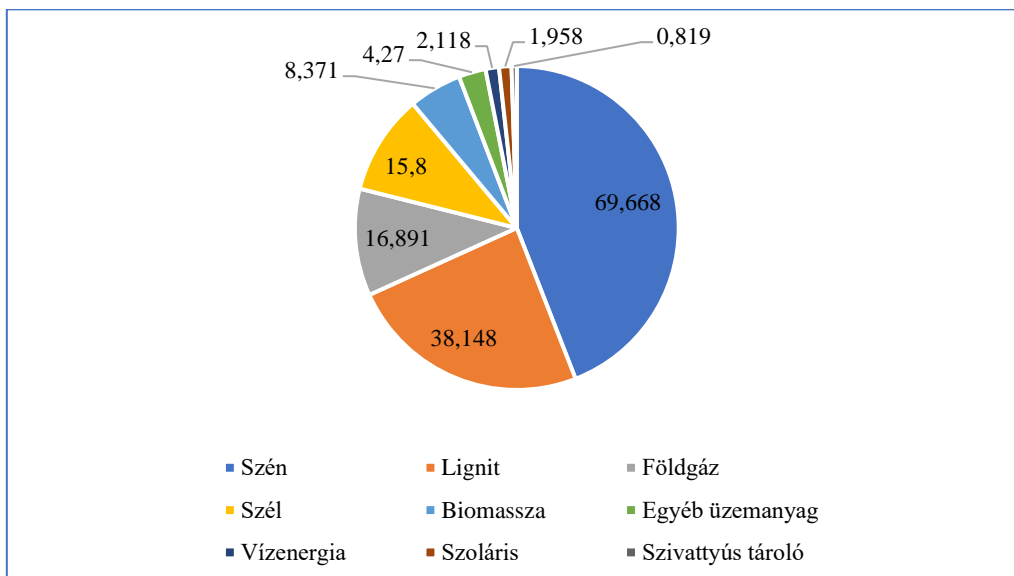
mértéke, mely átlagban az elmúlt 30 évre (1990: 120 TWh, 2020: 156 TWh) és a jövőre vonatkozó előrejelzésekre is igaz (2030: 180 TWh, 2040: 200+ TWh). Mindezek mellett azonban inkább különbségeket láthatunk: ez elsősorban az erőműpark összetételére, és ezáltal a lengyel villamosenergia-termelés forrásösszetételére, valamint a lengyel kapacitásmechanizmus létezésére igaz.

A lengyel villamosenergia-külkereskedelemről kijelenthető, hogy a 1990-es évektől a 2010-es évek elejéig nettó villamosenergia-exportőr volt, a nettó export olykor a 10 TWh-t is elérte. Viszont a szén/lignit erőművek villamosenergia-termelésének drágulásával, illetve a szomszédos országok villamosenergia árcsökkenésével, Lengyelország nettó villamosenergiaimportőrré vált, a nettó import mértéke 2020-ra a 13 TWh-t is elérte, ami pedig a lengyel fogyasztás 8 százaléka.

Az ENTSO-E adatai alapján 2020-ban az import 58 százalékban Németországból, 20 százalékban Svédországból érkezett (11% litván, 8% ukrán és 3% cseh import). A lengyel export jellemzően Szlovákia és Csehország felé irányul (49% és 45%).

12. ábra

Lengyelország villamosenergia-termelése a források eloszlása alapján (TWh).



Forrás: ARE [2022] alapján saját szerkesztés

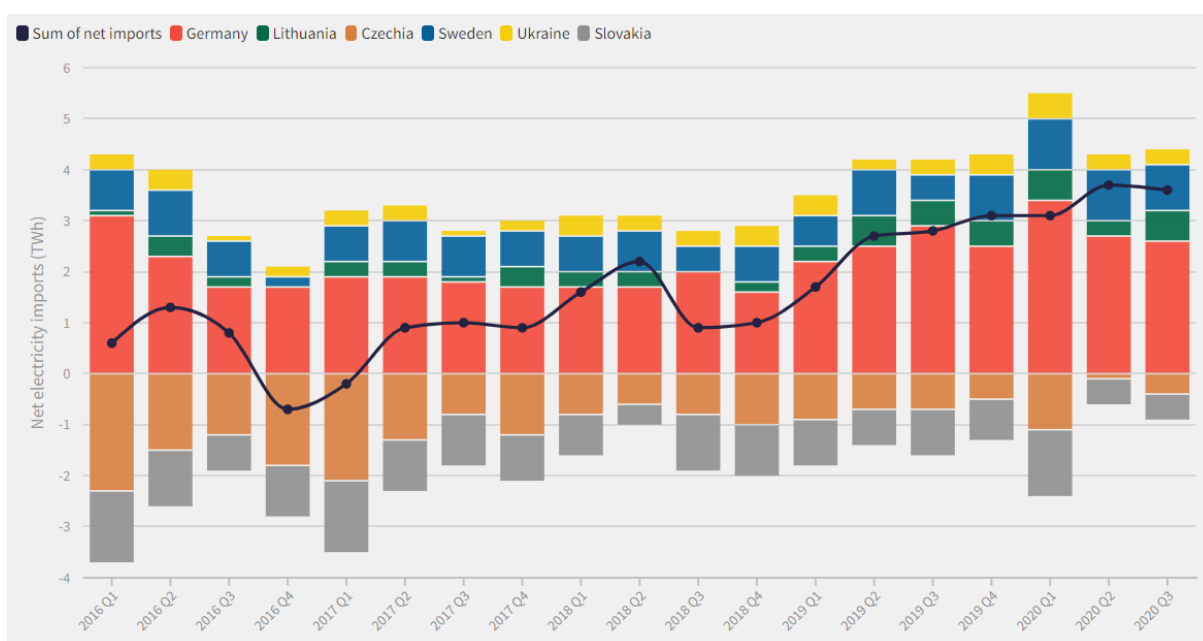
A lengyel energetikai gondolkodást alapvetően két cél vezérli: az egyik a villamosenergia-termelő szektor fokozatos dekarbonizációja, a szén fokozatos visszaszorítása, az ellátásbiztonság fenntartása a lengyel erőműpark életben tartása és új, klímakompatibilis erőművek, atomerőművek lengyelországi helyszíneken történő megépítése által.

Lengyelország céljai a megújuló energiaforrások és az atomenergia által biztosított dekarbonizáció felé irányulnak: cél a szénerőművek részarányának fokozatos csökkentése, illetve a nap- és szélenergia, valamint atomerőművek építése.

Az ellátásbiztonság miatt a következő évekre erőművek rendelkezésre állását biztosító kapacitásmechanizmust alkalmaz (2020-2040-ig tartó időszakra szóló kapacitáslektetésekkel), ennek keretében gázerőművek építésére is számít. Ugyanezt, az ellátás biztonságát szolgálja majd a tervezett 6-9 GW-nyi atomerőmű megépítése is (ld. 4.3.2 fejezet).

13. ábra

Lengyelország villamosenergia-importja (TWh) 2016 és 2020 között.



Forrás: EMBER [2021]

3.2.3 Csehország villamosenergia-felhasználásának adatai

2009 és 2019 között a Cseh Köztársaság villamosenergia termelése csak csekély mértékben megnövekedett, 80 terawattóra (TWh) és 90 TWh között ingadozik, teljes termelés 85,8 TWh-

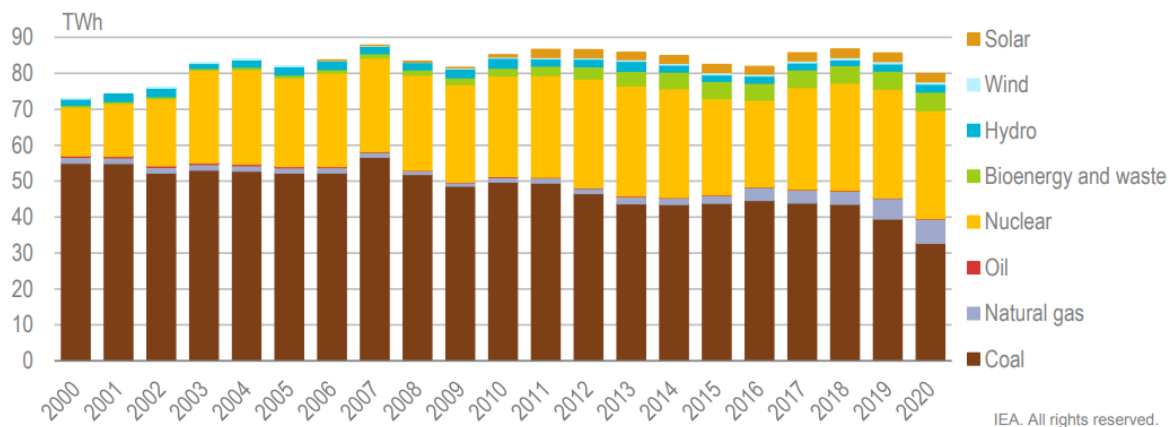
n 2019-ben. 2020-ban a COVID-19 csökkenést eredményezett villamosenergia termelés 80 TWh-ra (-7% egy év alatt).

Az országban szén és az atomenergia uralja a villamosenergia-termelési mixet. 2020-ban a széntüzelésű termelés 32,7 TWh volt, mely 34 százalékos csökkenés 2010-hez képest (6,8 TWh-val csökkent (-17 százalék) 2019-től, de 2010 és 2019 közötti időszakot tekintve már 10 TWh-val esett vissza).

A nukleáris energiatermelés a 2010-es 28 TWh-ról 2020-ra 30 TWh-ra nőtt. A megújuló energiaforrások részaránya 2010 és 2020 között 74 százalékkal nőtt (a 2010-es 5,9 TWh-ról 2020-ra 10,3 TWh-ra), főként a biomassza-felhasználásnak köszönhetően, amely a 2010-es 2,2 TWh-ról 2020-ra 5,2 TWh-ra nőtt, és napenergia, amely 0,6 TWh-ról 2,2 TWh-ra emelkedett ugyanebben az időszakban (IEA, 2021)

14. ábra

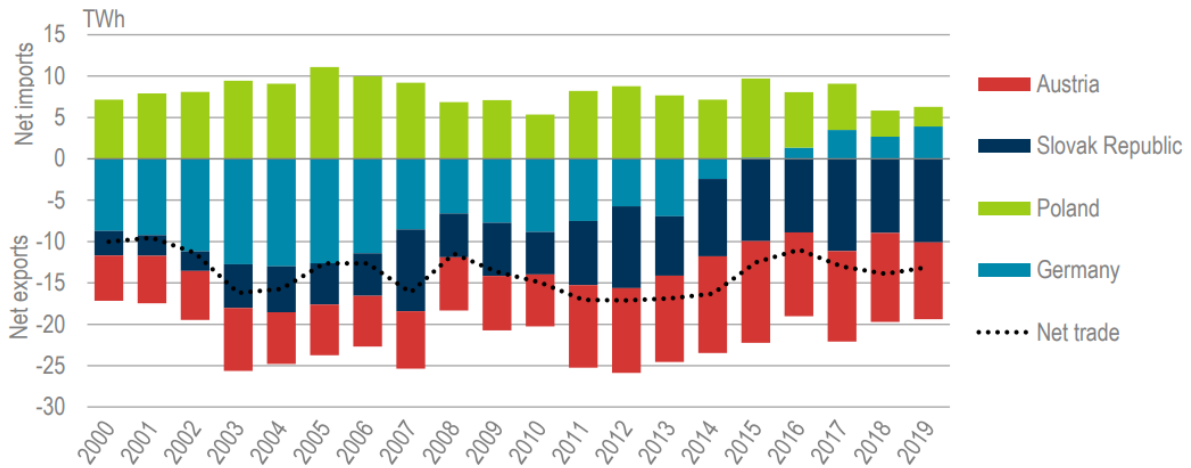
Villamosenergia-termelés Csehországban az energiaforrások megoszlása szerint 2000 és 2020 között (TWh)



Forrás: IEA [2021]

A Cseh Köztársaság nettó villamosenergia-exportőr, és minden szomszédjával kereskedik. Az ország kivitele 2019-ben elérte a 24,1 TWh-t. Szlovákiába 10,1 TWh, Ausztriába pedig 9,3 TWh villamos energiát exportált 2019-ben. Csehország Németországból és Lengyelországból vásárol villamos-energiát.

Csehország villamosenergia-exportja és -importja 2000 és 2020 között (TWh).



Forrás: IEA [2021]

3.2.4 Szlovákia villamosenergia-felhasználásának adatai

A szlovák villamosenergia-rendszer a magyarnál kisebb, az éves villamosenergia-felhasználás 28 TWh körül alakul, az átlagos terhelés 2000-4500 MW között van. Északi szomszédunkban 7715 MW beépített erőművi kapacitás található.

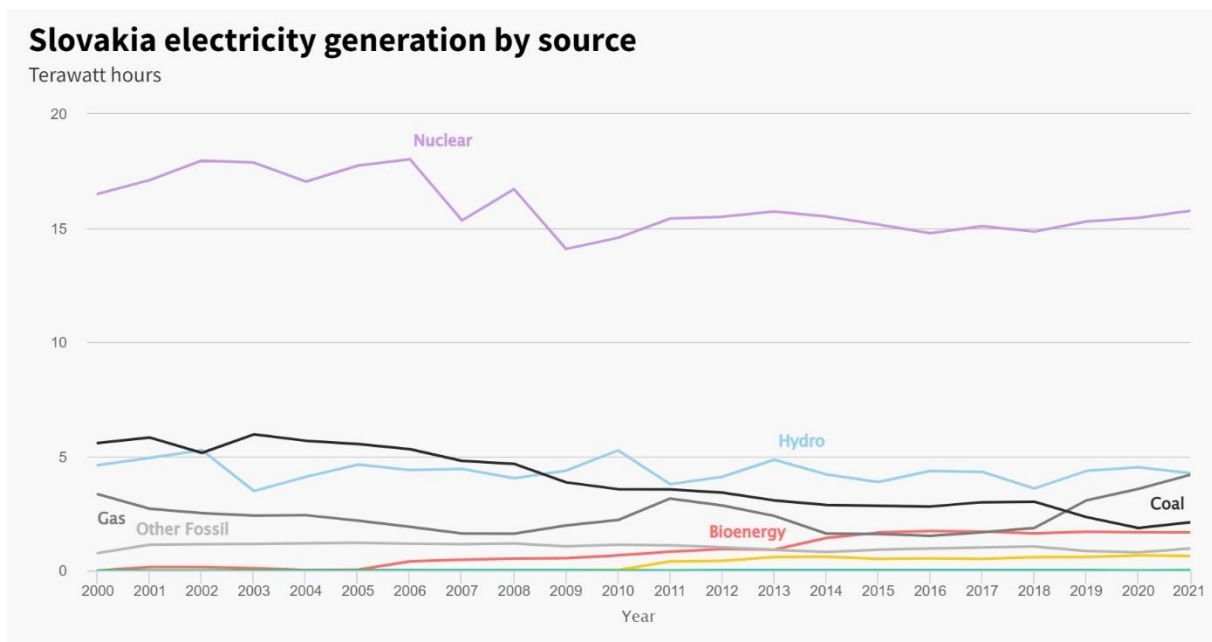
Az országban négy atomerőművi blokk üzemel (a paksival megegyező VVER-400/213 típus), ez csaknem 2000 megawattot tesz ki összesen, de komoly kapacitást jelent a közel 1600 megawattnyi vízerőmű, a megközelítőleg 900 megawatt szivattyús energiatárolós erőmű és a 1100 megawatt gázerőmű is. Időjárásfüggő megújuló energiaforrásként a napelemek számítanak komoly tényezőnek 531 megawattal, a szélerőművi kapacitás csupán 3 megawatt (ENTSO-E, 2019). Szénerőműből bő 500 megawatt áll rendelkezésre.

A szlovák beépített kapacitásokról annyit lehet elmondani, hogy a legfőbb indítható erőművi források (nukleáris, víz-, gáz-, szénerőművek, szivattyús energiatárolók) lefedik a szokásos 2000-4500 MW-os villamosenergiarendszer terhelési tartományát, és a két új atomerőművi blokk hamarosan várható üzemelésével (ld. 3.3.2 fejezet) a rendelkezésre álló kapacitások mértéke érdemben tovább is bővül.

A szlovák villamosenergia-előállításban a legnagyobb részarányt az atomerőművek teszik ki, részarányuk 2019-ben 54 százalék volt, ez a magyar atomerőművi részaránynál is nagyobb. A vízerőművek súlya 16 százalék, a gázerőműveké 12 százalék, a szén-erőművek szerepe 8 százalék volt, mely utóbbiak szerepe évek óta folyamatosan csökken (*Eurostat, 2020*).

16. ábra

Szlovákia villamosenergia-termelése a források eloszlása alapján (TWh).



Forrás: EMBER [2021]

A Mohi Atomerőmű 1-es és 2-es blokkjának beindulásával (1998 és 2000) északi szomszédunk kétezres évek elején nettó villamosenergia-exportőrré vált, ám ez a pozíciója a Bohunice-1 és 2-es atomerőművi blokkok 2006 és 2008 évi leállításával elveszett (Szlovákia uniós csatlakozásának kötelező eleme volt).

Szlovákia villamosenergia-exportja és importja 2010 és 2020 között (TWh).

Év	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2017	2018	2019	2020
Export	8,891	8,891	10,5	10,5	13,08	11,86	12,61	10,6	10,6	10,6
Import	9,412	9,412	10,9	10,9	13,88	12,96	14,97	13,25	13,25	13,25

Forrás: indexmundi [2021]

A 2010-es évek környékén Szlovákián évi 6-13 TWh villamos energia gyakorlatilag átfolyt, az "irány" jellemzően északról dél-délkelet felé mutatott, azaz Szlovákiába Csehország és Lengyelország felől beérkezett villamos energia Magyarország és Ukrajna irányába elhagyta az országot (érdekes módon Szlovákiának Ausztriával nincs hálózati összeköttetése).

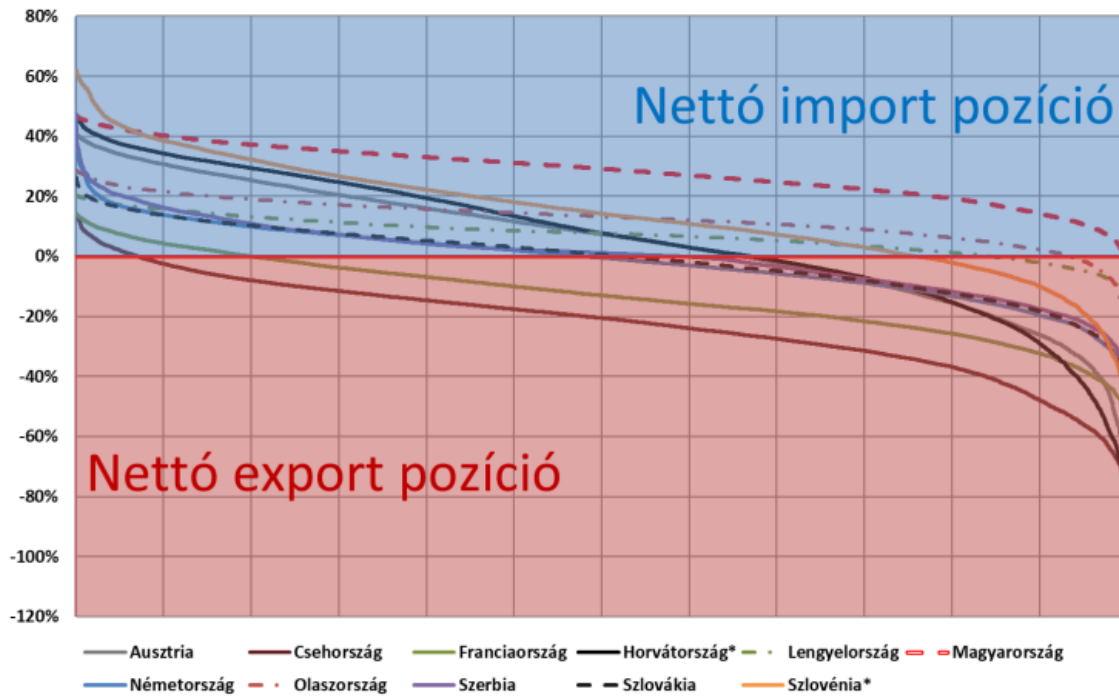
3.3 Villamosenergia-importfüggőség Magyarországon és a V4-ekben - összefoglalás

Az adatok ismeretében összehasonlítható a magyar villamosenergia-import mértéke több európai országgal (benne a V4-ekkel), kiemelkedik-e hazánk a környező országok mezőnyéből. Megvizsgáltam, az egyes országok importja mennyire fedezi a fogyasztást (rendszerterhelést). Az adatokat órás felbontásban dolgoztam fel és a nettó import adatokat használtam (vagyis az aktuális importból mindig levontam az aktuális exportteljesítményt).

Tegyük fel, ha egy adott órában egy államban 4600 MW a rendszer terhelése (azaz a fogyasztás) és 460 MW a nettó import, akkor mondhatjuk, hogy az aktuális érték 10 százalék, tehát az ország pillanatnyi (60 perces) rendszerterhelését 10 százalékban fedezi import.

A 17. ábrán összehasonlítottam a Visegrádi Együttműködés országainak villamosenergia-importját és exportját, valamint a szaldóját a 2019-es évre (az adatokat tartamdiagramon mutatom be, azaz a kapott értékeket csökkenő sorrendbe tettem).

Néhány uniós állam (és a V4-ek) nettó import tartamdiagramjai a terheléshez viszonyítva.



Forrás: ENTSO-E [2021]

Az ábrán a vízszintes tengely a teljes évről mutatja 12 oszlopra bontva, egy oszlop egy hónapos időtartamot jelöl. Levonható következtetések:

- Az Európa nagy részét lefedő vizsgált országok közül a magyar adatsor fut a legmagasabban, vagyis sajnos Magyarország importkitettsége a vizsgált országok között kimagasló. Kijelenthető, hogy 2021-ben Magyarországon volt 30 napnyi olyan időintervallum, amelyben a pillanatnyi villamosenergia-fogyasztást minimum 40 százalékban importból fedezték. Az év felében a magyar villamosenergiaigényeket legalább 30 százalékban külföldi forrásokra építve oldjuk meg. Hazánk szinte az év egészében nettó importőr pozícióban van.
- A gyakorlatilag állandóan importőr Olaszország az óriási mennyiségű villamosenergia-import ellenére az aktuális villamosenergia-igények negyedrésznél nagyobb import-részarányra 2021-ben sosem volt szükség, sőt, az import javarészt csak 0-20 százalék között mozgott.

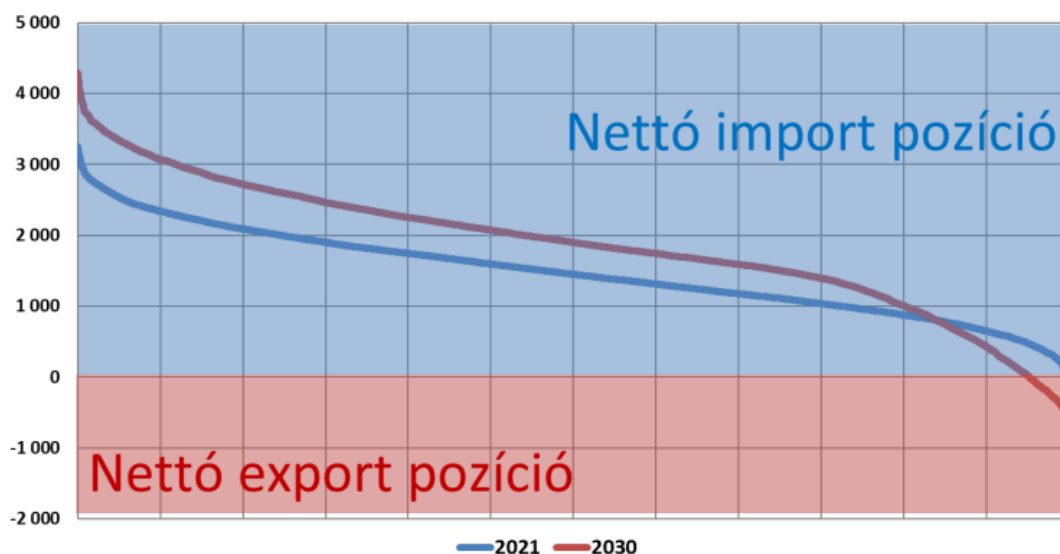
- A Magyarországhoz hasonlóan csaknem folyamatosan nettó importőr Lengyelországban is sokkal jobb a helyzet, az import részaránya csak 30 napnyi időintervallumban haladta meg az aktuális villamosenergia-igények 18 százalékát.
- A legtöbb állam nem csak importpozícióban van, hanem sokszor exportál is, tehát nem csak import oldalon lép be a villamosenergia-kereskedelembé, hanem élvezzi az export oldal előnyeit is.
- Csehország az év nagy részében nettó exportőr, a franciák az év tíz hónapjában vannak exportpozícióban, Szlovákia és Szerbia év felében nettó importőr, másik felében nettó exportőr.

Megvizsgáltam a tartamgörbét úgy is, hogy megawattokban vizsgáltam meg az értékeket. A 15-ös ábra ezt mutatja meg, melyet kiegészítettem egy, a 2030. évi import előrejelzett tartamgörbével. Ezek alapján a következő feltételezésekkel élek:

- a Mátrai erőmű 2030-ra leáll a termeléssel, helyére egy új, 500 MW-os gázerőmű épül;
- a hazai szoláris kapacitás 2030-ra eléri a 6000 MW-ot;
- a kereslet az elektromos autók és hőszivattyúk terjedése miatt emelkedik;
- a Paks II. nukleáris erőmű új blokkjait nem tettem a rendszerbe, hogy látható legyen, mi lenne a helyzet 2030-ban Paks II. nélkül.

18. ábra

A magyarországi nettó tartamgörbe – 2021 tény és 2030 előrejelzés (MW).



Forrás: MAVIR [2021] alapján saját szerkesztés

Látható, hogy Paks II. nélkül 2030-ban még akkor is olykor 4000 MW fölötti nettó importra szorulna Magyarország, ha a hazai, - ma is igen komoly - rendszerintegrációs nehézségeket okozó - 3000 MW-os napelemes kapacitást sikerülne megduplázni. Modellezésem szerint a sok szolárpanel azt is eredményezi, hogy bizonyos napsütéses időszakokban (amikor a sok panel együtt termel, a terhelés viszont alacsony) nettó exportőri pozícióba kerülne Magyarország, de ez az exportteljesítmény csupán néhány száz megawattot jelentene.

Ha időben távolabbi időszakot vizsgálunk, akkor a helyzetet rontja a tény, hogy a Paksi Atomerőmű várhatóan 2032-2037 között végleg leáll, ami 2000 MW karbonmentes termelőkapacitás kiesését jelenti. A Paks II. projekt során épülő új blokkok épp a mai paksi blokkok kapacitásának pótlására hivatottak, azaz, ha nem épülnek további erőművek, akkor a fenti, európai viszonylatban is kiemelkedő importkitettséggel hosszútávon is fennáll.

3.3.1 Importkitettség vagy ellátásbiztonság?

Egy állam villamosenergia-import részarányának vizsgálatakor felmerül a téma közgazdaságtani aspektusa: képes lett volna-e, és mekkora költséggel járó alternatív lehetőség lett volna kiváltani ezt az importot, a maximális ellátásbiztonság mellett? Amennyiben nem, a társadalmi jólét tekintetében nem éri meg az importarány-csökkentés. Ha viszont az ország a külföldnél versenyképesebb költségen tudja előállítani a saját maga által el is használt villamos energiát, akkor ne legyen az energiaimport-függő, sőt akár exportálhat is.

A napelemes beépített kapacitások bővülésével és leginkább a két új paksi blokk üzembe állításával a nettó importarány csökkenni fog, még akár az időszakos export nagysága és időtartama is növekedhet.

A helyzetet árnyalja, hogy a versenyképes ár, mint fogalom változóban van: szénerőművekben nagyon olcsón, és nagyon szennyezően lehet áramot termelni – a magyar import egy része márpedig Ukrajnában, a V4-eknél vagy a Balkánon így előállított „szennyezett” áramot jelent. Ez azonban értelem szerűen nem fenntartható scenárió: a klímasemlegességi célokkal összeegyeztethetetlen, a környezetszennyező energiaforrások árelőnye az uniós jogszabályi környezet (karbonkvóta, karbonvám) miatt eltűnik.

Ha egy ország nem, vagy csak felár ellenében tudja magát ellátni, akkor az a kérdés mekkora felárat akar fizetni azért, hogy a saját villamosenergia-fogyasztását maga fedezze. Ha nincs ellátásbiztonsági rizikó - pl. az adott ország egy hatékony, nagy közös piac része, akkor a válasz

feltehetően az, hogy nem éri meg felárat fizetni, a jóléti veszteséget kell felvállalnia. Ez nem jelenti azt, hogy nem kellene mindent megtenni azért, hogy a saját maga előnyeit kihasználva az ország versenyképesen növelje a saját termelését és ezzel csökkentse az import arányt vagy növelje az exportját.

A villamosenergia esetében az átviteli hálózat biztosítja azt, hogy az áram eljusson az erőművektől az elosztóhálózatokhoz, ezáltal a végfelhasználókhoz. A villamos rendszerirányítás legfontosabb feladata, hogy a termelés és a fogyasztás minden időintervallumban balansban legyen az adott államban. Az ellátásbiztonságot a rendszer komplex hálózati jellege garantálja.

2022 első negyedében, a szlovén-magyar határkeresztező vezeték kereskedelmi üzemének elindulásával hazánk az összes szomszédos országgal összeköttetésbe kerül, ezzel magyar garantálva az ellátásbiztonságot. Ezáltal lehetővé válik, hogy a körülményekhez alkalmazkodva importáljon vagy exportáljon áramot.

4. AZ ATOMENERGIA BEMUTATÁSA

Ahhoz, hogy meg tudjuk ítélni egy energiaforrás „veszélyességét”, hatékonyságát, meg kell értenünk annak működési elvét és mechanizmusát.

4.1 Az atomerőmű működése

A reaktor belső részében lévő urán-dioxid fűtőanyagban történik a nukleáris lánreakció. A keletkező hőmennyiséget zárt rendszerben keringő nagy nyomással rendelkező, magas hőmérsékletű víz juttatja el a gőzfejlesztőkbe. Ezt nevezik primer körnek.

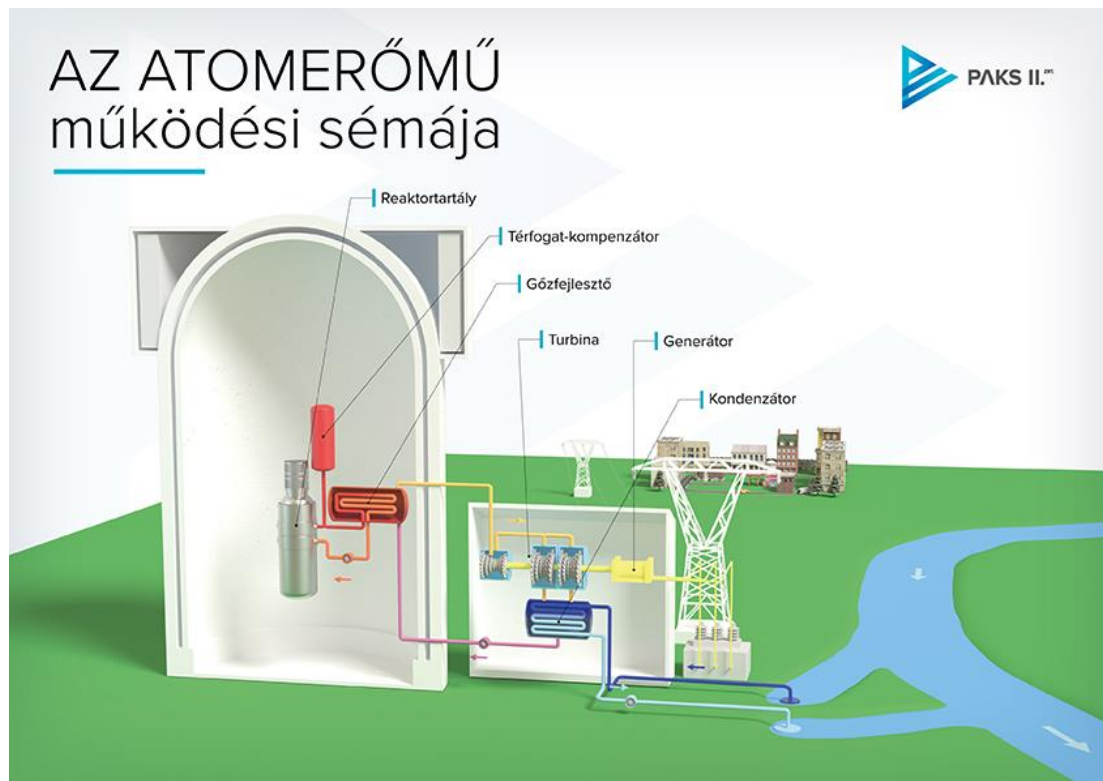
A térfogat-kompenzátor szabályozza és tartja fenn a primer környomást, mely biztosítja, hogy a hűtővíz folyékony halmazállapotában maradjon meg.

A gőzfejlesztők nagy nyomáson gőzt állítanak elő, ami pedig a turbinák tengelyét forgatja, így a reaktorban termelt hőenergiából mozgási energia keletkezik. Ez a forgómozgás a generátorokban villamos áramot termel, amely transzformátorokon és kapcsolóberendezéseken keresztül kerül az országos villamosenergia-rendszerbe. Eközben a turbinákban munkát végzett gőz a kondenzátorban lecsapódik, a víz visszavezetésre kerül a gőzfejlesztőbe. Ez az úgynevezett szekunder kör.

A blokk nyitott körű hűtőrendszere a kondenzátort hűti, biztosítva a munkát végzett gőz lecsapódását. Ez a hűtőrendszer hűtőtoronyhoz vagy megfelelő víz mennyiséggel rendelkező folyóhoz kapcsolódik. (Paks2, 2022)

19. ábra

Az atomerőmű működése nagyvonalakban.



Forrás: paks2.hu [2021]

4.2 A magyarországi és a V4-ekben alkalmazott reaktortípusok

A Paksi Atomerőműben 4 darab VVER-440/213 típusú reaktor működik, ezek a nyomott vizes reaktorok (PWR) csoportjába tartoznak. A nevükben is látható 440 utal az eredeti, névleges villamos teljesítményükre (megawattban), ez a különböző fejlesztések miatt mára 500 megawatt fölé nőtt. Ma az atomerőmű elektromos összteljesítménye 2026,6 megawatt, a reaktorok hőteljesítménye pedig 1485 megawatt.

Az új, tervezett blokk a VVER-1200, 3+ generációs, nyomottvizes reaktortípus lesz. A tervezett bruttó villamos teljesítmény blokkonként 1200 MW. A blokkok elvárt üzemideje minimum 60 év.

4.3 Atomenergetikai helyzet a V4-ekben

A visegrádi együttműködés országainak mindegyike tervez közép- és hosszútávon az atomenergiával. Összefoglaltam a jelenlegi és tervezett nukleáris kapacításokat.

4.3.1 Magyarország jelenlegi és tervezett nukleáris kapacitása

1966-ban írták alá Magyarország és a Szovjetunió között az atomerőmű építéséről szóló államközi szerződést. A Budapesttől 100 km-re délre, Paksot választották helyszínnek. Az első két blokkot 1974-ben kezdték építeni, a második kettőt 1979-ben. A négy VVER-440-es reaktor (V-213-as modell) 1982 és 1987 között indult.

4. táblázat

Működő magyarországi nukleáris blokkok.

Reaktor neve	Modell	Reaktortípus	Nettó kapacitás (MWe)	Első hálózati csatlakozás
Paks 4	VVER V-213	PWR	479	1987
Paks 3	VVER V-213	PWR	479	1986
Paks 2	VVER V-213	PWR	479	1984
Paks 1	VVER V-213	PWR	479	1982

Forrás: WNA [2020]

2014-ben kormányközi megállapodást írtak alá két új VVER-1200 típusú reaktor építéséről a paksi telephelyen. 2014. december 9-én létrejött az úgynevezett megvalósítási egyezmények, melyek rögzítik az új blokkok tervezési, beszerzési és kivitelezési paramétereit, az üzemeltetési és karbantartással kapcsolatos részleteket, illetve szabályozzák az üzemanyag-ellátás feltételeit.

A felek úgynevezett turn key szerződést írtak alá, mely azt jelenti, hogy az atomerőművet minden tartozékkal együtt szállítják le, fix műszaki tartalommal, üzemkész állapotban és a megállapodott áron. A 12,5 milliárd eurós beruházási érték nem emelkedhet.

Tervezett magyarországi nukleáris bővítések.

Reaktor neve	Modell	Reaktortípus	Nettó kapacitás (MWe)	Első hálózati csatlakozás
Paks 5	AES-2006E: VVER-1200/V-527	PWR	1200	2030
Paks 6	AES-2006E: VVER-1200/V-527	PWR	1200	2030

Forrás: WNA [2021]

4.3.2 Lengyelország jelenlegi és tervezett nukleáris kapacitása

Lengyelországnak jelenleg nincs atomerőműve, az ország nukleáris programja hat 1 GWe és 1,5 GWe közötti teljesítményű reaktort irányoz elő, az elsőt 2033-ban indítanák be, csökkentseék a széntüzelésű erőművek részarányát a villamsenergia-termelésben.

Az első 1-1,6 GWe teljesítményű nukleáris blokkot 2033-ban tervezik üzembe helyezni, majd 2040-ig további öt blokkot, vagyis 6-9 GWe-nyi nukleáris kapacitással terveznek. A lengyelországi Choczewo település tengerparti városait, Lubiatowo és Kopalino településeket jelölték meg a nukleáris blokk preferált helyszíneként.

A Bechtel szándéknyilatkozatot írt alá 12 lengyel vállalattal két új atomerőmű fejlesztéséről Lengyelországban. Az amerikai mérnöki cég szerint a jövőben további megállapodások születnek majd.

Lengyelország már kapott ajánlatot a Korea Hydro & Nuclear Power-től hat APR-1400-as reaktor építésére, valamint ajánlatot az EDF-től legfeljebb hat EPR blokkra. A Westinghouse-nak idén szeptemberig kell benyújtania ajánlatát. (WNN, 2022)

Lengyelország tervezett nukleáris kapacitásai.

Reaktor neve	Modell	Reaktortípus	Első hálózati csatlakozás
Zarnowiec, TBD	TBD	PWR	2033
East Poland, TBD Belchatow?	TBD	PWR	2039

Forrás: WNA [2022]

4.3.2 Csehország jelenlegi és tervezett nukleáris kapacitása

A Cseh Köztársaságban jelenleg két nukleáris erőmű, a Dukovany Atomerőmű és a Temelini Atomerőmű üzemel. A Dukovany erőmű előélete a '70-es években kezdődik, amikor a Szovjetunió és Csehszlovákia két, 1760 megawattos erőmű építéséről írt alá kormányközi szerződést. Elsőként végül a ma már szlovák területen lévő Bohunice-i erőmű épült meg, a második csehszlovák nukleáris erőmű pedig Dukovanyban, az utolsó (4.) blokk 1987-ben lett üzembe állítva. A Dukovany volt a legnagyobb áramtermelő 2012-ig, amikor is megelőzte a Temelini blokk, melynek első blokkja 2000 októberében kapott üzemeltetési engedélyt a Nukleáris Biztonsági Állami Hivataltól.

Csehország jelenleg is működő reaktorai.

Reaktor neve	Modell	Reaktortípus	Nettó kapacitás (MWe)	Első hálózati csatlakozás
Dukovany 1	VVER V-213	PWR	468	1985
Dukovany 2	VVER V-213	PWR	471	1986
Dukovany 3	VVER V-213	PWR	468	1986
Dukovany 4	VVER V-213	PWR	471	1987
Temelín 1	VVER V-320	PWR	1027	2000
Temelín 2	VVER V-320	PWR	1029	2002

Forrás: World-Nuclear [2022]

Csehországban a tervek szerint 2035-ig, 2500 MWe-s új nukleáris kapacitást kívánnak létrehozni így az atomenergia lesz a villamosenergia-termelés fő forrása, részaránya 2040-re 35 százalékról 46-58 százalékra emelkedik. A cseh miniszterelnök 2019 decemberében

kijelentette, hogy az ország következő blokkjának építése várhatóan 2029-ben kezdődik Dukovanyban, a reaktor 2036-ban kezdi meg működését.

8. táblázat

Tervezett nukleáris kapacitás Csehországban.

Reaktor neve	Modell	Reaktortípus	Nettó kapacitás (MWe)	Első hálózati csatlakozás
Dukovany 5	?	PWR	feltételezett 1200	2036
Temelín 3-4	MIR 1200	PWR	kb. 1200-1200	?
Dukovany 6	?	PWR	feltételezett 1200	?

Forrás: WNA [2022]

4.3.2 Szlovákia jelenlegi és tervezett nukleáris kapacitása

Szlovákiában négy atomreaktor áll rendelkezésre, amelyek villamos energiájának felét termelik, és további kettő épül. Szlovákia első kereskedelmi célú atomerőművi reaktora 1972-ben kezdte meg működését. A szlovák kormány elkötelezett az atomenergia jövője iránt.

9. táblázat

A Szlovákiában működő reaktorok.

Reaktor neve	Modell	Reaktortípus	Nettó kapacitás (MWe)	Első hálózati csatlakozás
Bohunice 3	VVER V-213	PWR	466	1984
Mochovce 2	VVER V-213	PWR	469	1999
Mochovce 1	VVER V-213	PWR	467	1998
Bohunice 4	VVER V-213	PWR	466	1985

Forrás: WNA [2022]

2004 októberében a szlovák kormány jóváhagyta az olasz ENEL ajánlatát a Slovenské Elektrárne 66 százalékának megvásárlására 840 millió euróért a privatizációs folyamat részeként. Az Enel ezt követő, 2005-ben jóváhagyott beruházási terve 1,88 milliárd eurós beruházást tartalmazott a termelőkapacitás növelésére, ebből 1,6 milliárd eurót a Mochovce 3. és 4. blokk befejezésére.

A projekt becsült költsége azóta több mint kétszeresére nőtt. 2006 januárjában a kormány jóváhagyta az új energiastratégiát, amely magában foglalja ezeket a terveket, beleértve a Mochovce 1 és 2, valamint a Bohunice V2 blokkok kapacitásának növelését.

Ezenkívül 2025 körül, amikor a két V2-es blokk eléri a 40 éves működési idejét, a stratégia vagy a V2-es blokkok élettartamának meghosszabbítását vagy 1200 MWe új nukleáris kapacitás megépítését szorgalmazta az ország keleti részén fekvő Kecerovcén. (WNA, 2021)

10. táblázat

Szlovákiai építés alatt álló és tervezett erőművi reaktorok.

Reaktor neve	Modell	Reaktortípus	Nettó kapacitás (MWe)	Első hálózati csatlakozás
Mochovce 3	V-213+	PWR	471	2022
Mochovce 4	V-213+	PWR	471	2023
Bohunice új blokk	VVER	PWR	1200	2025
Kecerovce		PWR	1200	2025 után

Forrás: WNA [2022]

4.4 Az atomenergia megítélése a visegrádi együttműködés országaiban

A Visegrádi Együttműködés országaiban is folyamatosan monitorozzák a lakosság hozzáállását a különböző energiaforrásokhoz.

Egy 2021-es lengyel közvéleménykutatás eredményei azt mutatták, hogy az emberek 74 százaléka támogatja az atomerőműveket Lengyelországban, 20 százaléka pedig ellenzi. Ez 11 százalékos támogatottság-növekedést jelent. A lengyel lakosság 78 százaléka egyetértett azzal a kijelentéssel, hogy „*az atomerőművek építése Lengyelországban jó módja az éghajlatváltozás elleni küzdelemnek*”, ezzel, és csak 17 százalékuk nem ért egyet. 82 százalék szerint az „*atomerőművek építése jó módszer lenne Lengyelország energiabiztonságának növelésére*” (WNN, 2021).

Az IBRS legutóbbi közvélemény-kutatása szerint a nukleáris energia támogatottsága 65 százalékra ugrott Csehországban, és az országban élők mintegy 93 százaléka szeretné, ha továbbra is önálló lenne a villamosenergia-termelés terén. A 65 százalékos nukleáris

támogatottság jelentős ugrást jelent a 2021-es év második negyedévében elért 59 százalékos szinthez képest (WNN, 2021).

A szlovák kormány által 2019-ben végzett közvéleménykutatás rámutatott, hogy a szlovák lakosság 73 százaléka szerint az atomerőművek biztonságosak. A válaszadók 20 százaléka gondolja úgy, hogy a szlovákiai atomerőművek „*határozottan biztonságosak*”, 53 százaléku gondolja, hogy „*meglehetősen biztonságban vannak*”. A válaszadók több mint egyötöde (22 százalék) ezzel ellentétes véleményen van, azaz a szlovák „*atomerőművek nem biztonságosak*”. 18 százaléka a válaszadók úgy gondolja, hogy „*inkább nem biztonságosak*”, a válaszadók 4 százaléka pedig meg van győződve arról, hogy „*határozottan nem biztonságos*” atomerőművek alkalmazása (Focus, 2019)

A Századvég az Európa Projekt című kutatás eredményeinek alapján elemezte az európai polgárok véleményét a nukleáris technológiáról. Az atompárti országok közül a nukleáris energiát leginkább a csehek támogatják, ahol az elutasítottság mindössze 5 százalék, és a válaszadók csaknem fele (49 százaléka) szerint nagyon sok vagy sok villamos energiát kellene a technológiával előállítani. A kutatási eredmények alapján Magyarországon is igen magas az atomenergia támogatottsága: ezekben a tagállamokban a két kedvező kategória összesített aránya 46 százalék. (Századvég, 2021)

5. VILLAMOSENERGIA-ELŐÁLLÍTÁS MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKBÓL

A dolgozat ezen részében bemutatom, mely megújuló energiaforrások alkalmazhatók villamosenergia-termelésre. Megvizsgálom, számításokkal, kimutatásokkal támasztom alá, kiváltható-e 100 százalékban a magyarországi nukleáris alapú villamosenergia-termelés.

5.1 Villamosenergia-termelés napelemekkel

A naptól származó sugárzási energia több módon hasznosítható. Az egyik legelterjedtebb megoldás a villamos áram napelemekkel való előállítása. A napelemeket különböző anyagokból állítják elő és az alapanyaguktól függően más-más a hatásfokuk.

A legelterjedtebb napelemtípusok a mono- és polikristályos szilícium, valamint az amorf szilícium alapanyagúak. (Dr. Csoknyai et. al, 2013)

5.1.1 A napelemek hatásfoka

A napelemek hatásfokát az alapanyagukon, konstrukciójukon túl nagymértékben befolyásolják az elhelyezési körülmények úgy, mint a tájolás és a dőlésszög. Magyarországon az optimális dőlésszög 30°-60° között van, a tájolás pedig déli vagy attól ±15 százalékkal nyugatra térhet el. A hatásfokot a cellák és a levegő hőmérséklete is befolyásolja.

A napelem hatásfoka az alábbi összefüggés segítségével számítható:

$$\eta = \frac{I_m \cdot U_m}{P_{\text{nap}}} = \frac{\varphi \cdot I_r \cdot U_{\ddot{u}}}{P_{\text{nap}}} = \frac{P_m}{P \cdot A_{\text{napelem}}}$$

ahol:

- P_{nap} – beeső fényteljesítmény, [W];
- $P_m = I_m \cdot U_m$ – villamos teljesítmény, [W],
- φ – kitöltési tényező, [-],
- I_r – rövidzárási áram, [A],
- $U_{\ddot{u}}$ – üresjárási feszültség, [V],
- P – a napsugárzás teljesítménye, [W/m²],
- A_{napelem} – a napelem felülete, [m²].

11. táblázat

A napelemek hatásfoka alapanyag szerint.

A napelem típusa	Hatásfok	
	Gyakorlati	Laboratóriumi
Monokristályos szilícium	15-18%	25%
Polikristályos szilícium	10-13%	20%
Amorf szilícium	4 – 6%	12%
Vékonyréteg, kadmium-tellurid	10%	16%
Vékonyréteg, gallium-arzenid	na.	na.
Vékonyréteg, CIGS	11%	19%
Vastagréteg	na.	na.
Eltemetett	16%	21%
Foto-elektrokémiai	na.	10%

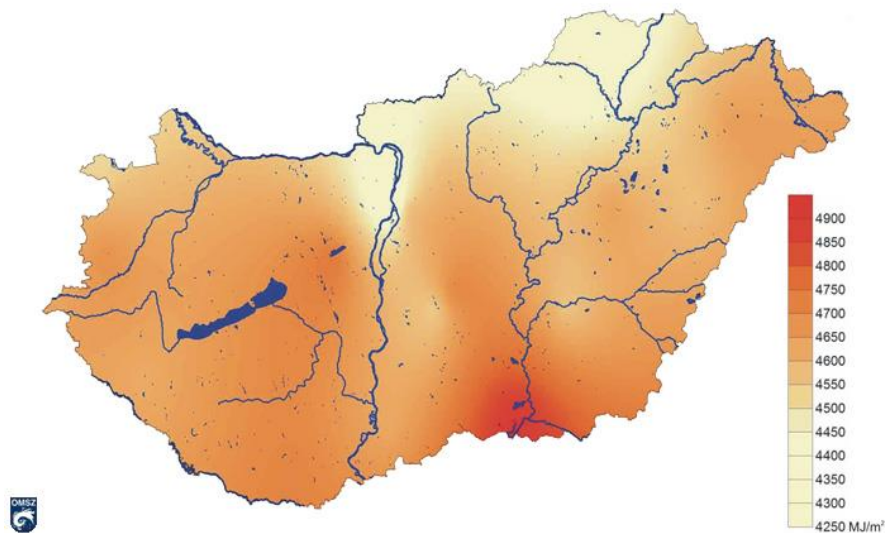
Forrás: Nemcsics [2001]

A 11. táblázatból látszik, hogy a napelemek hatásfokának laboratóriumi értéke a 25 százalékot is eléri, de a gyakorlati tapasztalatok alapján a hatásfok még nem éri el a 20 százalékot.

A Magyarország területére vonatkozó átlagos évi sugárzási energia értékeket az 20. ábra szemlélteti.

20. ábra

A Magyarországra jutó átlagos éves sugárzási energia (MJ/m^2).



Forrás: OMSZ [2022]

A 20. ábra alapján látható, hogy Magyarországon az éves napsugárzási energia értéke $4250\text{-}4900 \text{ MJ}/\text{m}^2$ között van.

Az 1. ábra alapján Magyarország 2021. évi villamosenergia-fogyasztása $46\,923\,920 \text{ MWh}$, azaz körülbelül 47 TWh .

5.1.2 A napelemek teljesítményének meghatározása

A 20. ábra alapján a figyelembe vett éves $1180\text{-}1360 \text{ kWh}/\text{m}^2$ nagyságú napsugárzási energia alapján egy monokristályos szilícium napelem panel $160\text{-}220 \text{ kWh}/\text{m}^2$ energiát termel éves szinten.

Hazánk villamosenergia-igényének kielégítéséhez szükséges területi igény, az egyidejűséget és a tárolhatóság kérdését nem vizsgálva:

$$A_{\text{napelem}} = \frac{E_{\text{ellátandó}}}{P_{\text{napelem}}}, \text{ ebből}$$

$$A_{\text{napelem}} = 47 \text{ TWh} / 190 \text{ kWh/m}^2 = 247\,368\,421,0526316 \text{ m}^2 = \mathbf{247,37 \text{ km}^2}.$$

A tapasztalati értékek és gyártói útmutatások alapján 1 kW névleges teljesítményű, 20-30° dőlésszögű, déli tájolású napelem évente átlagosan 1150-1200 kWh villamos energiát termel. Az 1 kW névleges teljesítményű napelem felülete kb. 6-7 m² nagyságú (gyártmánytól és típustól függően). Ez megközelítő érték, amit több tényező alakíthat, így például a napelem tájolása, dőlésszöge, az évi napsütéses órák száma, időjárási adottságok és körülmények, a napelemtípus és annak hatásfoka.

A napelem panelek száma:

$$N_{\text{napelem}} = \frac{E_{\text{ellátandó}}}{P_{\text{napelem}}}, \text{ ebből}$$

$$N_{\text{napelem}} = 47 \text{ TWh} / 1100 \text{ kWh} = 42\,727\,272,72 \sim \mathbf{42\,727\,273 \text{ darab}}$$

Ezeket el is kell helyezni, melynek területigénye:

$$A_{\text{szükséges}} = A_{\text{napelem}} * N_{\text{napelem}}, \text{ ebből}$$

$$A_{\text{szükséges}} = 6 \text{ m}^2 * 42\,727\,273 \text{ darab} = 256\,363\,638 \text{ m}^2 \sim \mathbf{257 \text{ km}^2}$$

Látható, hogy a két számítási mód megközelítőleg ugyanazt az eredményt hozza. A fenti számításból látszik, hogy Magyarország villamosenergia-igényének kielégítéséhez igen tekintélyes területet elfoglaló napelemszám szükséges.

Meg kell jegyezni, hogy a napenergia hasznosítása során nem vettem figyelembe a tárolhatóságot és a rendelkezésre állás időszakiságát. A napelem parkok mellé még különböző üzemeltetési létesítmények telepítése is szükséges és a számítás során csak a napelem hatásfokát vettük figyelembe, a termelt energia mennyiségét még különböző veszteségek (például átalakítási és szállítási) csökkentik.

Ez a típusú villamosenergia-termelés a technológiai kötöttségek (a megtermelt energia tárolása) miatt nem minden esetben képes üzembiztos ellátás biztosítására, ezért mindenképpen más technológiával történő villamosenergia-termeléssel kell kombinálni.

A V4-ek országait megvizsgáltam olyan szempontból, mennyi a napsütéses órák száma. A 12-es táblázatból kivehető, hogy Szlovákiának és Magyarországnak vannak kedvezőbb adottságai a beérkező napsugárzás mennyiségét illetően. Hozzá kell tenni, hogy a napsütéses órák száma csak egy aspektus, a szoláris részarányt lehet – és szükséges is – növelnie minden országnak és a trend ezt igazolni is látszik.

12. táblázat

Az éves napsütéses órák száma a V4-ekben.

	Évi napsütéses órák száma (h)
Csehország	1667
Szlovákia	2042
Lengyelország	1595
Magyarország	1980

Forrás: Weather and Climate [2021]

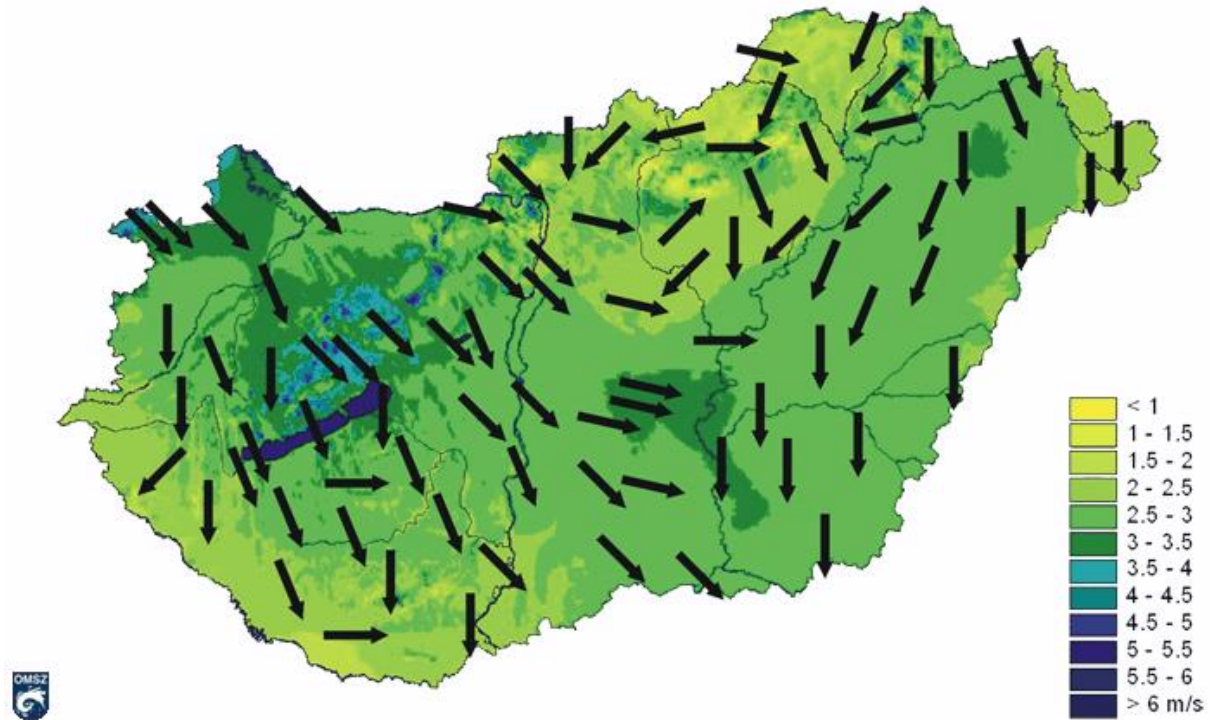
5.2 A szélenergia hasznosítási lehetőségei

A Nap Földet érő energiájának 1-4 százaléka alakul át szélenergiává. Mivel a napsugárzás és az ebből eredő légmozgás állandó, a szélenergia megújuló energiaforrás. Mégpedig a leggyakrabban használt megújuló energiaforrás az egész Európai Unióban.

Hazánkban a potenciális szélenergia készlet kicsi, mert országos átlagban évente 122 szeles nap fordul elő, ezek közül 35 nap viharos. Szeles napnak nevezzük, amikor a szél legerősebb lökésének a sebessége eléri vagy meghaladja a 10 m/s-ot, viharosnak pedig, amikor a 15 m/s-ot.

A szélturbinák 3 m/s szélesebbesség alatt nem indulnak el, mert az ez alatti szélesebbességnél működő szélkerék által termelt energia a saját veszteségeiknek a fedezésére sem elegendő. Ezért a szél erőművek évente pár ezer órát működnek. Nem termelő fázisukban az erőműveket energiafogyasztóknak tekinthetjük. Üzemi tartományuk 6–25 m/s szélesebbesség között mozog, névleges teljesítményüket 12–16 m/s között érik el. (Dr. Garbai et al., 2014).

Uralkodó szélirányok és jellemző szélesség Magyarországon (m/s).



Forrás: OMSZ [2021]

5.2.3. A szélrómúvek teljesítménye és hatásfoka

A szélenergiát a szélturbinákon található szélkerék vagy széllapát forgása hasznosítja. A lapát mozgását a két oldalán kialakuló légnyomáskülönbség hajtja. A lapátokat egy generátorhoz kapcsolják, így az forgás közben folyamatosan áramot termel.

A valóságos teljesítmény:

$$P_{\text{valóságos}} = C_p \cdot R^2 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \frac{\rho}{2}$$

ahol

- $E_{m,\text{szél}}$ – a légtömeg mozgási energiája,
- \dot{m} – az áramló levegő tömegárama,
- v – az áramló levegő sebessége,

- ρ – az áramló levegő sűrűsége,
- $P_{\text{elméleti}}$ – elméleti teljesítmény,
- $P_{\text{valóságos}}$ – valóságos teljesítmény,
- C_p – teljesítménytényező.

A mozgó levegőben rendelkezésre álló energia és a szélből kinyerhető energia mennyisége nem egyezik meg. A rotorlapátokon áthaladó levegő energiája teljes mértékben nem használható ki, ehhez a szelet a lapátoknak teljesen le kellene fékeznie, de a levegőnek tovább kell mozognia.

A szélérőmű csak azt az energiát tudja használni, ami a rotor két oldalán létrejövő sebességkülönbségnek felel meg. Adott szélesebességen elvileg maximálisan elérhető teljesítmény akkor érhető el, ha a rotorlapát előtti szél sebessége (v_1) a gépen áthaladva $2/3 v_1$, majd a gép mögött $1/3 v_1$ értékre csökken.

A szélérő hasznosítása során a forgó rotorlapátokon a szél sebessége csökken, ugyanakkor egy jelentős nyomásváltozás következik be, mely a rotort elhagyva rövidtávon belül visszatér a rotor előtti értékre.

Albert Betz német fizikus bebizonyította, hogy perdület- és turbulenciamentes áramlás esetén a szélből kinyerhető energia lehetséges maximuma a

$$P_k = \frac{16}{27} \cdot A_2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_1^3$$

összefüggéssel számolható.

Fontos következtetés, hogy egy szélturbina teljesítménye befolyásolható a szélesebességre merőleges A_2 keresztmetszettel, illetve a lapátokon bekövetkező sebességváltozás nagyságával. Ez a felismerés tette lehetővé, hogy az ingadozó szélesebesség mellett a szélturbina teljesítményét céljainknak megfelelően tudjuk szabályozni. A hasznosítható szélteljesítmény (P_k) tehát a rendelkezésre álló szélteljesítmény (P) mellett erősen függ az alkalmazott turbina tulajdonságaitól, az úgynevezett C_p teljesítménytényező értékétől:

$$P_k/P = C_p$$

Az elérhető maximális hatásfok $C_{p_{\text{max}}} \sim 0,59$, azaz 59%. Valójában az áramló levegőben rendelkezésre álló mozgási energia 40 százaléka soha nem hasznosítható. Az $C_{p_{\text{max}}}$ értékét

Betz-limitnek nevezzük, amelyet egyetlen szélenergiát hasznosító berendezés sem képes felülmúlni. (Dr. Csoknyai et al., 2013)

Az erőművek négyzetkilométerre vetített fajlagos energiatermelését átlagosan megbecsülni nem szerencsés, mivel a fent leírtak alapján nagymértékben függ a telepített típus kialakításától.

A szélfarmok termelése, mint a napelemeké is, történhet hálózatba való visszatáplálással vagy szigetüzemben. Mivel a termelés biztosítása legjobban a meteorológiai viszonyoktól függ, ezért egyáltalán nem nevezhető üzembiztosnak a termelés, ezért mindenképpen más technológiával történő villamos energiatermeléssel kell kombinálni.

- Noha 2019 szeles év volt, az európai szélerőművek a beépített kapacitás felénél nagyobb teljesítményt összeurópai szinten nem tudtak leadni.
- Ellátásbiztonság szempontjából a szélerőművek kis értéket képviselnek, hisz van olyan időszak, amikor termelésük a teljes szélerőművi 9%-át sem éri el.
- Magyarország nincs egyedül Európában azzal, hogy nem épülnek szélerőművek, tavaly Európa 14 országában nem épült szélerőmű, többek közt Szlovákiában sem.
- A cseheknél 1, a lengyeleknél 9 százalékban járul hozzá a villamosenergia-fogyasztáshoz a szélenergia és egyik állam sem ebben látja a dekarbonizációs megoldást (WindEurope, 2020)

Ami a szélenergiát illeti Lengyelországot érdemes kicsit jobban megvizsgálni. A Lengyel Szélenergia Szövetség (PWEA) adatai szerint januárban több mint 2,5 terawattóra (TWh) villamos energiát termeltek szélturbinák Lengyelországban. Ez volt a valaha volt legmagasabb havi adat.

A hónap utolsó (különösen szeles) hétvégéjén a turbinák időnként összesen 6700 megawattot (MW) adtak, ami azt jelenti, hogy Lengyelország villamosenergia-igényének 30-35%-át elégítették ki (PWEA, 2022). Januárban a szélerőművek átlagosan csaknem 3500 MW teljesítményt adtak le.

A 2016-ban bevezetett úgynevezett „10H szabály” megtiltja a szélerőművek telepítését ott, ahol a turbina magasságának tízszeres távolságán belül vannak épületek. Ez a rendelkezés az egyik legszigorúbb Európában, gyakorlatilag lehetetlenné teszi szélerőművek építését a lengyel területek nagyrészen. Ennek eredményeként, míg 2016 előtt Lengyelország volt Európa egyik

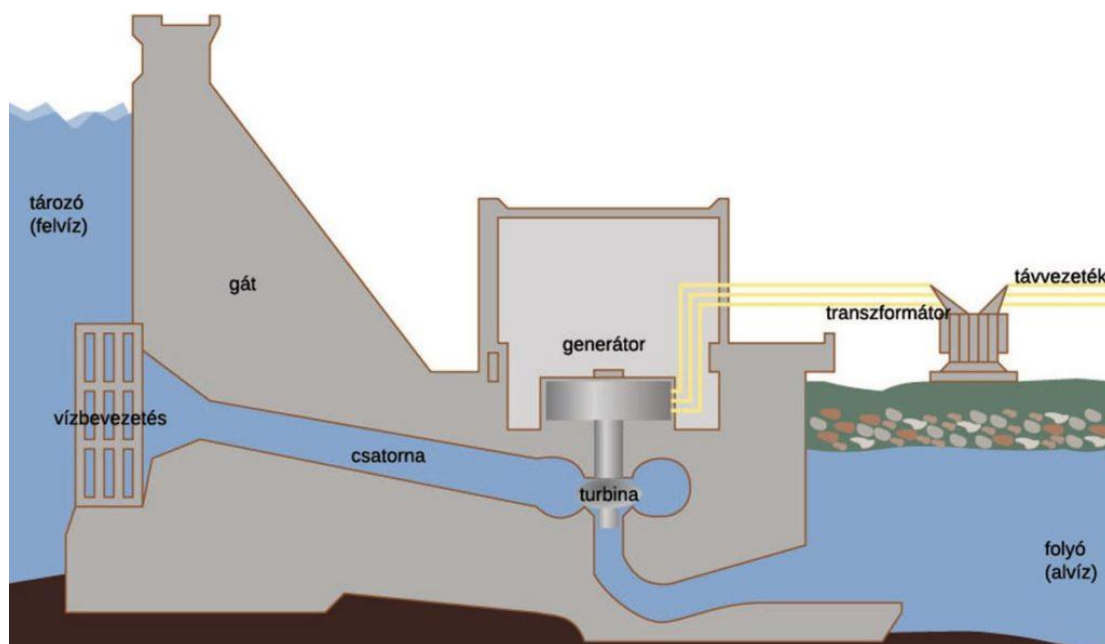
leggyorsabban növekvő szélenergia-hasznosítója (2015-ben több kapacitást telepített, mint bármely más ország Németországon után) azóta gyakorlatilag nem történt szárazföldi szélenergia-beruházás (NFP, 2022)

5.3 Vízenenergia alkalmazása

A vízenenergia a legrégebb óta kiaknázott tiszta, szén-dioxid-kibocsátástól mentes megújuló energiaforrás. Hasznosításának története évezredekre nyúlik vissza. A nap- és a szélenergia elmúlt évekbeli előretörésének ellenére a világ teljes megújulóenergia-termelésének 60 százalékát még mindig vízerőművek állítják elő.

22. ábra

A vízenenergia-hasznosítása.



Forrás: Tennessee Valley Authority [2021]

Noha a termelés a csapadékviszonyok alakulásától is függ, a vízerőművek kapacitáskihasználtsága jóval magasabb a nap- és szélenergia-beruházásénál. Bár a világszerte telepített nap- és szélenergia-beruházás kapacitás együttes névleges teljesítménye 2019-ben meghaladta a vízerőművekét (jelenleg 1583 GW és 1350 GW), a vízerőművek által előállított villamosenergia mennyisége 2021-ben közel 60 százalékkal nagyobb a két másik technológia termelésénél a Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) adatai szerint (4398 TWh és 2772 TWh).

Vízenergiát tekintve Lengyelország állít elő legnagyobb arányban a villamosenergiát a V4-ek államai közül (2398 megawatt, amennyiben a szivattyús energiatározót is ebbe a kategóriába soroljuk), de amint azt a 2.4 fejezetben említettem, közép- és hosszútávon sem számol vízenergiakapacitás-bővítéssel.

Szlovákiában komoly kapacitást jelent a mintegy 1600 MW-nyi vízerőmű, és mellette a kb. 900 MW szivattyús energiatározós erőmű, ennek ellenére mégsem tervezik ők sem a vízenergia-hasznosítás bővítését az elkövetkező évtizedekben (ld. 1. táblázat).

5.4 Geotermális energia alkalmazása

Az EU-irányelvben előírt meghatározás szerint a geotermikus energia/földhő három megújuló energiatípusát határozza meg:

- légtermikus energia: hő formájában a környezeti levegőben tárolt energia,
- geotermikus energia: a szilárd talaj felszíne alatt hő formájában található energia,
- hidrotermikus energia: a felszíni vizekben hő formájában tárolt energia.

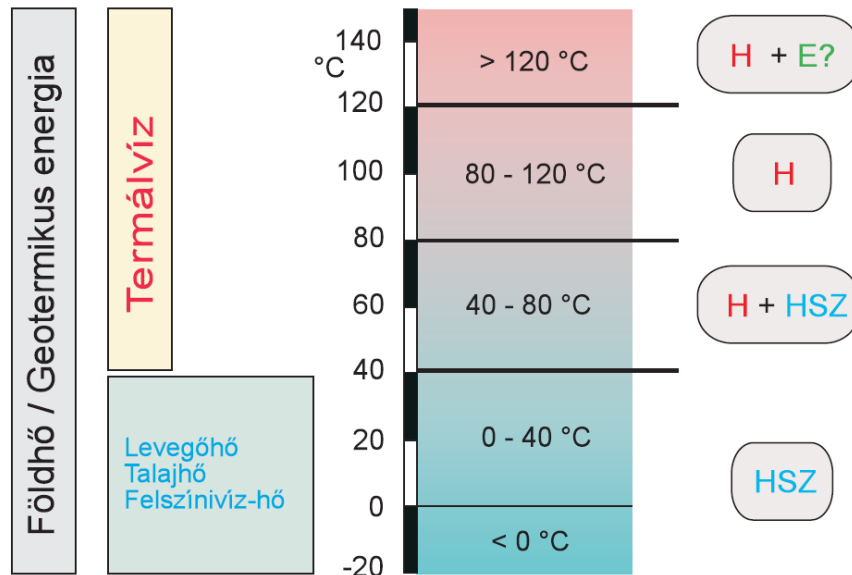
Magyarországra a geotermikus gradiens ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$) és a földfelszíni hőáramsűrűség (kW/km^3) világszerte sokkal nagyobb mutatója okán sokan geotermikus nagyhatalomként tekintenek.

A Földön átlagosan $3,3^{\circ}\text{C}$ -kal nő a hőmérséklet 100 méterenként, ez az érték a Kárpát-medencében $5,5$ - $6,6^{\circ}\text{C}$. Magyarország déli részén, az Alföld alatt, 1 km mélységben akár 120°C hőmérsékletű termálvíz is van.

Nemzetgazdasági és energiastratégiai szempontból el kell döntenünk, hogy villamos energiát vagy hőt állítsunk-e elő a magasabb hőmérsékletű geotermikus energiából, vagy a kettőt egyszerre alkalmazzuk. A Magyarországon kinyerhető termálvízből 10, maximum 15% határfokkal tudunk villamos energiát előállítani a jelenlegi technológiai adottságok mellett.

Az energiahasznosítási lehetőségeket leginkább a hőmérséklet alapján lehet megítélni és az alábbi kategóriák alapján lehet megosztani (23. ábra):

Az energiahasznosítás lehetőségei a földhő hőmérsékletének függvényeként: H – távhőellátás,
E – villamosenergia termelés, HSZ – hőszivattyús hőhasznosítás



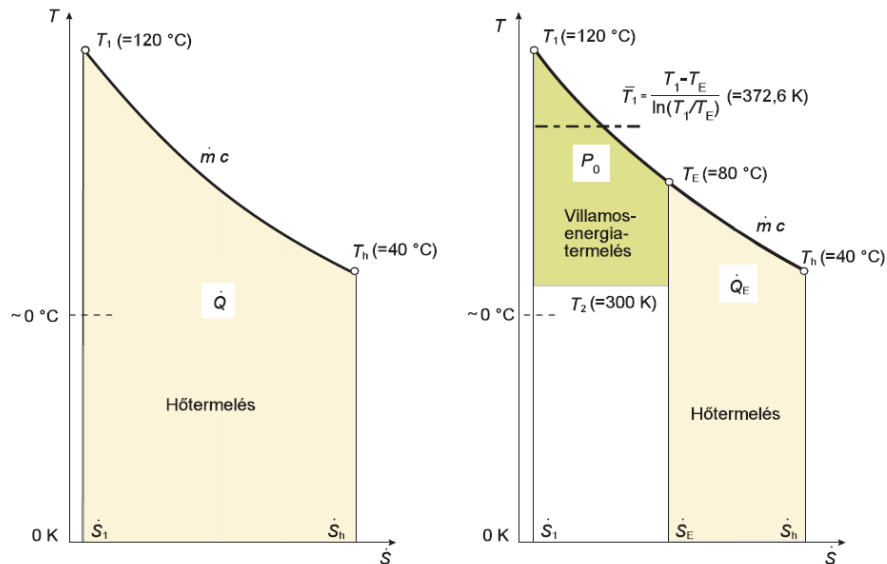
Forrás: Megújuló energiák hasznosítása, MTA, [2010]

- nagy hőmérsékletű (>120 °C) termálvíz vagy gőz esetén a távhőellátás lehetősége mellett a villamosenergia termelés is van lehetőség.
- a nagy hőmérsékletű (80-120 °C) termálvíz közvetlen távhőellátást tesz lehetővé,
- a kisebb hőmérsékletű (40-80 °C) termálvíz részben közvetlenül, részben hőszivattyús további hűtéssel hasznosítható távhőtermeléshez,
- a 0 °C feletti és alatti földhő/környezeti hő, amelyet hőszivattyúzással hasznosíthatunk.

A 24. ábrán és a következő oldalon látható 13. táblázatban a földhővel elérhető földgáz kiváltás mértékét támasztottam alá. Tényleges különbséget jelent, hogy hő- vagy villamos energia előállításra használjuk-e a földhőt.

Szembetűnő, hogy nagyobb a fajlagos földgáz kiváltás értéke, ha a termálvizet csak hőellátásra hasznosítjuk, mint ha a villamos energiatermelésre.

Villamosenergia-termelés és hőellátás esetén a termálvíz-hasznosítás jellemzői.



Forrás: Megújuló energiák hasznosítása, MTA [2010]

A villamosenergia- és hőtermelés kombinációja sokkal kedvezőbb, mintha csupán energiát állítanánk elő, azonban a hőellátás körülményei romlanak. Egy szakértői modellezés eredményeként hozzávetőlegesen 380 millió köbmétert lehetne minden évben hasznosítani, amelynek hőtartalma megfelelő hatékonyság mellett akár 60-65 PJ is lehet.

13. táblázat

Fajlagos földgázkiváltás a termálvíz hasznosításakor hő- és/vagy villamosenergia-termelés esetén.

	A földhőhasznosítás hatásfoka η_u	Hatásfok földgáz esetén η_{fg}	A földhő fajlagos földgázkiváltás a γ		A földhő lehűtése ΔT [°C]	A termálvíz fajlagos földgázkiváltás a α	
			-	%		[J/kg]	[%]
Hőellátás	1	0,9	1,11	100	80	373	100
Villamosenergia-termelés	0,1	0,525	0,19	17,1	40	32	8,6
Villamosenergia-termelés és hőtermelés	100% villamos energia + 50% hő		0,75	67,6	80	218	58,6

Forrás: MTA alapján saját szerkesztés

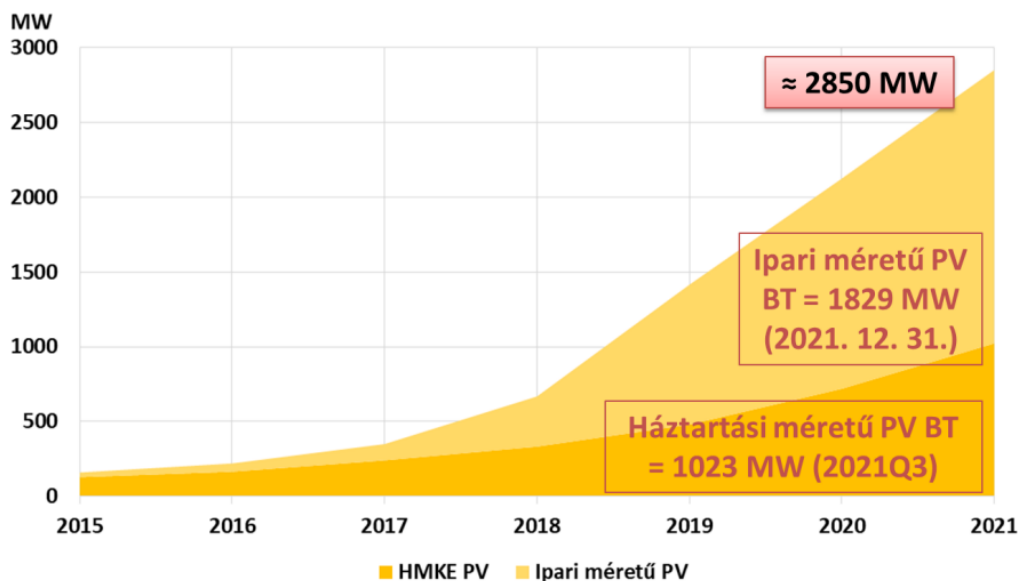
5.5 A hazai időjárásfüggő erőművek rendelkezésre állása

Megvizsgáltam, hogyan teljesítettek 2021-ben a magyarországi időjárásfüggő erőművek. A 25. táblázatban látható a szoláris kapacitások alakulása az elmúlt hét évben. 2018 óta erőteljes növekedést láthatunk a beépített napenergia-kapacitásban. 2020-ról 2021-re megközelítőleg 700 MW-al emelkedett a teljesítőképesség, így az ipari volumenű, valamint a háztetőkön lévő háztartási panelek összesített kapacitása 2021 végére elérte a 2900 megawattot.

A hazai szélerőművi teljesítőképesség 323,3 megawatt volt 2021-ben, tíz évre visszatekintve érdemi változás nem volt.

25. táblázat

A napelemek teljesítőképességének alakulása 2015-2021 (MWh).

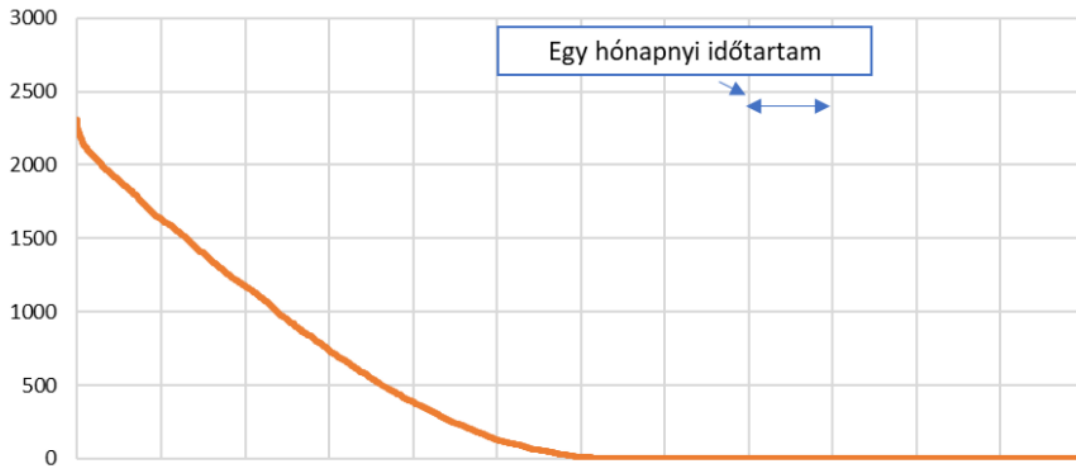


Forrás: MAVIR, MEKH [2022]

Felmerül a kérdés, a magyar villamosenergia-rendszerben mire elég a 3000 megawattos szoláris és szélerőművi kapacitás, mekkora részben képesek fedezni az energiaigényt, és sikerült-e beilleszteni a villamosenergia-rendszerbe.

Elsőként megvizsgálom, a magyarországi szoláris panelek (a napelemparkok és a háztartási napelemek együttvéve) mekkora teljesítményt juttattak a rendszerbe, sorrendben.

A 2021-es magyarországi naperőművi betáplálás tartamgörbéje (MW).



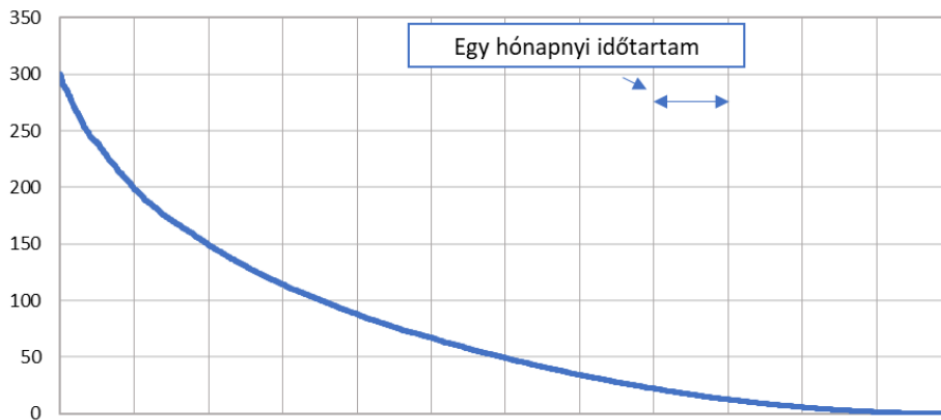
Forrás: MAVIR [2022]

Az ábráról kiolvasható, hogy

- a szoláris panelek az év felében egyáltalán nem juttattak villamos energiát a rendszerbe (ebben semmi meglepő nincs, mivel éjszaka mindig 0 nulla a betáplálásuk),
- azonban látható olyan szakasz, mikor a betáplálás a 2300 megawattot is túlhaladta,
- és 40 napnyi 1500 megawatt fölötti betáplálást teljesítettek. Fontos megjegyezni, mennyire ingadozó a teljesítményük a tavaszi-nyári időszakban is.

A 27-es ábrán látható a szélenergia betáplálás:

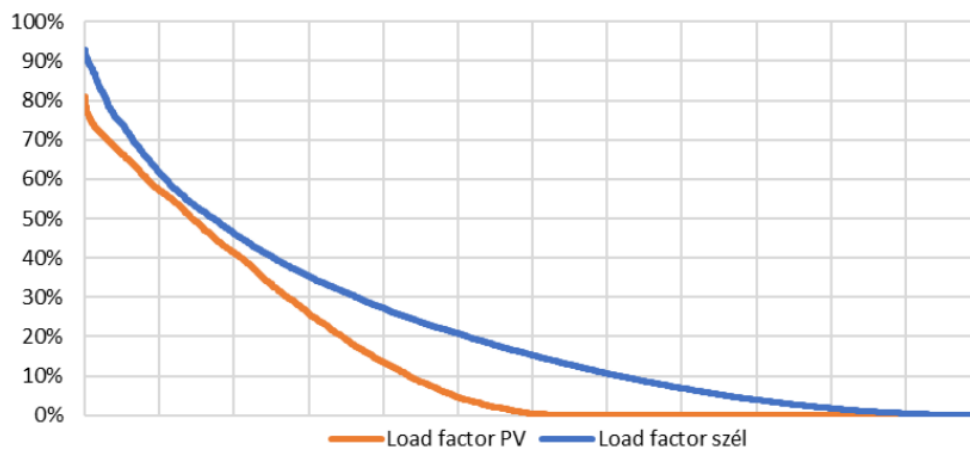
A 2021-es magyarországi szélérőművi betáplálás tartamgörbéje (MW).



Forrás: MAVIR [2022]

A szélérőművek rendelkezésre állása valamelyest egyenletesebb volt, viszont sajnos erről az energiaforrásról is kijelenthető, hogy az év felében hiába a 323 megawattos teljesítőképesség, nem képes 50 MW-nál többet juttatni a hálózatba, a kiadott teljesítmény ugyanis a széljárás függvénye, ez a fajta erőmű időjárásfüggő. Amennyiben az adatokat a teljesítőképességhez viszonyítva mutatjuk be, szemléletesebb képet kapunk (28. ábra).

A beépített teljesítőképességhez viszonyított nap- és szélérőművi betáplálás tartamgörbéje 2021-ben (%)



Forrás: MAVIR [2022]

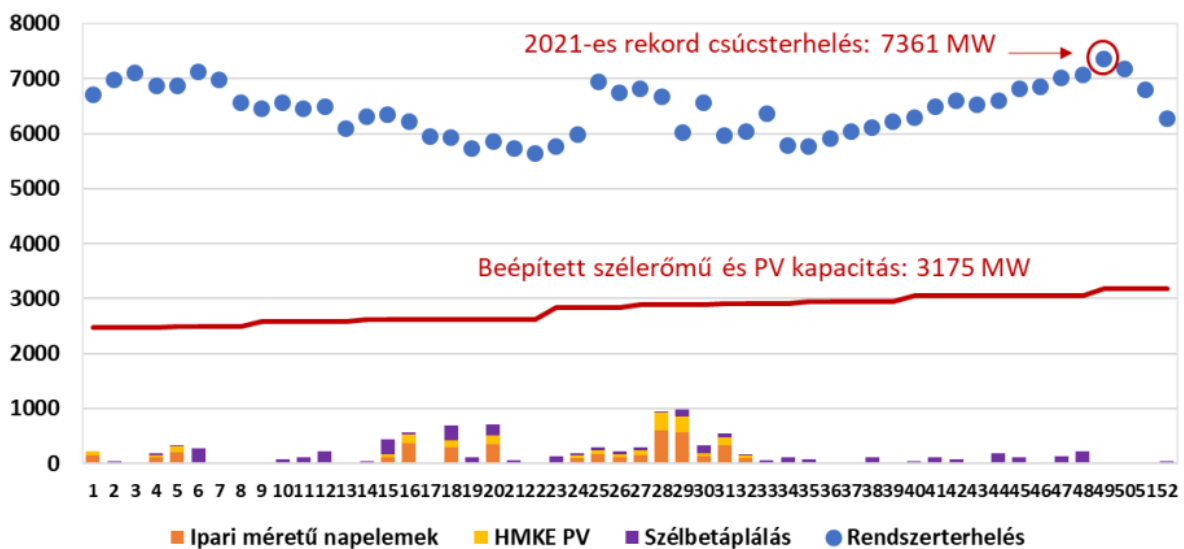
Könnyen értelmezhető az ábra (egy oszlop itt is 1 hónapnyi időintervallum):

- időjárásfüggésük miatt a magyarországi szoláris elemek és szélerőművek a beépített teljesítőképességük 50 százalékánál nagyobb teljesítményt mindössze 6-7 héten át tudnak kiadni,
- a napelemek az év felében egyáltalán nem termelnek,
- a szélerőművek az év 5 hónapjában beépített teljesítőképességük 10 százalékát sem képesek a hálózatba táplálni.

A mindenkori magyarországi villamosenergia-igény kielégítéséhez mekkora mértékben képesek hozzájárulni a megújulók? Erre választ adhat a 29-es ábra, mely megmutatja, 2021 heteinek csúcsfogyasztási időpontjaiban a magyarországi szoláris- és szélerőművek mekkora támogatást nyújtottak a villamosenergia-igények kielégítésében.

29. ábra

A magyarországi heti csúcsfogyasztásai, valamint a napelemek és szélerőművek betáplálása 2021-ben (MW).



Forrás: MEKH [2022]

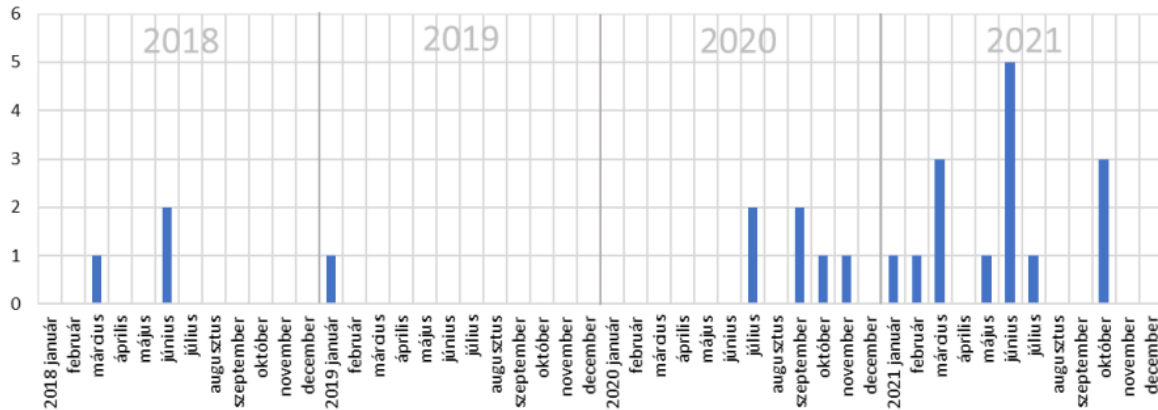
Az ábrán kék pontok az adott naptári héten feljegyzett legmagasabb rendszerterhelési értéket mutatják megawattban, az alul lévő oszlopok pedig azt adják meg, mekkora teljesítményt tettek a hálózatba a nap- és szélerőművek a legnagyobb terhelés időpontjában. A piros vonal a 2020-as nap- és szélerőművi beépített kapacitást mutatja, ehhez célszerű mérni a leadott teljesítményt.

A legtöbb esetben (52-ből 36 héten) a szolárpanelek a rendszerterhelési maximumok idején egyáltalán nem tápláltak villamos energiát a hálózatba, de a szélerőművek betáplálása sem jobb. A helyzet egyáltalán nem rejtélyes: a szél nem fogja tudni, mikor alakul ki villamosenergia-igény, a Nap pedig már nem süt a heti csúcsterhelések idején (télen legtöbbször kora este, nyáron késő este). Emiatt az időjárásfüggés miatt nehéz az ellen érvelni, hogy bármely ország villamosenergia-rendszerében a megújuló energiaforrásokon túl kellenek a hagyományos (alap), az úgynevezett indítható erőművek, amelyekkel szélcsendben és éjjel is kielégíthetők a fogyasztói igények. Alternatív lehetőségként felmerül az ipari méretű villamosenergia-tárolás, de ennek megoldása még technológiai nehézséget jelent.

Nem elhanyagolható aspektus, hogy az ingadozó időjárásfüggő betáplálások okoznak-e egyensúlytalansági problémát a villamosenergia-szisztémában. Ma a villamosenergia-rendszer egyensúlya úgy valósul meg, hogy az erőművi teljesítményét igazítják a fogyasztói villamosenergia-igényekhez.

Ha a rendszerben a pillanatnyi igények és a pillanatnyi erőművi betáplálás nem azonos, a frekvencia eltér az 50 Hz-től. Vajon voltak-e az elmúlt években olyan időszakok, a frekvencia nagyobb mértékben (>100 mHz) eltért az ideális 50 Hz-től. A 30-as ábrán ez látható.

A 49,9 – 50,1 Hz-es sávon kívül eső negyedórák száma 2018-21 között (db).



Forrás: MEKH, MAVIR [2022]

Az ilyen jelenségek száma - még - alacsony, de az elmúlt években a problémás negyedórák száma növekszik. Ez mutatja a kínálati oldal változékonyságát (időjárásfüggő erőművek volatilis termelése), illetve a magyarországi villamosenergia-rendszer reakcióképességét, a rugalmas erőművek hiányát).

Példaként Hárfás Zsoltot idézem: „amikor például Németországban nem fúj eléggé a szél és vagy nem süt a nap, akkor a német rendszerirányítók arra utasítják a német szén- és gázerőműveket, hogy növeljék a termelésüket. Tehát az időjárásfüggő megújulókat kiszabályozását alapvetően a gázerőműveknek kellene biztosítani, de mivel drága gáz és az orosz-ukrán konfliktus miatt hiány is előfordulhat, a németek a szénerőművek termelését pörgetik fel.” (Hárfás, 2022)

5.6 Kihívás: a megújuló energiaforrások rendszerbe illesztése

A mai villamosenergia-rendszer talán legnagyobb nehézsége az időjárástól függő megújuló energiaforrások rendszerbe illesztése. A villamosenergia-szisztémában alapkövetelmény, hogy adott időpontban a hálózatba betáplált és a fogyasztók által onnan vételezett teljesítménynek mindig meg kell egyeznie. Ha a rendszerben nem csak a fogyasztók változtatják a mennyiségeket, hanem a termelők is, abban az esetben a rendszer egyensúlyának megőrzése

nehezebbé válik. A megújuló energiaforrások tekintetében ezzel a nehézséggel, a rendszerintegrációs problémával állunk szemben.

A villamosenergia-rendszer egyensúlyának megőrzése úgy lenne biztosítható, ha túltermelés lép fel, a többlet energiát el lehetne tárolni, hiány esetén felhasználni, viszont a villamosenergia ipari méretekben nem tárolható. Az egyedüli, technológiailag kiforrott technológiát a szivattyús energiatárolók képezik: két víztározót alkalmaznak az elektromos energia tárolására. A többlet energiát arra használják, hogy egy alacsonyabban fekvő tározóból a magasabba szivattyúzzák a vizet, amikor igény keletkezik az elektromos energiára, a magasabb tározóban lévő vizet az alacsonyabban fekvőbe engedve az meghajtsa termelő turbinákat. Megjegyzés: a víz szivattyúzásához használt energia 100 százalékban nem nyerhető vissza. Az Energia Világtanács 2020-as jelentése szerint a vízenergia-tárolás hatásfoka körülbelül 75–85 százalék.

Nem mellesleg ezek létesítéséhez és gazdaságos üzemeltetéséhez magas hegyek jelenléte szükséges, a magyar domborzati viszonyok mellett nem biztos, hogy ez jelenti a megoldást.

Az időjárásfüggő megújulók előretörésével tehát egyre nagyobb az igény a villamosenergia-tárolás megoldására.

5.7 Megújulók anyagigénye: importkockázat

Az Európai Bizottság (EB, 2020) és a Világbank (IBRD, 2020) is olyan tanulmányokat jelentett meg, melyek a megújuló energiaforrások terjedéséhez szükséges nyersanyagok rendelkezésre állását vizsgálja közép- és hosszútávon, valamint ezen nyersanyagok importja esetén számolhatunk-e ellátási kockázattal.

Az EU-ra vonatkozó klímaforgatókönyvben (2030-ra a kötelező célok, 2050-re karbonsemleges EU) a szélerőművek által különösen érintett anyagok (neodímium, diszprózium, prazeodímium, terbium) mindegyike ritkaföldfém, amelyet az EU-ban egyáltalán nem bányásznak, sőt, amelyek globális kitermelésének 95 százaléka Kínában zajlik. Ezek a nyersanyagok az Európai Bizottság egy másik, a nyersanyagok importkockázataival és ellátásbiztonságával foglalkozó dokumentuma³ szerint kritikus nyersanyagok, melyek esetében ellátási kockázat merül fel.

³ European Commission (2017): Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Criticality Assessments, p. 14

Az EU-s forgatókönyv által a napelemek által különösen érintett germánium és tellúr közül a germániumot a fenti bizottsági anyag ugyanúgy kritikus nyersanyagként minősíti, melynek globális kitermelésének 67 százalékáért Kína felel.

Összehasonlításképpen: a Paks II. projektben 4,68 millió tonna betont fognak felhasználni, és az erőmű a hatvanéves élettartama alatt 1141 TWh villanyt fog termelni. Ugyanennyi beton felhasználásával Magyarországon 2673 db 3,5 MW-os szél erőművet lehetne építeni, melyek teljes élettartamuk során (25 év) csak feleannyi villanyt termelnének (585 TWh), mint az új atomerőmű.

6. VESZÉLYES-E AZ ATOMENERGIA?

A globális energiaellátás forrását ma még mindig a fosszilis tüzelőanyagok, a hagyományos biomassza, a vízenergia és a nukleáris energia uralják. A fosszilis források alkalmazása nem csupán klímasemlegesség szempontjából probléma, hanem az emberiségre gyakorolt negatív hatások miatt is.

6.1 Légszennyezés: a nukleáris energia az egyik legkímélőbb energiaforrás

A biomassza energiaforrásként való felhasználásának számos feltétele van. Amikor ebben a dolgozatban a „hagyományos biomasszára” utalok, a szilárd tüzelőanyagok – fa, termésmaradványok, trágya – elégetését értem a háztartásokban főzés és fűtés céljából, mely és nagyban különbözik a modern biomasszától, amely 2010. évi CXVII. törvény szerint⁴ a fa és a biomassza-hulladék ipari létesítményekben történő elégetését jelenti.

Ez gyakori energiaforrás az alacsony és közepes jövedelmű országokban. A hagyományos biomassza használata magas szintű beltéri levegőszennyezést eredményez, mely számos halálok kockázati tényezője, ideértve a szívbetegségeket, tüdőgyulladást, stroke-ot, cukorbetegséget, valamint a tüdőrákot.

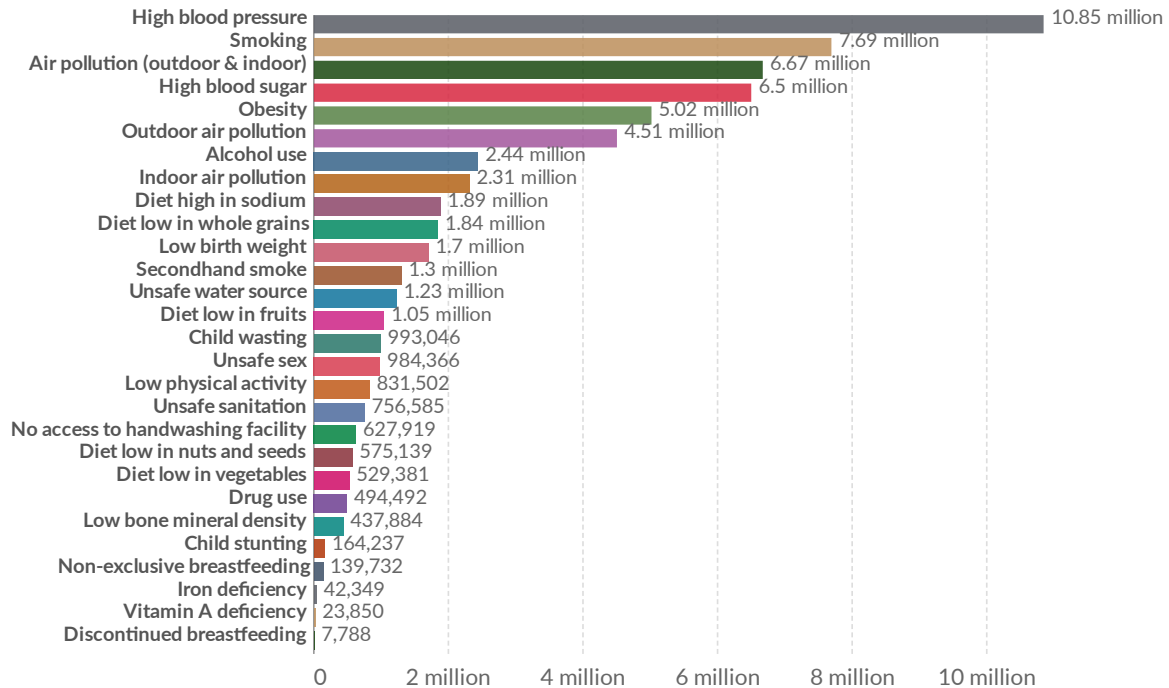
A 31. ábrán látható, hogy világszerte ez volt az egyik vezető halálozási tényező 2019-ben.

⁴ 2010. évi CXVII. törvény a megújuló energia közlekedési célú felhasználásának előmozdításáról és a közlekedésben felhasznált energia üvegházhatású gázkibocsátásának csökkentéséről

A halálozások száma kockázati tényezők szerint világszerte 2019-ben.

Number of deaths by risk factor, World, 2019

Total annual number of deaths by risk factor, measured across all age groups and both sexes.



Source: IHME, Global Burden of Disease (GBD)

OurWorldInData.org/causes-of-death • CC BY

Forrás: IHME, GBD [2022]

A modern megújuló energiaforrások, például a nap- és szélenergia részaránya egyre növekszik, és a jövőben egyre nagyobb szerepet fognak játszani energiarendszereinkben. A tervezés során a biztonsági szempontoknak kulcsfontosságú tényezőnek kell lenniük, amelyet figyelembe kell venni, így érdemes megvizsgálni a különböző energiaforrásokat biztonságosság szempontjából is.

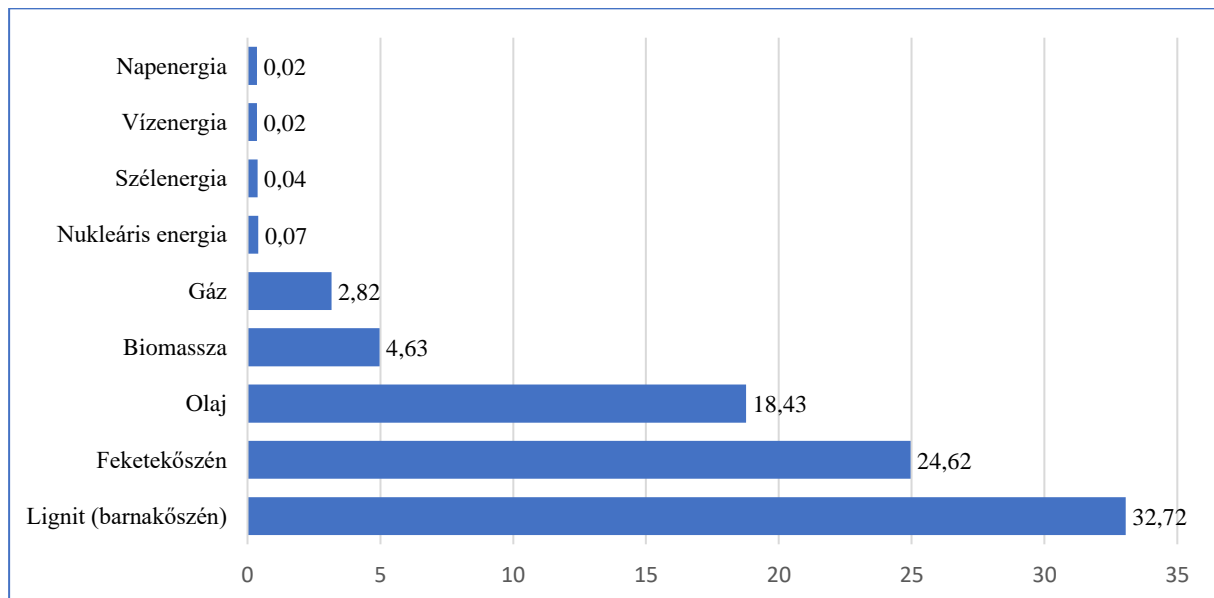
A megújuló energiaforrások biztonságosságára vonatkozó adatokra Benjamin Sovacool és munkatársai által 2016-ban publikált tanulmányban támaszkodhatunk, melyben a szerzők adatbázist állítottak össze a különféle energiaforrásokkal összefüggő balesetekről, tudományos adatbázisok feldolgozásával, ebből létrejött az 1990 és 2013 közötti időszakra vonatkozó források halálozási arányai.

Az atomenergiából eredő halálozási arányt tekintve az 1986-os ukrajnai csernobili katasztrófához (WHO, 2005) közvetlenül 4000 haláleset köthető; 574 haláleset pedig a Fukusimai incidenshez (egy munkás halála, és 573 közvetett haláleset az evakuálás miatti stressz miatt), valamint hozzáátéve a becsült foglalkozási halálozásokat (főleg a bányászathoz köthetően), amint azt (Markandya et al., 2007).

Igazságtalan lenne egyszerűen összeszámolni az egyes energiaforrásoknak tulajdonított halálozesetek számát, és azokat összevetni, hiszen a fosszilis tüzelőanyagok még mindig sokkal több energiát termelnek, ezért a halálozesek energiaegységre eső számaként adtam meg, illetve a fent említett két tanulmány adatait összevontan kezeltem, szemléltetésképpen pedig diagramba illesztettem (32. ábra).

32. ábra

A halálozási arány a balesetekből eredő halálozesek és a légszennyezés terawattóra (TWh) lebontva.



Forrás: Markandya et al., 2007 és Sovacool et al. 2016 alapján saját szerkesztés

A diagramon mindegyik halálozási arányát láthatjuk – az egy terawattóra energiára vetített halálozesek számát.

Az egy főre jutó átlagos villamosenergia-fogyasztás Európában 2019-ben 6325 kilowattóra (kWh) volt (BP, 2021). Egy terawattóra (ami 1 milliárd kWh-nak felel meg), ebből:

$1 \times 1\,000\,000\,000 \text{ kWh} / 6325 = 158\,102,76$, azaz ~ 158 103 európai polgár éves villamosenergia-fogyasztása. Tehát egy terawattóra körülbelül annyi, mint 158 103 európai polgár éves villamosenergia-fogyasztása.)

A teljes primerenergia-felhasználás (beleértve nemcsak a villamos energiát, hanem a közlekedési, fűtési és egyéb energiatermelést, beleértve a termelési veszteségeket is) 31160 kWh volt Európában. Egy terawattóra 32 092 európai polgár éves primerenergia-fogyasztásának felelne meg. A tanulmányok rámutatnak, milyen nagy különbségeket látunk a nukleáris és a modern megújuló energiaforrások halálozási arányában a fosszilis tüzelőanyagokhoz képest.:

- az atomenergia például 99,8 százalékkal kevesebb halálesetet okoz, mint a barnaszén;
- 99,7 százalékkal kevesebbet, mint a feketeszén;
- 99,6 százalékkal kevesebbet, mint az olaj;
- 97,5 százalékkal kevesebbet, mint a gáz.

Mindenképp meg kell jegyezni a szél-, a nap- és a vízenergia még biztonságosabb energiaforrás-típus.

A terawattóránkénti halálozások száma kissé elvontnak tűnhet, ezért - ha perspektívába helyezve - számszerűsíteni akarjuk, hogy egy-egy energiaforrás hány halálesetet okoz, egy feltételezett 158 103 lakosú európai várost kell elképzelnünk, amely évente egy terawattóra áramot fogyaszt. Ha ez a város teljes egészében szénrel működne, akkor évente 25 ember halna meg idő előtt a légszennyezés okozta megbetegedések következtében. Így lehetne összehasonlítani egy 100 százalékos szénüzemű települést a más energiaforrásokkal működő városokkal:

- **Szén:** évente 25 ember halna meg idő előtt;
- **Olaj:** évente 18 ember halna meg idő előtt;
- **Gáz:** évente 3 ember halna meg idő előtt;
- **Nukleáris energia:** egy átlagos évben senki sem halna meg. Terawattóránként 0,07 halálozási arány azt jelenti, hogy 14 évbe telne, mire egyetlen ember is meghal.
- **Szélenergia:** egy átlagos évben senki sem halna meg – 29 évbe telik, mire valaki meghal;
- **Vízenergia:** egy átlagos évben senki sem halna meg – 42 évbe telik, mire valaki meghal;

- **Szoláris energia:** egy átlagos évben senki sem halna meg – csak 53 évente hal meg valaki.

6.2 Teljes életciklus: az atom a legkisebb CO₂ kibocsátó

Eddig csak ezeknek az energiaforrásoknak a rövid távú egészségügyi hatásait vizsgáltam, de figyelembe kell venni az éghajlatváltozásra gyakorolt hosszabb távú - teljes életciklusra vonatkozó - hatást is.

Az atomerőművek világszerte nagyságrendileg 2 500 TWh villanyt termelnek minden évben, mely a karbonsemlegesen létrejött villamos energia hozzávetőlegesen 30 százaléka. Az atomenergiából származó villany az időjárásfüggő megújuló energiaforrásokhoz hasonlóan nem jár szén-dioxid-kibocsátással.

Amennyiben tekintetbe vesszük a létesítéshez és leszereléshez szükséges feladatokhoz kapcsolódó kibocsátást is (azaz ha teljes életciklus alapján vizsgáljuk a fajlagos karbonkibocsátást), akkor is nagyon kedvező a kép: az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányzati Testületének (*IPCC, 2014*) jelentése szerint a nukleáris erőművek teljes életciklusra kivetített, a megtermelt villanyra vonatkoztatott (fajlagos) szén-dioxid-kibocsátása lényegében megegyezik a szélenergiával (12g CO₂/kWh) és sokkal kedvezőbb, mint a napelemeké (háztartási méretű napelemek: 41 g CO₂/kWh, hálózati méretűek: 48 g CO₂/kWh) (*IPCC, 2014*).

14. táblázat

Különböző erőművi technológiák teljes életciklusra vetített fajlagos CO₂-kibocsátása.

Options	Direct emissions	Infrastructure & supply chain emissions	Biogenic CO ₂ emissions and albedo effect	Methane emissions	Lifecycle emissions (incl. albedo effect)
	Min/Median/Max	Typical values			Min/Median/Max
Currently Commercially Available Technologies					
Coal—PC	670/760/870	9.6	0	47	740/820/910
Gas—Combined Cycle	350/370/490	1.6	0	91	410/490/650
Biomass—cofiring	n.a. ¹	–	–	–	620/740/890 ¹
Biomass—dedicated	n.a. ¹	210	27	0	130/230/420 ¹
Geothermal	0	45	0	0	6.0/38/79
Hydropower	0	19	0	88	1.0/24/2200
Nuclear	0	18	0	0	3.7/12/110
Concentrated Solar Power	0	29	0	0	8.8/27/63
Solar PV—rooftop	0	42	0	0	26/41/60
Solar PV—utility	0	66	0	0	18/48/180
Wind onshore	0	15	0	0	7.0/11/56
Wind offshore	0	17	0	0	8.0/12/35
Pre-commercial Technologies					
CCS—Coal—Oxyfuel	14/76/110	17	0	67	100/160/200
CCS—Coal—PC	95/120/140	28	0	68	190/220/250
CCS—Coal—IGCC	100/120/150	9.9	0	62	170/200/230
CCS—Gas—Combined Cycle	30/57/98	8.9	0	110	94/170/340
Ocean	0	17	0	0	5.6/17/28

Forrás: IPCC (2014): Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change, p. 1335.)

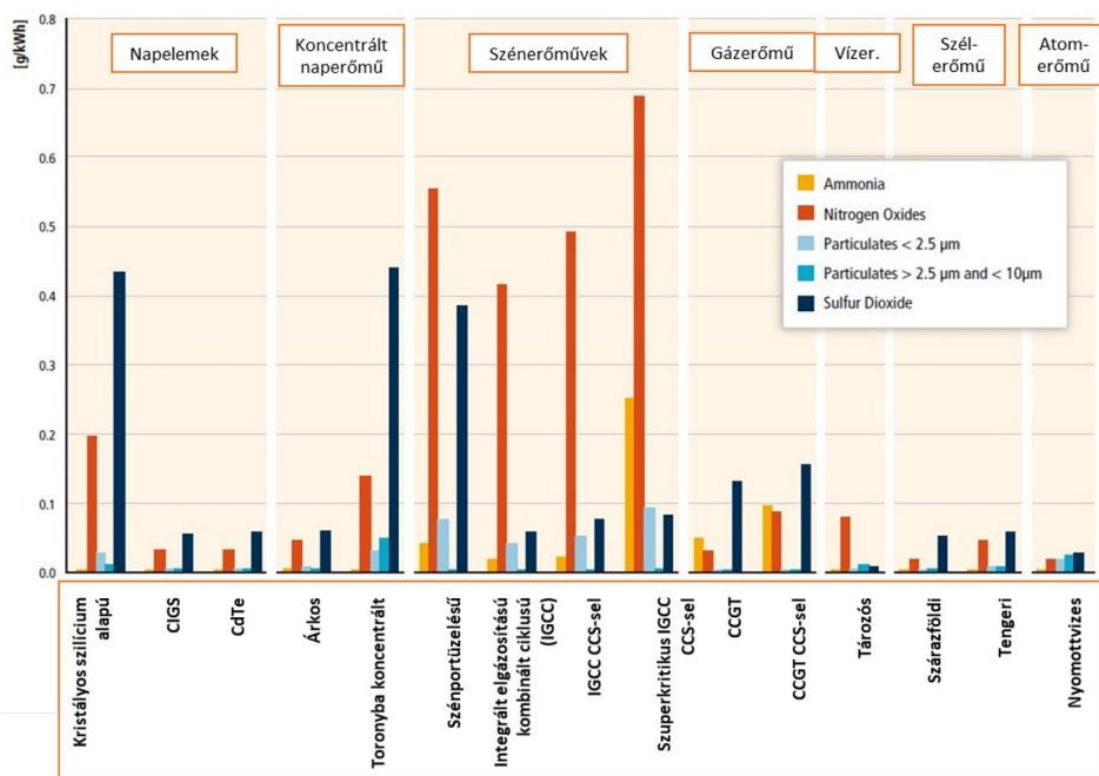
Az ENSZ IPCC riportja (IPCC, 2007) alapján kijelenthető, hogy a nukleáris energia alkalmazásával évi 1,5 milliárd tonna (!) szén-dioxid kibocsátását kerüljük el, miközben a totális energiaszektorhoz köthető globális CO₂-kibocsátás évi 32-33 milliárd tonna közelében van (beleértve a közlekedést, épületek fűtését stb.).

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) kimutatása szerint 1971-2018 között az atomenergia révén 74 milliárd tonna szén-dioxid-kibocsátást kerültünk el, ez a teljes globális villamosenergia-szektor 2013-2018 közötti kibocsátásával megegyező mennyiség. Az nukleáris energia erőművi alkalmazásának hála máig hatévnyi globális erőműparki CO₂ kibocsátást előztünk meg.

Az életciklus alapú értékeléshez a levegőszennyezés negatív egészségügyi következményeinek egyéb okozóit is érdemes erőművi technológiák szerinti bontásban áttekinteni.

33. ábra

Az egyes erőművi technológiák teljes életciklusához kapcsolódó különböző, egyéb kibocsátások.



Forrás: ENSZ IPCC [2014]

Itt is megfigyelhető a széntüzelésű erőművek hátránya, mely hátrány leginkább a nitrogén-oxidok és a szálló por fajlagos kibocsátásában tükröződik (ld. 6.1 fejezet). A ma legszélesebb körben alkalmazott polikristályos szilícium alapú napelemek teljes életciklusára vonatkozó magas nitrogén-oxid- és kén-dioxid kibocsátás kissé meglepő.

Az IPCC szerint ugyanakkor kiemelkedően kedvező a szél- és atomerőművek, az újabb technológiájú napelemek és a vízerőművek környezetre gyakorolt negatív hatása.

A víz- és nyomottvizes atomerőművek jó értékeiben feltételezhetően a rendkívül hosszú élettartam és - főként a nukleáris erőművek esetén - a nagy kihasználtság is szerepet játszik. A fenntarthatóság aspektusából is kedvező a helyzet, ami az atomenergiát illeti: a már azonosított és kitermelhető uránkészletek is több, mint 200 évre elegendőek. Ráadásul a szakemberek már hosszú évek óta a nukleáris üzemanyagciklus zárásán dolgoznak, itt idézem Hárfás Zsolt írását: *„A kiegészített üzemanyag-kazettákból high-tech technológiák alkalmazásával kinyerik a még felhasználható izotópokat, azokat feldolgozzák, és újfajta üzemanyagot készítenek belőle. A nukleáris üzemanyagciklus zárásához alapvető fontosságú a gyorsneutronos technológiák alkalmazása, ami hatalmas mérföldkövet jelent az atomipar globális jövőjét illetően. E technológia környezetvédelmi szempontból ugyanis rendkívül fontos, hiszen lehetővé teszi a termikus neutronokkal üzemelő, »hagyományos« atomerőművek, mint például a paksi atomerőmű kiegészített üzemanyagának újrahasznosítását, ennek köszönhetően nagymértékben csökkenti a végleges elhelyezésre váró nagy aktivitású hulladék mennyiségét. A lényeg: a jövő globális atomenergetikai infrastruktúrája lehetőséget biztosít az egységnyi természetes urán szinte teljes mértékű felhasználására, ötvenszeresére növelve a földi uránkészletekből kinyerhető energia mennyiségét. Ez azt jelenti, hogy a Föld uránkészletei több ezer évre elegendőek.”* (Hárfás, 2020)

6.2 Az atomenergia szereplői tanulnak a hibákból - biztonság

A 4.4-es fejezetben tárgyaltam az atomenergia megítélését a V4-ek országaiban, a lakossági támogatottságát. A nukleáris létesítményekkel kapcsolatos legnagyobb aggodalom a valamilyen baleset lehetősége. Megvizsgáltam, mennyire reális veszély egy nukleáris incidens.

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség a csernobili katasztrófa után vezette be a Nemzetközi Nukleáris és Radiológiai Esemény Skálát (INES skála), ami a nukleáris biztonságot bármilyen módon is érintő eseményekről történő azonnali és következetes tájékoztatására szolgál. A skála az eseményeket hét szinten minősíti: az INES 1-3 szintű eseményeket üzemzavaroknak, míg az

INES 4-7-es szintű eseményeket baleseteknek nevezi. Az olyan események, amelyeknek nincs biztonsági jelentősége, skálán kívüli vagy skála alatti (INES 0) szintű minősítést kapnak. (Hárfás, 2021)

A nukleáris iparban a biztonság elsőbbséget élvez, megelőz minden más szempontot is. Az atomerőműben dolgozó és a környéken élő embereknek is létfontosságú az erőmű hosszú távú, biztonságos üzemeltetése. Ahogyan a repülőgépiparban vagy az autóiparban a nukleáris energetika is olyan iparág, amely tanul a „leckékből”, és a tanulságokat beépíti az egyre szigorodó követelményrendszerbe.

A VVER-1200 típusú blokk a biztonság maximalizálása érdekében optimalisan alkalmazza a már korábban is bevált aktív és az alapvető fizikai törvényszerűségeken alapuló passzív biztonságvédelmi rendszereket. A biztonsági rendszerekből négy teljesen különálló rendszert létesítenek, így, ha az egyik valamilyen okból nem működne, a másik három közül bármelyik át tudja venni a biztonsági funkciókat (Hárfás, 2021)

7. Összefoglalás

A jelenlegi tervek szerint 2050-re minden Európai Unió államnak nulla nettó üvegházhatásúgáz-kibocsátást kell elérnie. A dolgozatomban bemutattam a Visegrádi Együttműködés országainak közép- és hosszútávú klímastratégiáját, azt, hogy milyen eszközökkel, milyen energiaforrásból kívánja pótolni a károsanyag-kibocsátású energiatermelő egységeit. Lengyelország nagy feladat előtt áll, hiszen Európában az egyik legnagyobb szén-alapú villamosenergia-előállítója. Atomerőmű létesítésében, valamint a szél- és napenergia források növelésében látják a megoldást, utóbbi két forrás volumene az eddigi előrejelzések alapján kevés lesz a célok eléréséhez. Csehországról ugyanez mondható el Lengyelországgal az Európai Unió legszennyezőbb forráson (szén) alapuló villamosenergia-termelőiről van szó. Szlovákia az energetikai jövőjét az atomenergiára és a megújuló energiaforrásokra, ezen belül alapvetően a vízerőművekre, kis mértékben a naperőművekre építi. Magyarország is szeretné növelni a szoláris részarányt, emellett az új paksi blokkok létesítése hozhat enyhülést az importkitettségek tekintetében.

A V4-ek villamosenergia-termelését és fogyasztását keresztül megmutattam, hogyan áll össze ezen négy tagállam energia-mixe, mekkora a megújuló energiaforrások részaránya a jelenlegi

villamosenergia-termelésben és földrajzi-gazdasági szempontból melyik megújuló energiaforrás volumenét érdemes növelnie az adott országnak.

Csehországon kívül minden V4-állam villamosenergia-importőr, de a csehek villamosenergia-termelése szénrel erősen terhelt. A magyar importkitettség az egyik legnagyobb Európában és a lengyelek is importálják a villamosenergiát, mert a szén-alapú termelés egyre drágább. Szlovákiában új Mohi blokkok kereskedelmi üzembe lépésével az ország várhatóan újra nettó villamosenergia-exportőrré válik, és ez a villamosenergia-mennyiség valószínűleg szerint először Magyarország piacán fog megjelenni. Nem elhanyagolható szempont egy ország gazdaságának szempontjából, mekkora az adott állam importkitettsége. A dolgozatban az adatokra támaszkodva elemeztem a V4-ek importkitettségét, megvizsgálva az energiabiztonság aspektusából is a kérdést, hiába villamosenergia-exportőr egy ország, ha az általa megtermelt áram szén-alapú és valóban probléma-e az, hogy egy ország olcsóbban jut áramhoz mástól, mintha maga termelné meg?

A továbbiakban dolgozatom elején megfogalmazott hipotéziseimre adom meg a válaszokat.

Hipotézis 1: az atomenergia nélkül elképzelhetetlen Magyarország folyamatos és biztonságos áramellátása, a nukleáris energia teljes kiváltása jelenleg nem lehetséges. Ez a felvetésem igaznak bizonyult, hiszen számításokkal igazoltam, hogy az áramtermelésben szerepet játszó megújuló energiaforrások közül a szoláris energia hatalmas területigénye nem teszi lehetővé, a szélenergia széleskörű alkalmazásához pedig hazánk szélkészlete, földrajzi-meteorológiai adottságai nem járulnak hozzá a nukleáris energia teljes kiváltásához.

Hipotézis 2: az atomenergia alkalmazása valóban „zöld” megoldást jelent más energiaforrásokkal szemben: ha az egyes villamosenergia-termelési módokat a teljes élelciklusra vonatkoztatva elemezzük, akkor a legkisebb szén-dioxid-egyenérték-kibocsátással az atomerőművek rendelkeznek - az adatok, tanulmányok vizsgálata ezt a felvetésemet alátámasztotta. Az elmúlt időszakban a nukleáris energia alkalmazása ellen szóló szakmai érvek gyakorlatilag elfogytak. A nukleáris technológia teljes élelciklusra vonatkozó fajlagos szén-dioxid-kibocsátása csaknem megegyezik a szél- és napaenergia-hasznosításával sőt, bizonyos tekintetben még ezeknél is kedvezőbb azokénál. A statisztikai adatok alapján rámutattam, hogy az atomerőművek az elmúlt évtizedekben csaknem valamennyi más energiatermelési módnál kevesebb halálesetet eredményeztek, és az egyre szigorodó előírások miatt a technológia folyamatosan egyre biztonságosabbá válik.

Hipotézis 3: a V4-ek tagállamai közül Magyarországnak vannak a legjobb adottságai a megújuló energiaforrásokra támaszkodni a villamosenergia-termelés tekintetében. Vannak olyan megújuló energiaforrások, pl. a geotermikus energiaforrás, melyeket tekintve - mint rendelkezésre álló erőforrás - valóban Magyarország van a legjobb helyzetben, ugyanakkor a földhő-hasznosítás technológiai fejlettsége nem áll azon a szinten, hogy villamos-energiát állíthassunk elő belőle, a bekerülési költségek is nagyon magasak lennének, ugyanakkor a szoláris adottságunk a szlovákokéhoz hasonlóan jó a csehekéhez vagy lengyelekéhez képest. A szélenergia tekintetében a lengyeleknek van a legjobb adottságai (tengerpart), ám az ottani törvényhozás gyakorlatilag ellehetetlenítette a szélerőművek további terjedését.

Mára a mértékadó nemzetközi szervezetek javarésze egyértelmű tényként kezeli, hogy új atomenergetikai beruházások hiányában nem érhetők el a globális (és főleg az igen ambiciózus európai) klímavédelmi törekvések. Talán a szakmai érveknek is hála, az Európai Bizottság háttérintézménye is „környezetvédelmileg fenntartható”, azaz finanszírozható kategóriába sorolná az atomenergiát.

Véleményem szerint a hazai és a V4-ek megújuló energiafelhasználás részarányát növelni kell, de ésszerű, tudományos keretek között kell felállítani, természetesen a már jól működő és gazdaságos energiafelhasználás lehetősége mellett - lehetőleg nélkülözve az ideológiai és politikai befolyást. A megújuló energiaforrások bővülésével és a biztonságos primer energiaforrások alkalmazásával elérhető a kívánt karbonsemlegesség és a nagyon fontos ellátásbiztonság.

Felhasznált irodalom

Günther Strobl - *Ursprung des europäischen Beinahe-Blackouts zu Jahresbeginn lag in Kroatien*, Der Standard, Bécs, 2021.

<https://www.derstandard.at/story/2000123637082/ursache-fuer-beinahe-blackout-in-europa-zu-jahresbeginn-lag-in> - letöltés ideje: 2022.03.11.

MAVIR - *Bruttó csúcsidei adatok 2001-2021*

https://www.mavir.hu/documents/10258/240254753/Havi+cs%C3%BAcsok+1990_2021_11_HU_v1.pdf/ - letöltés ideje: 2022.03.15.

Az Európai Parlament és a Tanács Rendelete - *2019. március 14-i állásfoglalása az éghajlatváltozásról: európai hosszú távú stratégiai jövőkép egy virágzó, modern, versenyképes és klímasemleges gazdaságról a Párizsi Megállapodással összhangban* (2019/2582(RSP)). Brüsszel, 2020 - <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0080> – letöltés ideje: 2022.03.19.

Az Európai Parlament és a Tanács Rendelete - *Az Európai Parlament 2019. november 28-i állásfoglalása az éghajlati és környezeti vészhelyzetről* (2019/2930(RSP))., Brüsszel, 2020 - <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0080> – letöltés ideje: 2022.03.19.

Innovációs és Technológiai Minisztérium – *Nemzeti Energia- és Klímaterv*, Budapest, 2019 - https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/hu_final_necp_main_hu.pdf - letöltés ideje: 2022.03.07.

Az Európai Parlament és a Tanács 2003/87/EK irányelve - *Az üvegházhatást okozó gázok kibocsátási egységei Közösségen belüli kereskedelmi rendszerének létrehozásáról és a 96/61/EK tanácsi irányelv módosításáról* (10. cikk (3) bekezdés), Brüsszel, 2003.

Viviane Krauss, Isabell Page - *Industrial Development in the Czech Republic* - <https://www.spotlightmetal.com/industrial-development-in-the-czech-republic-a-817037/> - letöltés ideje: 2022.04.05.

Agencja Rynku Energii S.A. - *Statystyka elektroenergetyki polskiej*, Varsó, 2020 - <https://stat.gov.pl/en/topics/environment-energy/energy/energy-statistics-in-2019-and-2020,4,16.html> – letöltés ideje: 2022.03.22.

Eurostat - *Supply, transformation and consumption of electricity* - https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/nrg_cb_e - letöltés ideje: 2022.04.02.

Charles Moore - *Vision or Division? What NECPs tell us about the EU power sector in 2030* - <https://ember-climate.org/insights/research/necp7/> - letöltés ideje: 2022.03.03.

Slovak Ministry of Economy - *Integrated National Energy and Climate Plan for 2021 to 2030*, Pozsony, 2019 - https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/sk_final_necp_main_en.pdf - letöltés ideje: 2022.02.22.

Ministry of Climate and Environment – *Energy Policy of Poland until 2040*, Varsó, 2021 - <https://www.gov.pl/attachment/62a054de-0a3d-444d-a969-90a89502df94> - letöltés ideje: 2022.04.22.

Czech Government - *National Energy and Climate Plan of the Czech Republic (NECP)*, Prága, 2019 - https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/cs_final_necp_main_en.pdf - letöltés ideje: 2022.04.23.

International Energy Agency - *Czech Republic 2021 - Energy Policy Review*, Prága, 2021

Századvég - *Növekszik a nukleáris energia támogatottsága Európában* - <https://szazadveg.hu/hu/2021/12/01/novekszik-a-nuklearis-energia-tamogatottsaga-europaban~n2177> - letöltés ideje: 2022.04.04.

World Nuclear News - *Polish support for nuclear on a high* - <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Polish-support-for-nuclear-on-a-high> - letöltés ideje: 2022.04.04.

World Nuclear News - *Czech support for nuclear rises in energy crisis* - <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Czech-support-for-nuclear-rises-in-energy-crisis> - letöltés ideje: 2022.01.02.

Paks2 – *Közérthetően az atomenergiáról* – <https://www.paks2.hu/web/guest/k%C3%B6z%C3%A9rthet%C5%91en-az-atomenergi%C3%A1r%C3%B3l> – letöltés ideje: 2022.05.04.

Focus - *Opinion Poll for nuclear regulatory authority*, Pozsony, 2019 - <https://www.ujd.gov.sk/wp-content/uploads/2021/10/Public-Opinion-Survey-SR-2019-EN.pdf> - letöltés ideje: 2022. 05. 01.

Sandbag Climate Campaign CIC - *The gas crisis interrupts a rapid coal exit*, Cardiff, 2022 - <https://ember-climate.org/countries-and-regions/regions/european-union/> - letöltés ideje: 2022.02.22

Markandya, A., & Wilkinson, P. - *Electricity generation and health*, *The Lancet*, 2007, 370(9591), 979-990.

Sovacool, B. K., Andersen, R., Sorensen, S., Sorensen, K., Tienda, V., Vainorius, A., Bjørn-Thygesen, F. - *Balancing safety with sustainability: assessing the risk of accidents for modern low-carbon energy systems*, *Journal of Cleaner Production*, (2016), 112, 3952-3965.

Sovacool, B. K., Kryman, M., & Laine, E. - *Profiling technological failure and disaster in the energy sector: A comparative analysis of historical energy accidents*, 2015 *Energy*, 90, 2016-2027.

World Health Organization - *Chernobyl: the true scale of the accident*, Joint News Release, Genf, 2005 - <https://www.who.int/news/item/05-09-2005-chernobyl-the-true-scale-of-the-accident> - letöltés ideje: 2022.03.13.

BP - *Statistical Review of World Energy*, London, 2021 - <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> - letöltés ideje: 2022.03.11.

European Commission - Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonized energy system, 2020 - <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119941> - letöltés ideje: 2022.02.12.

Dr. Garbai László, Kovács Zoltán, Pacza Gergely - *A megújuló energiaforrások bemutatása, lehetősége, helye, fenntarthatósága Magyarországon*, Magyar Épületgépészet, LXIII. évfolyam, 2014/4. szám

Dr. Csoknyai Tamás, Dr. Kircsi Andrea, Dr. Kalmár Ferenc, Talamon Attila. – *A szél energiátartalma* - Környezettechnika c. egyetemi jegyzet, TERC, Budapest, 2013., 219. o.

IBRD - *Minerals for Climate Action, The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*, 2020 - <https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/climate-smart-mining-minerals-for-climate-action> - letöltés ideje: 2022.03.13.

WindEurope Business Intelligence - *Wind energy in Europe in 2019, Trends and statistics* - <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf> – letöltés ideje: 2022.05.01.

PWEA - *Wind sets another record — produces 35% of green electricity for Poland* - <http://psew.pl/en/2022/01/31/wind-sets-another-record-produces-35-of-green-electricity-for-poland/> - letöltés ideje: 2022.04.04.

Notes From Poland - *Poland generated record amount of electricity from wind in January, 2022* - <https://notesfrompoland.com/2022/02/15/poland-recorded-highest-ever-wind-power-generation-in-january/> - letöltés ideje: 2022.04.01.

Hárfás Zsolt: *Fukusima tanulságaiból tanult a világ*, origo.hu, 2021 - <https://www.origo.hu/nagyvilag/20210309-fukusima-tanulsagaibol-tanult-a-vilag.html> - letöltés ideje: 2022.04.21.

Hárfás Zsolt: *Az atomenergia egyik „Szent Grálja”*, atombiztos.blog, 2020 - <https://atombiztos.blogstar.hu/2020/09/13/az-atomenergia-egyik-szent-gralja-/100095> - letöltés ideje: 2022.04.22.

Inhaber, Herbert: *Is Solar Power More Dangerous Than Nuclear?*, IAEA BULLETIN - VOL.21, 1979 - <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull21-1/21104091117.pdf> - letöltés ideje: 2022.03.15.

Hárfás Zsolt: *Az atomenergia egyik „Szent Grálja”*, atombiztos.blog, 2020 - <https://atombiztos.blogstar.hu/2020/09/13/az-atomenergia-egyik-szent-gralja-/100095> - letöltés ideje: 2022.04.22.

NYILATKOZAT

Alulírott Balácsi Viktor büntetőjogi felelősségem tudatában nyilatkozom, hogy a szakdolgozatomban foglalt tények és adatok a valóságnak megfelelnek, és az abban leírtak a saját, önálló munkám eredményei.

A szakdolgozatban felhasznált adatokat a szerzői jogvédelem figyelembevételével alkalmaztam.

Ezen szakdolgozat semmilyen része nem került felhasználásra korábban oktatási intézmény más képzésén diplomaszerzés során.

Tudomásul veszem, hogy a szakdolgozatomat az intézmény plágiumellenőrzésnek veti alá.

Budapest, 2022. május 06.



.....

hallgató aláírása