

OTDK-dolgozat

2023

SOPRONI EGYETEM
LÁMFALUSSY SÁNDOR KÖZGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR



MAGYARORSZÁG SZÉL- ÉS ATOMERŐMŰVEINEK
ÉLETCIKLUS ELEMZÉSE

LIFE CYCLE ANALYSIS OF HUNGARIAN WIND AND NUCLEAR
POWER PLANTS

Csalogány Cintia

Konzulensek: Dr. habil. Jankó Ferenc

Dr. habil. Pogátsa Zoltán

Kézirat lezárásának dátuma: 2022. 11. 07.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1
2. ENERGIA TRENDEK.....	3
2.1. A FOSSZILIS ENERGIÁKTÓL A MEGÚJULÓKIG	4
2.2. ENERGIAFELHASZNÁLÁS.....	7
2.3. ENERGIATERMELÉS.....	19
2.4. SZÉLENERGIA.....	22
2.5. ATOMENERGIA	25
3. SZÉL- ÉS ATOMENERGIA HELYZETE MAGYARORSZÁGON	29
4. TELJES ÉLETCIKLUS MODELL VIZSGÁLAT	33
4.1. MÓDSZERTANI HÁTTÉR.....	33
4.2. SZÉL-ÉS ATOMENERGIA LCA MODELLEK EREDMÉNYEI.....	33
4.3. SZÉLERŐMŰVEK ÉLETCIKLUS ELEMZÉSE.....	34
4.3.1. <i>Előállítás</i>	35
4.3.2. <i>Szállítás</i>	36
4.3.3. <i>Telepítés</i>	37
4.3.4. <i>Karbantartás</i>	37
4.3.5. <i>Hulladékkezelés</i>	38
4.3.6. <i>Költségek</i>	39
4.4. ATOMERŐMŰVEK ÉLETCIKLUS ELEMZÉSE.....	40
4.4.1. <i>Uránbányászat</i>	41
4.4.2. <i>Szállítás</i>	41
4.4.3. <i>Épület</i>	42
4.4.4. <i>Reaktor</i>	42
4.4.5. <i>Leszerelés</i>	42
4.4.6. <i>Költségek</i>	44
4.5. LCA MODELLEK ÖSSZESÍTÉSE	46
5. A KUTATÁS KORLÁTAI	49
6. KONKLÚZIÓ	50
IRODALOMJEGYZÉK	52

TÁBLÁZAT- ÉS ÁBRAJEGYZÉK

1. táblázat: Országos éves energiamérleg, Magyarország 2021 előzetes adatok.....	11
2. táblázat: Hazai háztartások végső energia felhasználása, 2020	13
3. táblázat: Az atom- és a szél-erőművek összehasonlítása	27
4. táblázat: Szél-és atomerőmű kibocsátás és költség összehasonlítása	50

1. ábra: A világ primerenergia-fogyasztása 2008-ban és ebből a megújulók részese- dése és megoszlása energiaforrás típusa és felhasználási módja szerint	8
2. ábra: Világ és az EU primer energiafelhasználása energiaforrásonként, 2018	9
3. ábra: A világ energiafogyasztása források szerint, 1965-2021	10
4. ábra: Éves magyar energiamérleg 2014-2021 között terajoulban	12
5. ábra: Háztartások végső energiafelhasználása Magyarországon 2015-2020, tera- joulban	14
6. ábra: Megújuló energiaforrások felhasználásának részaránya a bruttó végső ener- giafogyasztáson belül Magyarországon.....	15
7. ábra: Import részaránya a hazai bruttó villamosenergia felhasználásban 2021- 2022	17
8. ábra: Energiaimport függőség Magyarországon EU-s viszonylatban 2000-2019 között	18
9. ábra: Megújuló energia előállítás világ szinten 2016-2021	19
10. ábra: A megújuló energiaforrásokból előállított energia részaránya 2018-ban ..	20
11. ábra: Bruttó villamos energiatermelés Magyarországon 2016 és 2021 között gi- gawattórában.....	21
12. ábra: Üzembe helyezett szél-erőművek kapacitása világszerte	24
13. ábra: Bruttó villamos energiatermelés megoszlása energiahordozók szerint ha- záinkban, 2020 (GWh).....	29
14. ábra: Napelemek és szél-turbinák termelése Magyarországon, napi adatok alapján havi bontásban	30
15. ábra: Magyarország szélenergiatérképe 120 m-es magasságban	31
16. ábra: Infografika a szél-és atomerőmű életciklus elemzésének eredményeiről ..	48

1. BEVEZETÉS

A II. világháború óta a földi népesség közel megtriplázódott, ez részben a javuló élelmiszer- és energiaellátottságra, illetve a tudomány fejlődésére vezethető vissza. Ez a népességnövekedés hatalmas energia szükségletet generált, ami a fosszilis energiahordozók miatt hozzájárult a globális éghajlatváltozáshoz. Bár kizárólag a működés során nem bocsátanak ki üvegházhatású gázokat, az atomenergia sem számít „tisztá” energiaforrásnak, hiszen a működtetéséhez szükséges urán véges, bányászattal kiaknázott energiahordozó, valamint az atomenergia környezeti szempontból – és ezt a társadalmi megítélés jól tükrözi – igencsak veszélyes és káros (Vaillancourt et al., 2008).

Közismert, hogy Magyarország elektromos energiaellátásában megkerülhetetlen a paksi atomerőmű szerepe, amely néhány kisebb hőerőművel kiegészülve adja az ország alaperőművi hálózatát. A hatályos energiapolitikai dokumentumok ezek mellett a napenergia kiaknázása mellett tették le a voksot,¹ ugyanakkor a hatályos szabályozás, azaz politikai döntés miatt szélenergia évek óta jószerével kiaknázatlan az ország területén.² Ugyanakkor éppen ez adja tanulmányom elméleti kérdésfeltevésének lehetőségét. Tanulmányom fő kérdése ugyanis az, hogy Magyarország atomenergia használata helyettesíthető-e szélenergiával. Ez egyfelől a szélenergia potenciál kérdése. Másrészt félretéve a laikus értékítéletet – miszerint szélenergia=zöld, atomenergia=káros – adódik a kérdés, hogy melyik tekinthető környezeti szempontból fenntarthatóbbnak, környezeti szempontból megfelelőbbnek, ha a felépítéstől, a működtetésen át a bezárásig tesszük mérlegre károsanyag kibocsátásukat, illetve anyag- és energiaigényüket.

Ez a vizsgálat tehát a teljes életciklus elemzés szemléleti és módszertani alkalmazását igényli. Így teljes életciklus elemzést végeztem mind a szélerőművekre, mind az atomerőművekre. Ehhez minden olyan folyamatot meg kellett vizsgálnom, melyek az egyes energiaforrások telepítésétől a leszereléséig károsanyag (üvegházgáz) kibocsátással járnak. Ezáltal pontos képet kaphattam arról, hogy milyen költségen mekkora energiatermelést, illetve mekkora CO₂ kibocsátást okoznak.

¹ https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/hu_final_necp_main_hu_0.pdf

² 277/2016. (IX. 15.) Korm. Rendelet a szélerőművekre vonatkozó szabályok módosításáról, Magyar Közlöny 138.szám, p.68673

Tanulmányomban egy modellkísérlet segítségével igyekszem szemléltetni a hazai szél- és atomerőművek helyzetét, illetve azok egymással való helyettesíthetőségét. Mindezt kizárólag elméleti síkon, ugyanis a valóságban ez nem lehet egy megvalósítható cél, mivel a szél- és atomerőművek energiatermelésének szeszélyessége miatt szükséges egy folyamatosan működő alaperőművi háttér a folyamatosan biztosított energiatermelés érdekében. Habár ettől függetlenül hosszabb távon a megújulóakra való teljes átállás továbbra is egy kedvező cél, a dolgozat végére egy erre az esetre rávilágító eredmény szemlélteti a megvalósításhoz szükséges pénzügyi feltételeket, illetve környezeti hatásokat.

Dolgozatomban először megvizsgáltam a jelenlegi energiatrendeket, hogy milyen megújuló és nem megújuló energiaforrásokat használunk, ezek előnyeit és hátrányait, mindezt a pontosabb kép érdekében. Majd világ, Európai Unió és hazai szinten elemeztem az energiatermelés és felhasználás megoszlását az egyes energiaforrások körében. Mindezzel célom az volt, hogy rávilágíthassak arra a tényre, hogy bár növekszik a megújulók aránya a teljes energiatermelés/felhasználás értékén belül, de még mindig nem megfelelő súlyú. Ezek következtében kiválasztottam a szélenergiát és az atomenergiát kutatásomhoz, mely során a szél- és atomerőművek életciklus elemzését végzem el a hazai helyzet alapján. Ezzel az volt a célom, hogy megvizsgáljam károsanyag kibocsátás és felmerülő költségek viszonylatában melyik erőmű típus, amely jobb eredményeket tud elérni.

2. ENERGIA TRENDEK

A bevezetésben jelzett népességrobbanás mellett az emberiség növekvő energiaigényére a túlfogyasztás is magyarázatot ad. Az ipari forradalom óta – amikor is megugrott a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása – folyamatosan tértünk a túlfogyasztás útjára, mely napjainkra súlyos jelenséggé vált. Túlfogyasztásnak az a fogyasztás nevezhető, amikor olyan áruk megvásárlására költünk, amelyek nem a megvásárolt mennyiségben vagy pedig egyáltalán nem kerülnek aztán felhasználásra (Hohmann, 2016). A túlfogyasztás értelmezhető úgy, mint termékek és szolgáltatások túlzott fogyasztása annak érdekében, hogy ezzel az emberek boldogságérzetüket növelhessék.

Ha pedig környezeti szempontból vizsgáljuk a túlfogyasztást, akkor a természeti erőforrások felhasználására terelődik a hangsúly. Így tehát előfordulhatnak olyan esetek is, amelyekben a fogyasztók olyan termékeket vásárolnak túlzott mértékben, melyeknek előállítása sok erőforrást igényel, illetve amikor olyanokat, amelyeknek nem igényel túlzott természeti erőforrás használatot az előállításuk (Brown-Cameron, 2000). Ezek alapján beszélhetünk az ökológiai lábnyomról is, mely azt vizsgálja, hogy az emberek fogyasztása és az azáltal keletkezett hulladéknak a megkötése mennyit igényel a bolygó felépülő képességéből, valamint, hogy mindez, hogyan viszonyul a bolygó teljes regenerációs képességéhez. Tehát azt fejezi ki, hogy mennyire használjuk fel, illetve túl a Földet (Mancini et al., 2016). Mindezt a növekedést és fogyasztást meg lehet állapítani országokra, mint, hogy Magyarország 2022-es ökológiai lábnyoma 3,67 gha/fő, vagyis globális hektárra nézve személyenként.³

Ezek alapján összességében tehát a gazdaság növekedése is túlfogyasztást eredményez, emellett a környezetre is káros hatást gyakorol. Hazánkban 2012 utántól beszélhetünk újra gazdasági növekedésről (Lengyel-Varga, 2018). A válságból való kilábalás következtében, egyre több kis hozzáadott értékű, ugyanakkor magas energia és környezeti értéket kívánó vállalat jött létre Magyarországon,⁴ melyek nem számolnak ennek a folyamatnak a környezetre gyakorolt káros hatásaival. Hiszen a klímaváltozás sok káros hatást okoz, mint

³ <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/ecological-footprint-by-country?fbclid=IwAR1oxkX8B4QgN4Wd5t7Fb6SEYOkH-Phz-gYpYgommisvAVyoacMW6Nmk-rg>

⁴ <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/valldemog/valldemog11.pdf>

a természetes élővilág visszaszorulása, a kártevő rovarok és gyomok elszaporodása, az égővire jellemző határok eltolódnak, emellett pedig egyre szeszélyesebb a csapadék mennyisége, mely aszályos években egyre több tüzesetet is maga után vonz. Viszont, hogyha a társadalom megelőzéssel és védekezéssel alkalmazkodik és a fenntartható fejlődés irányába mozdul el, és a Párizsi Szerződésben lefektetett kritikus 1,5 Celsius fok közelében szeretne maradni, akkor a gazdaság további növekedése nem egy lehetséges opció, hiszen az alkalmazkodás lépései nem kerülhetnek ellentmondásba a kibocsátás csökkentésével.⁵

2.1. A FOSSZILIS ENERGIÁKTÓL A MEGÚJULÓKIG

Ma már nem tudnánk elképzelni a mindennapjainkat lámpa, fűtés vagy éppen háztartási gépek nélkül. Viszont, ha nem csak azt vesszük figyelembe, hogy nekünk mi a jó, hanem hogy a környezetünknek mi lenne az, akkor elgondolkodnánk, hogy mely más módokon állíthatnánk elő több villamos energiát, úgy, hogy az a környezetünket is kímélje. Itt tehát előkerülnek a megújuló energiaforrások, melyek az energia nyerési forrásaikat tekintve nem számítanak károsnak a Földre nézve, és régóta fontos szerepet játszanak a legtöbb ország energia előállítási szokásaiban.

A megújulóra való átállás nem lehetetlen, már 2017-ben is a világ összes villamos energiájának a negyedét megújuló energiaforrások adták. Emellett megfigyelhető, hogy a célok is felfele kúsznak. Az Európai Unió is módosította a 2030-ra kitűzött céljait 27%-ról 32%-ra. (Gielen et al., 2019). A megújuló energiaforrások a fosszilis alternatívái, melyek segítenek az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésében, valamint csökkentik a piactól való függést is, mely a fosszilis tüzelőanyagoknál egy folyamatosan fennálló probléma.⁶ Így tehát általános angol definíció alapján a megújuló energiaforrások közé tartozik a szél, víz, nap és a biomassza, tehát azok melyek nem fosszilis vagy nukleáris üzemanyagból származnak, és kimeríthetetlennek minősülnek (Rybár et al., 2015). Ezzel szemben vannak elméletek, melyekben a nukleárist is megújulónak tekintik, ugyanis léteznek olyan nukleáris reaktorok, melyek több hasadóanyagot tudnak előállítani mint amennyit felhasználnak, ezért szerintük ezt a folyamatot is megújulónak kell tekinteni (Vasques, 2014).

⁵ <https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/hatasok-alkalmazkodas/>

⁶ <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/hu/sheet/70/megujulo-energia>

A megújuló energiaforrások használata, azok lehetőségeinek kihasználása már az emberiség kezdeti évtizedeiben is megtalálható volt. Így a nap energiáját aszalásra, szárításra, a vizet malmok hajtására, valamint a szelet ezen felül hajózásra is használták. Az ipari forradalmak következtében a megújuló energiák használata a háttérbe szorult, majd az 1970-es évektől beállt a „zöld szemlélet”, amely következtében megint nagy hangsúlyt fektettek a megújuló és megújítható energiák kiaknázására és az ezekhez kellő technológiák fejlesztésére (Bokor, 2010). Manapság már nem csak a zöld szemlélet vezérli az embereket, hanem a környezetük védelme is, hiszen a véleményformálók és a mainstream média is egyre többször jeleníti meg a környezetszennyezést, vagy a globális felmelegedést, mint elrettentő jelenséget.

A hagyományos energiaforrások közé sorolható, a földgáz, a kőolaj, a szén, a nap, a szél, a geotermikus és a nukleáris energia. Ezek mind rendelkeznek a felhasználásukból adódóan több-kevesebb előnnyel és hátránnyal. A fosszilis energiahordozók előnyei között említhetjük, hogy viszonylag olcsók és nagy mennyiségű elektromos áramot lehet velük előállítani, valamint, hogy szállításuk és erőműveik kialakítása viszonylag egyszerűnek minősíthető (Zsuga, 2017). Hátrányai viszont, hogy nem megújulóak, nagy a károsanyag kibocsátásuk és kifogyóban vannak.⁷ A megújuló energiaforrások előnyei, hogy nem járnak káros anyag kibocsátással, nincsenek nagy üzemeltetési költségeik, valamint van olyan fajtája (pl.: geotermikus energia) amelyeknek a teljesítménye is állandó (Bagher et al., 2014). Hátrányok viszont itt is vannak, mint, hogy a legtöbbjüknel nem folyamatos az áram termelés, akadnak olyan alkatrészeik, melyeket a leszerelést követően veszélyes hulladékként kell kezelni, valamint a kiépítési költségeik is igen magasak (Virágh, 2016). Harmadik csoportként kezelendő a nukleáris energia, mely a legtöbb értekezés szerint, egyik korábbi csoportba sem sorolható. Előnyei között említhető, hogy a leghatékonyabb energiatermelési forma, valamint, hogy alacsony a működés közbeni környezeti terhelése (Vaillancourt et al., 2008). Hátránya viszont ezzel szemben, hogy nem megújuló energiaforrás, a működéséhez elengedhetetlen urán véges mennyiségben áll rendelkezésre, valamint működése során radioaktív hulladékok keletkeznek.⁸ Több nukleáris balesetet is fel lehet sorakoztatni,

⁷<https://ourworldindata.org/grapher/years-of-fossil-fuel-reserves-left?fbclid=IwAR1o0PXVy0nNFHYjdRhTmm9EFYK8jOCUsYrsV57JbR8QZln7DvHLt5tjs>

⁸ <https://greendex.hu/atomenergia-nuklearis-energia/>

mint a csernobili vagy a fukushimai, és ott van legújabbán az orosz-ukrán háború hatására megnövekedett baleseti kockázat az ukrán zaporizsjai atomerőművel is.⁹

Így tehát összességében nehéz megállapítani, hogy több-e az előny, mint a hátrány vagy fordítva. Hiszen egy-egy bekövetkezett baleset miatt az erőművek építési ideje és költségei jelentősen növekedhetnek.

Napjainkban már nem csak ezekről a hagyományos megoldásokról szól a szakmai vita, ugyanis több modern, akár hibrid változat is kezd elterjedni. Az egyik ilyen megoldás, hogy a napenergiát hőenergia tárolóval kombinálják, ezáltal az erőművek működésük során gazdaságosabbak, megbízhatóbbak és versenyképesebbek lesznek, valamint az energia kereslet és kínálat kiegyensúlyozásában is segítséget nyújthatnak (Achhari-El Fadar., 2020). Emellett egyre jobban felkapott lesz a bioszén is, mely a biomasszából származik, a megújuló energiatermelésben való hasznosítási lehetőségei viszont még kísérleti elveken alapszanak (Bhatia et al., 2021).

Egy másik lehetséges opció, amikor a hidrogént helyettesítő energiahordozóként alkalmazzák. Mivel a hidrogénből üzemanyagcellák segítségével előállított villamos energia sem okoz semmiféle szennyezést, egyetlen mellékterméke van, a tiszta víz. Emellett nagy a fajlagos energiasűrűsége is, ugyanis tömegegységenként háromszor annyi energia előállítására képes, mint ami a benzin elégetése során keletkezik. Mindemellett az országok maguknak is elő tudják állítani, így nincs meg az a függőségi viszony, ami a fosszilizseknél gyakorta előfordul (Yue et al., 2021).

Vannak olyan fejlett oxidációs eljárások is, amelyek segítséget nyújtanak a bioenergia eljárások költséghatékonyabbá tételében, valamint a biotermékek magasabb értékű termékekké fejlesztésében is szerepet játszanak (M'Arimi et al., 2020). Így a Waste-to-Energy folyamat során hulladékok elektromos és hőenergia formájában állítanak elő energiát. Ezen

⁹ Itt az oroszok elfoglalták az erőművet, mely bár továbbra is ukrán személyezettel működik, mégis orosz irányítás alatt. Ezekkel a folyamatokkal több nukleáris biztonsági elvet is megsértettek, emellett pedig kívülről is támadják a létesítményt, melyben már tüzeset is történt az elfoglalás óta. Mindezek mellett a háború akár itthon is okozhat nukleáris baleseteket, ugyanis például, ha a márciusban kilőtt katonai drón mely hazánkban Paks fölött is elhaladt, és amelyen későbbi becsapódását követően légibomba maradványokat találtak, véletlenül Paksnál zuhan le akkor az óriási károkat okozhatott volna az erőműben és annak környezetében is.

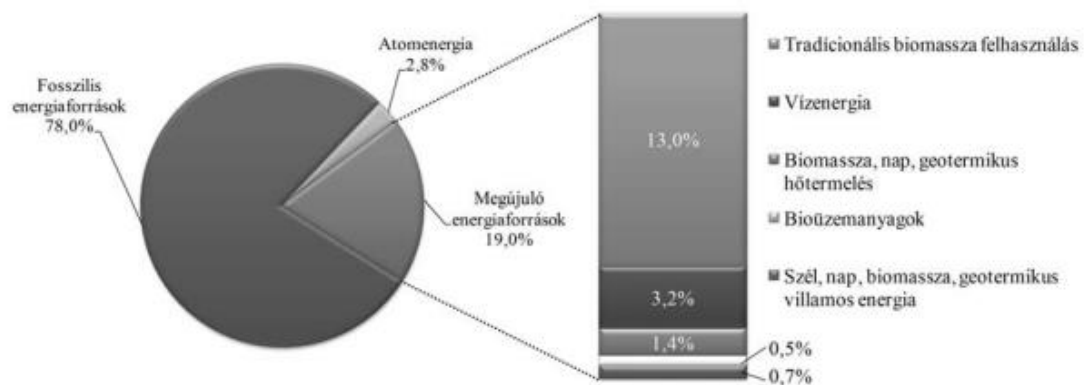
eljárás alatt a hulladékot először gáz, folyékony vagy szilárd megújuló tüzelőanyaggá alakítják, majd ezeket elégetik, így környezetbarát módon és hatékonyan tudnak előállítani elektromos energiát (Anufriev, 2021).

Következtetésképpen megállapítható, hogy a világ fosszilis és nukleáris energia készletei – rövidebb-hosszabb távon – de kifogyóban vannak, ezért nagy átállásra lesz szükség az energiatermelésben. Ezzel szemben a megújuló energiaforrásaink kifogyhatatlanok, ezeknek a további hatékony telepítésébe lenne szükséges már csak befektetni. Viszont ezeknél az eszközöknél sem állítható az, hogy nem szennyezőek a környezetre teljes mértékben, hiszen előállításuk során fosszilis energiát használhatnak fel, területeket vesznek el az élővilágtól, vagy éppen életgörbájuk végeztével előfordulhat, hogy veszélyes hulladékként kezelendők. Emellett felmerülhet általuk zajszennyezés, vagy éppen a helyi természeti populáció ritkítása is. Így tehát a jövőben feltehetőleg nagyobb hangsúlyt fognak kapni az új, hibrid megoldások, melyek a jövőre nézve pozitív változásokat hozhatnak.

2.2. ENERGIAFELHASZNÁLÁS

A világ minden táján megfigyelhető a modernizáció során, hogy egyre több és több energiamennyiséget használnak fel az emberek. Ezzel okot adva arra, hogy minél több energiát kelljen előállítani, több fosszilis energiahordozót kell bányászni vagy éppen nukleáris energia létrehozására alkalmas atomerőműveket kell építeni.

Az alábbiakban a világ, az EU és Magyarország energia felhasználását vizsgálom az elmúlt két évtizedben. Mivel mind az energiatermelés, mind az energiafelhasználás a 19. század óta radikális növekedésen ment keresztül, és mindkettő grafikusan hokibot ábraként rajzolható le, így fontos az utolsó növekedési periódussal foglalkozni, hiszen ez mutatja az aktuális növekedési trendet.

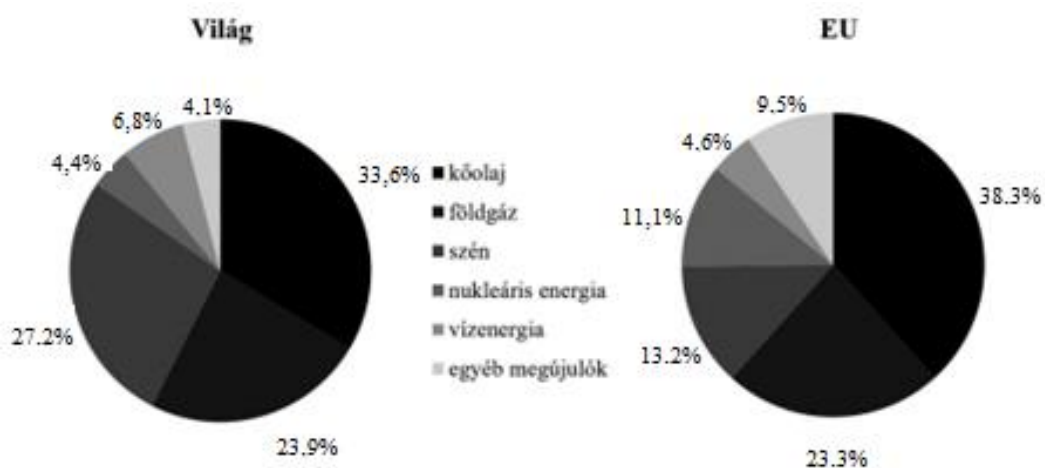


1. ábra: A világ primerenergia-fogyasztása 2008-ban és ebből a megújulók részesedése és megoszlása energiaforrás típusa és felhasználási módja szerint

Forrás: Bokor, 2010, a REN21, 2010 adatai alapján

Az 1. ábrán megfigyelhető, hogy már 2008-ban is a megújuló energiaforrások közel 20%-át tették ki az energia fogyasztásnak, és ezen érték nagy részét a hagyományos biomassza adja. Emellett a szél, a nap, a további biomassza és a geotermikus energia csupán 0,7%-ot alkotott. A legnagyobb értéket 78%-kal a fosszilis energiaforrás adta. Ebben az évben, hasonlóan a globális trendhez, Magyarországon az energiafelhasználásnak a negy-ötödét fosszilis energiahordozók adták,¹⁰ közülük 39% földgáz, 30% kőolaj és 12% szén. A megújuló energiafelhasználás pedig 5,3% volt.

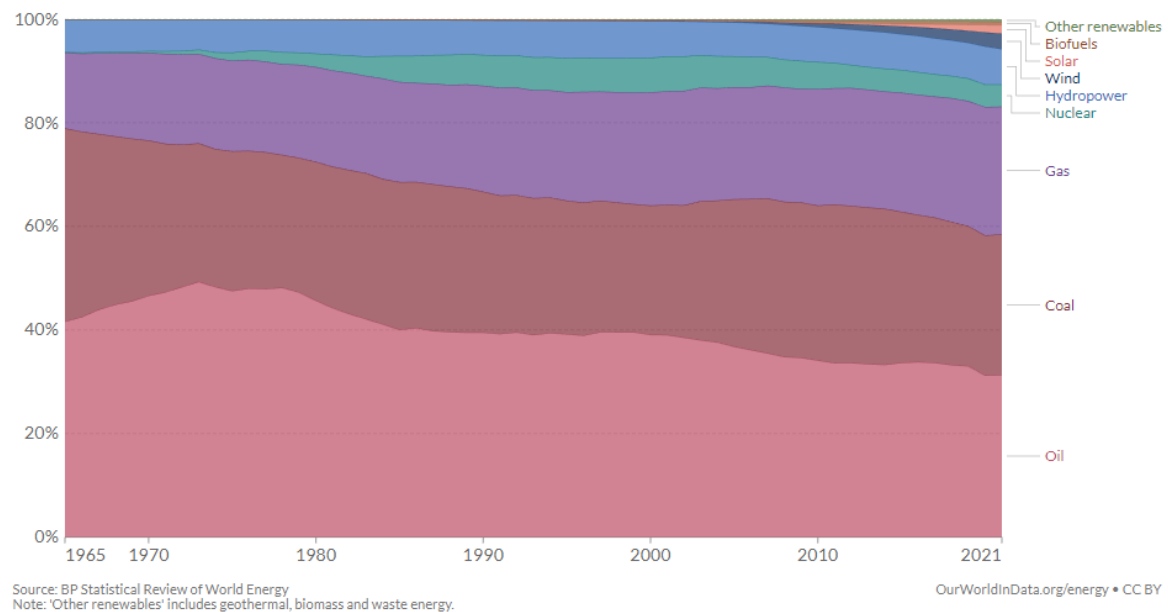
¹⁰ <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/jel/jel309052.pdf>



2. ábra: Világ és az EU primer energiafelhasználása energiaforrásonként, 2018

Forrás: BP, 2019 alapján Hollósy et.al., 2021

A 2018-as világ és európai adatok alapján megállapítható, ahogy azt a 2. ábra is szemlélteti, hogy a teljes felhasználás tekintetében a megújulók megoszlása világ szinten 10,9% míg Európában 14,1% volt. Így egyértelműen kijelenthető, hogy az EU előrébb jár a világ átlagnál a fosszilisokról való leállással, ami betudható folyamatosan megújuló terveinek a fenntarthatóság érdekében.



3. ábra: A világ energiafogyasztása források szerint, 1965-2021

Forrás: Our World In Data

Ahogy a 3. ábra is szemlélteti,¹¹ jól látható világ szinten is a változás az elmúlt pár évtizedben. Az utóbbi 20 évet vizsgálva a kőolajból származó energia fogyasztása egyértelműen csökkent, míg a szén és a földgáz összeségében növekedést mutat. Ezzel szemben a nukleáris energia által előállított energiafogyasztás 2000 óta közel 2%-kal csökkent. A megújuló energiaforrások közül egyedül a vízenergia, mely csekély csökkenést mutatott az évek alatt, ezzel szemben az összes többi egyértelműen és egész nagy arányban növekedett. A szélenergia részesedése például 2,7%-kal emelkedett az évek során, de a nap, a biomassa és az egyéb megújulók részaránya is növekedést mutat.

¹¹ <https://ourworldindata.org/grapher/energy-consumption-by-source-and-country>

1. táblázat: Országos éves energiamérleg, Magyarország, 2021 előzetes adatok

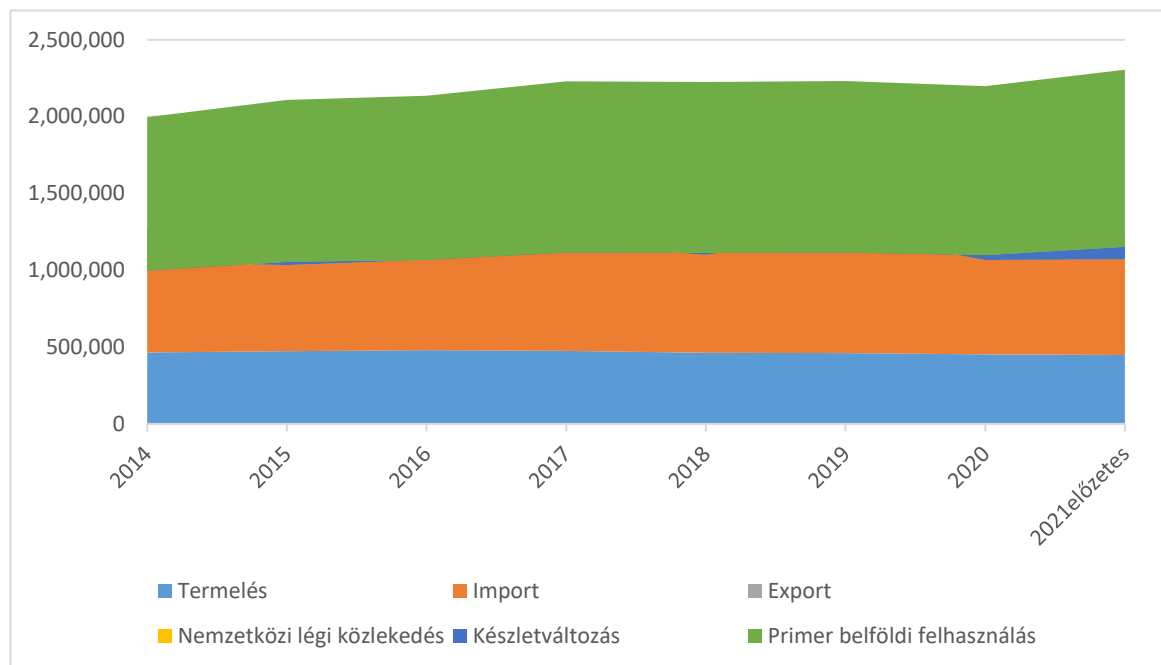
	Adatok terajoule-ban					
Megnevezés	Termelés	Import	Export	Nemzetközi légi közlekedés	Készlet-változás	Primer belföldi felhasználás
<i>Szén és széntermékek</i>	32 287	36 268	-14 405		3 346	57 496
<i>Kőolaj és kőolajtermékek</i>	45 638	416 449	-113 863	-5 012	-1 206	342 006
<i>Földgáz</i>	48 913	261 556	0	0	78 282	388 751
<i>Éghető megújulók és hulladékok</i>	123 153	13 939	-17 505	0	-59	119 528
<i>Nukleáris</i>	174 824					174 824
<i>Víz</i>	745					745
<i>Szél</i>	238					238
<i>Nap</i>	1 449					1 449
<i>Geotermikus</i>	6 398	0	0	0	0	6 398
<i>Villamos energia</i>		71 881	-25 963	0	0	45 918
<i>Hőenergia</i>	0	0	0			0
<i>Összesen</i>	448 828	800 093	-171 736	-5 012	80 363	1 152 536

Forrás: MEKH (Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal) alapján saját szerkesztés¹²

Az összes itthon termelt energiamennyiség közel kétszeresét az ország importálja, elsősorban Oroszországból ahhoz, hogy a primer belföldi fogyasztást fedezni tudja. Ez legnagyobb mértékben a kőolajra és a földgázra vonatkozik. Az éves primer belföldi felhasználás 33,73%-át földgáz, 29,67%-át kőolaj, 15,17%-át nukleáris, 10,37%-át éghető megújulók és hulladékok, 4,98%-át a szén, 1,26%-át nap, 0,55%-át geotermikus, 0,21%-t szél, 0,065%-át pedig víz adja. Összességében tehát csak egy nagyon kis rész az a fogyasztásból, amelyet

¹² <http://www.mekh.hu/eves-adatok>

megújuló energiával állítunk elő, ugyanakkor a nukleáris energiának már kedvezőbb a részaránya a fosszilisokkal szemben, de még mindig elenyésző.



4. ábra: Éves magyar energiamérleg 2014-2021 között terajoulban

Forrás: MEKH alapján saját szerkesztés¹³

Ahogy az elmúlt 8 évre vetített energiamérleg is mutatja, a hazai termelés nagyjából stagnált, összesen csak 20 ezer terajoulos eltérés figyelhető meg. Az import növekedésében 2017-2019-es szakaszban figyelhető meg egy nagyobb kilengés, itt közel 300 ezer terajoullal többet importáltunk, mint az azt megelőző években. Az export és a nemzetközi légi közlekedés minden évben negatív előjellel szerepel a mérlegben, ezért nem vesznek fel értéket az ábrán. A készletváltozásban is csak 2015, 2018, illetve 2020-2021-es évek azok melyekben pozitív összeggel szerepel. A primer belföldi felhasználásban összességében a vizsgált időszak alatt 154 803 terajoulos növekedés figyelhető meg, de az évek során 2017-

¹³ <http://www.mekh.hu/eves-adatok>

ről 2018-ra majd 2019-ről 2020-ra csökkenés látható. Az első alkalommal ez 1 711 terajoules csökkenés, míg a második esetben ez nagyobb volumenű volt, már 16 772 terajoullal csökkent a primer belföldi felhasználás. A legnagyobb összeget minden évben minden kategóriában a földgáz és a kőolaj teszi ki. Ezt követően a legnagyobb értékeket a nukleáris, majd az éghető megújulók és a szén veszi fel. Mindezek után utolsó helyeken szerepelnek a megújuló energiaforrások.

A megújulókkal kapcsolatban továbbra is ez a trend figyelhető meg a háztartások energia fogyasztásában is, amelybe már az otthononként magáncélra megtermelt megújuló energia is beletartozik.

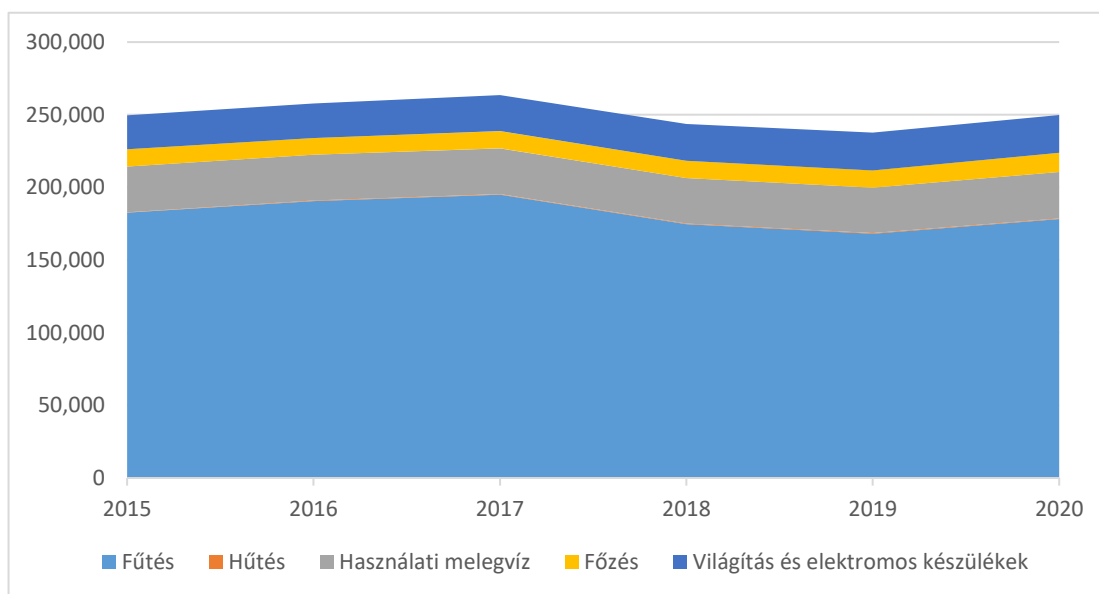
2. táblázat: Hazai háztartások végső energia felhasználása, 2020

Adatok terajoule-ban						
Megnevezés	Fűtés	Hűtés	Használati melegvíz	Főzés	Világítás és elektromos készülékek	Összesen
<i>Villamos energia</i>	2 866	316	12 264	2 321	25 897	43 664
<i>Távhő</i>	14 481		5 201	0		19 682
<i>Földgáz</i>	105 541		13 176	8 003		126 720
<i>Szén és széntermékek</i>	2 359		0	0		2 359
<i>Kőolajtermékek</i>	97		309	2 916		3 322
<i>Megújulók</i>	52 907		1 134	15		54 056
<i>Összesen</i>	178 251	316	32 084	13 255	25 897	249 803

Forrás: MEKH alapján saját szerkesztés¹⁴

Magyarországon az otthoni felhasználásnak körülbelül, már a negyede származik megújuló energiaforrásokból. A fűtésnek a 29,68%-a, a melegvíznek a 3,53%-a, a főzésnek pedig a 0,12%-a, összeségében tehát 21,64%-a az otthoni fogyasztásnak az, melyek megújuló forrásból származnak.

¹⁴ <http://www.mekh.hu/eves-adatok>

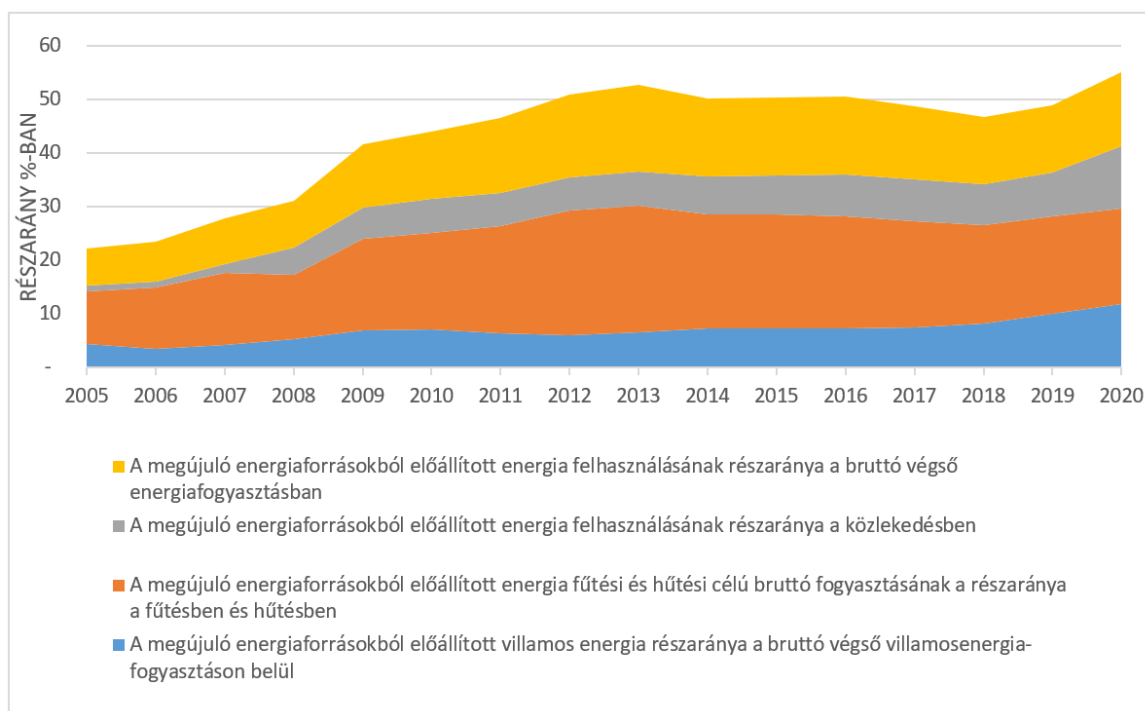


5. Háztartások végső energiafelhasználása Magyarországon 2015-2020, tera-joulban

Forrás: MEKH alapján saját szerkesztés¹⁵

A háztartások energiafelhasználása elsősorban fűtésre megy el, ennek is minden évben a legnagyobb részét a földgáz adja, ezt követően a megújulók, majd pedig a távhő. A szén és a kőolaj ebben a kategóriában nem szerepel nagy értékkel, ahogy az a 2. táblázatban is látható. A többi kategóriában is a földgáz adja a legnagyobb értéket, viszont ezekben a megújulók már csak kisebb értékkel szerepelnek, helyüket a kőolaj és a villamos energia veszi át.

¹⁵ <http://www.mekh.hu/eves-adatok>



Magyarországon a megújuló energiaforrások közé a biomasszát is beleszámítják, mely bár kisebb szén-dioxid kibocsátással jár, mint a fosszilis tüzelőanyagok elégetése, mégsem mondható teljesen ártalmatlannak a környezetre. Az előállításához szükséges növényeket kétféleképpen tudják előállítani. Vagy a természetes élőhelyükről történő kitermeléssel, vagy pedig ültetvényszerű termesztéssel, amelyre különféle fás- és lágyszárú növények alkalmasak. Előbbi megoldás nem igen számít a fenntartható megoldások közé, esetleg a fenntartható, tartamos erdőgazdálkodással kinyert fa. A biomassza tehát az elégetés során

¹⁶ <http://www.mekh.hu/eves-adatok>

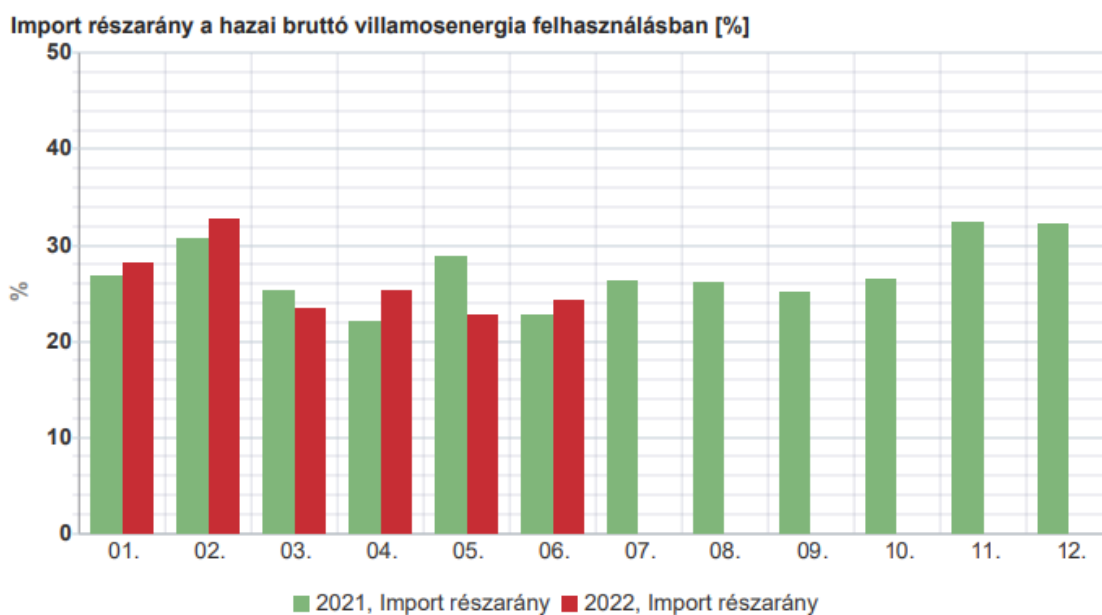
a kutatások szerint csak akkora mennyiségű szén-dioxidot juttat a levegőbe, melyet a növények a fotoszintézis során elhasználtak. Viszont a hasznosítása ez alapján csak a légköri szén-dioxid mennyiségének szinten tartásával biztosított.¹⁷

Jól látszik, hogy 2012 óta összességében növekedés, de esetenként stagnálás jellemzi a megújuló energiaforrásból előállított villamos energia részarányát a végső fogyasztáson belül. Ezen 8 év alatt 5,8%-kal növekedett a megújulók részaránya. Ugyanezen időszakot vizsgálva a fűtésre és hűtésre vonatkozó részarány csökkent, mint ahogyan az a 2. táblázaton is látszik, 2020-ban a fűtésre használt energia 59,21%-a földgázból származott. A földgáznak pedig 81,30%-át importból szerzi be Magyarország. Tehát ez az érték nagyrészt külföldről származó forráshoz köthető, mely további többletköltséget jelent az országnak, ahelyett, hogy ezt az erőforrást további megújulóba, vagy éppen csak saját, akár nukleáris energia előállítására fordítaná.

2016-os adatok alapján Magyarország szénimportfüggősége 34,5%-ra tehető. A kőolaj importfüggőség a legnagyobb fosszilis függőségét jelenti európai szinten. Magyarország kőolaj importfüggősége 81%, ez jóval alacsonyabb több EU-s országnál is, ahol ez az érték meghaladja akár a 90%-ot is. A hazai földgázimport függőség 79% volt 2016-ban, ezzel 19 országnál jobb értéket értünk el az EU-ban. Az EU bruttó belföldi felhasználásának 35,8%-a köthető a kőolajhoz, melynek 83,0%-át importból kell fedezniük. (Deák, 2020).

Fontos megjegyezni, hogy az elmúlt években az Unió legnagyobb exportőre Oroszország volt. Viszont ez a jelenlegi háborús helyzet következtében bevezetett EU-s szankciók miatt megváltozni látszik, ugyanis jelentősen mérsékeltek az Oroszországból importált fosszilis energiahordozók mennyiségét. Emiatt azonban minél előbb új energiaforrás felé kell néznie az uniós tagállamoknak, különösen, ha ez a helyzet állandósul, akkor is képesek legyenek szükségleteiket megfelelően ellátni.

¹⁷ <http://www.legszennevezes.hu/biomassza-es-hatasa-legszennevezesre/>



7. ábra: Import részaránya a hazai bruttó villamosenergia felhasználásban

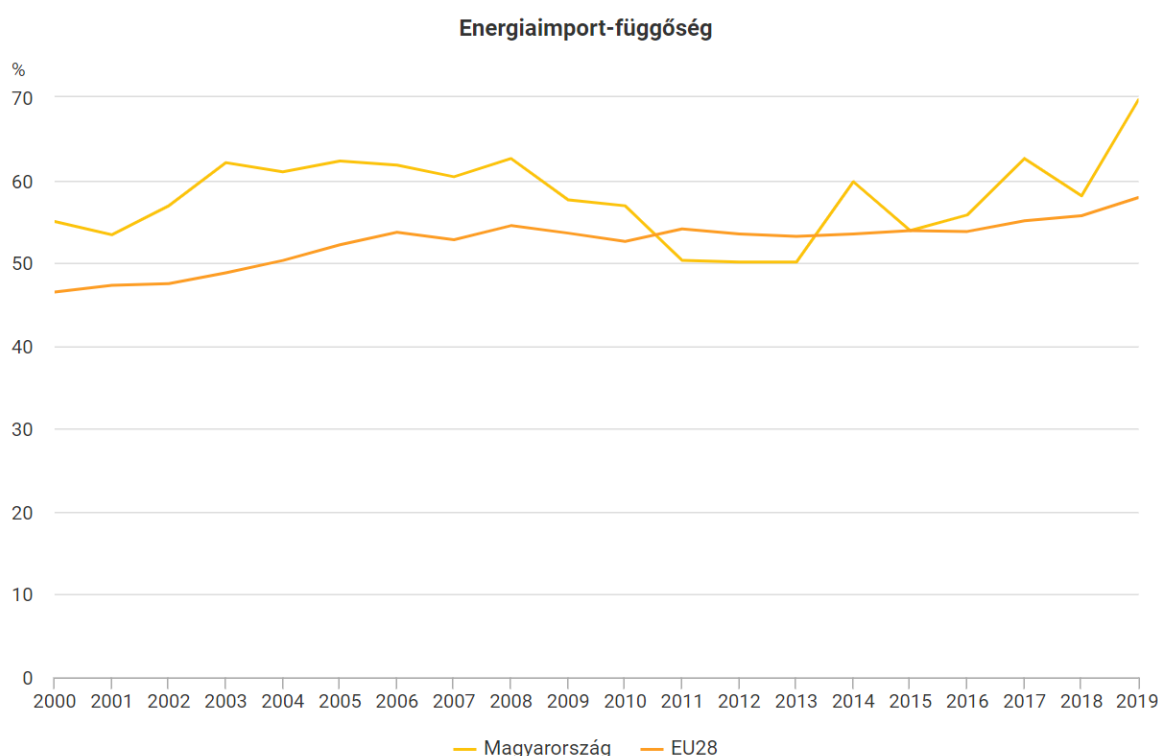
2021-2022

Forrás: MAVIR¹⁸

A MEKH megállapította, hogy a 2021-es évben Magyarország importfüggősége csökkenően volt, majd ez a tendencia megváltozott 2022-re, és a függőség tovább növekedett.¹⁹ A MAVIR (Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt.) 2022 júniusáig tartó felmérésének adatai alapján jól látszik, hogy március és május kivételével minden hónapban meghaladta a 2022-es év importja a 2021-esét. Ez a növekvő függőség, leginkább az ország sebezhetőségét növeli, hiszen a folyamatos import, az ország külkereskedelmi mérleg egyenlegét rontja és ezzel szorosan összefüggve a forintot gyengíti, habár ennek van pozitív adósság infláló hatása is. Összeségében tehát hosszútávon az ekkora mértékű energiafüggőség nem fenntartható, így a hazai nukleáris és megújuló erőforrások fejlesztésére és az energiahatékonyságra kellene nagy hangsúlyt fektetni.

¹⁸ <https://mavir.hu/web/mavir/import-export-energia-szaldo-reszaranya>

¹⁹ <http://www.mekh.hu/eves-adatok>



8. ábra: Energiainport függőség Magyarországon EU-s viszonylatban 2000-2019 között

Forrás: KSH²⁰

Ahogy az a fenti ábrán is látszik, Magyarország magas energiainport függőséggel rendelkezik az EU-n belül is. 2011-2013 között volt csak az elmúlt közel 20 évben olyan, amikor kevesebb volt ez az összeg hazánkban, mint uniós szinten, akkor is csak 3-4% közé volt tehető a differencia. 2015-ben volt a vizsgált időszakban az első és egyetlen egyezés, amikor Magyarország függősége pont az EU átlag függőségével volt egyenlő, ez pontosan 53,9% volt. A fenti értékben nem szerepel az uránium importálása.

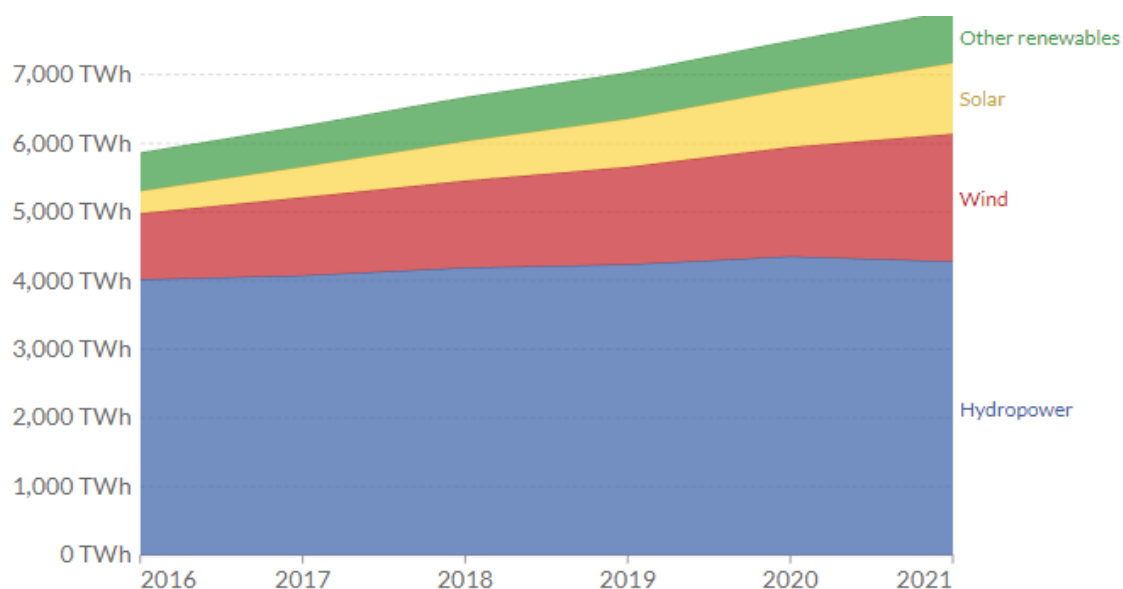
Összeségében tehát megállapítható, hogy mind a világ mind az EU, mind a hazai fogyasztás legnagyobb részét még napjainkban is a fosszilis energia hordozók adják. A fenti adatok alapján jól látszik, hogy a nukleáris energiával történő villamosenergia-termelés részaránya is növekvő tendenciát mutat, amely fontos szerepet fog játszani világszinten, ha a fosszilis forrásaink elapadni látszanak. Ezek mellett viszont a megújuló energiaforrások

²⁰ <https://www.ksh.hu/sdg/3-35-sdg-7.html>

is összességében növekvő irányt mutatnak, mely szintén fontos forrást jelent majd a fosszilisok kimerülését követően. Valamint addig is további megújuló energiaforrásokba lenne érdemes fektetni, hogy mind a termelés mind a felhasználásból egyre nagyobb lehessen a megújulók részaránya.

2.3. ENERGIATERMELÉS

A világon egyre több ország törekszik a maga módján tenni a fenntartható energiagazdálkodásért és a lehető legjobban csökkenteni a fosszilis primer energiafelhasználást, illetve energiahordozók által előállított elektromos áramot, ugyanakkor, ahogy az előző fejezet is taglalja, arányosítva nem sikerült a megújulóknak globálisan teret hódítania.



9. ábra: Megújuló energia előállítás világ szinten 2016-2021

Forrás: Our World in Data²¹

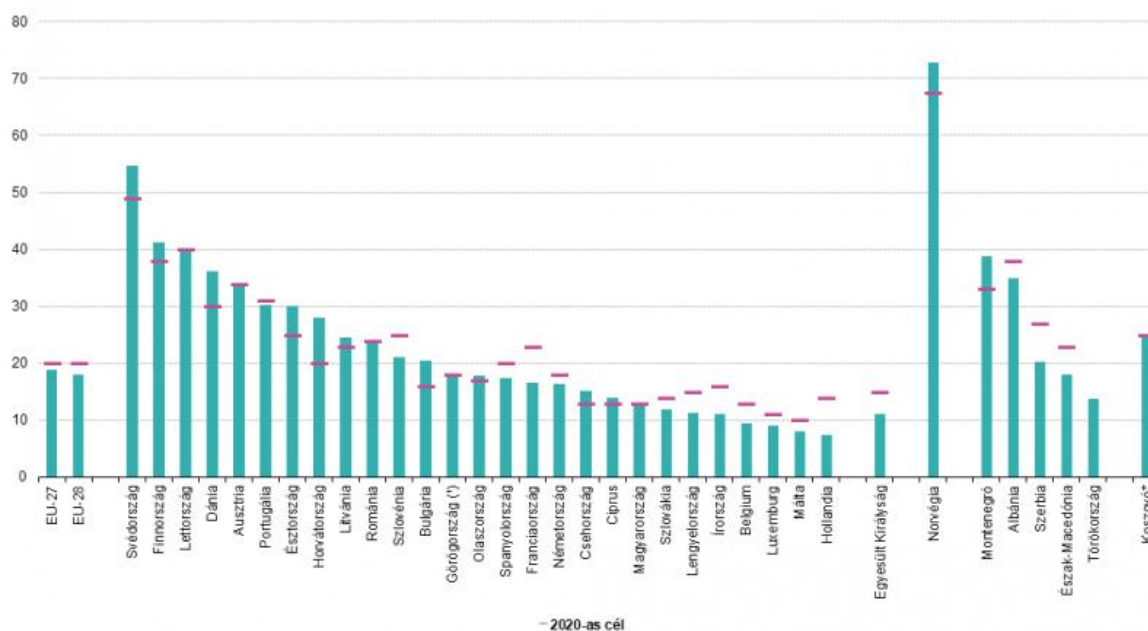
A megnövekedett megújuló energiatermelést jól szemlélteti a fenti ábra is, mely a világ megújuló energia termelését mutatja. 2016-ban összesen 5 862 TWh volt ez az összeg, melynek legnagyobb részét a vízenergia adta 4 012 TWh-val, szélből 962 TWh, napból 328

²¹ <https://ourworldindata.org/renewable-energy>

TWh míg egyéb megújulókból 560 TWh származott. Ez 2021-re tovább növekedett, összességében 35,12%-kal termeltek többet megújuló energiából a világban. Ennek 53,96%-a volt a víz, 23,51%-a szél, 13,04%-a nap és 9,63%-a az egyéb megújuló energiaforrás.

A megújuló energiával előállított villamosenergia-mennyiség tehát világ szinten növekedni látszik, amely fontos szempontot jelent a későbbi megújulókból származó felhasználás növekedésének lehetőségében is.

A megújuló energiaforrásokból előállított energia részaránya, 2018
(a teljes bruttó energiafogyasztás százalékában)



* Ez a megnevezés nem érinti a jogállással kapcsolatos álláspontokat, továbbá összhangban van az 1244 (1999) sz. ENSZ BT-határozattal és a Nemzetközi Bíróságnak a koszovói függetlenségi nyilatkozatról szóló véleményével.

(*) Becslés.

Forrás: Eurostat (online adatkód: ilc_lvho05a)

eurostat

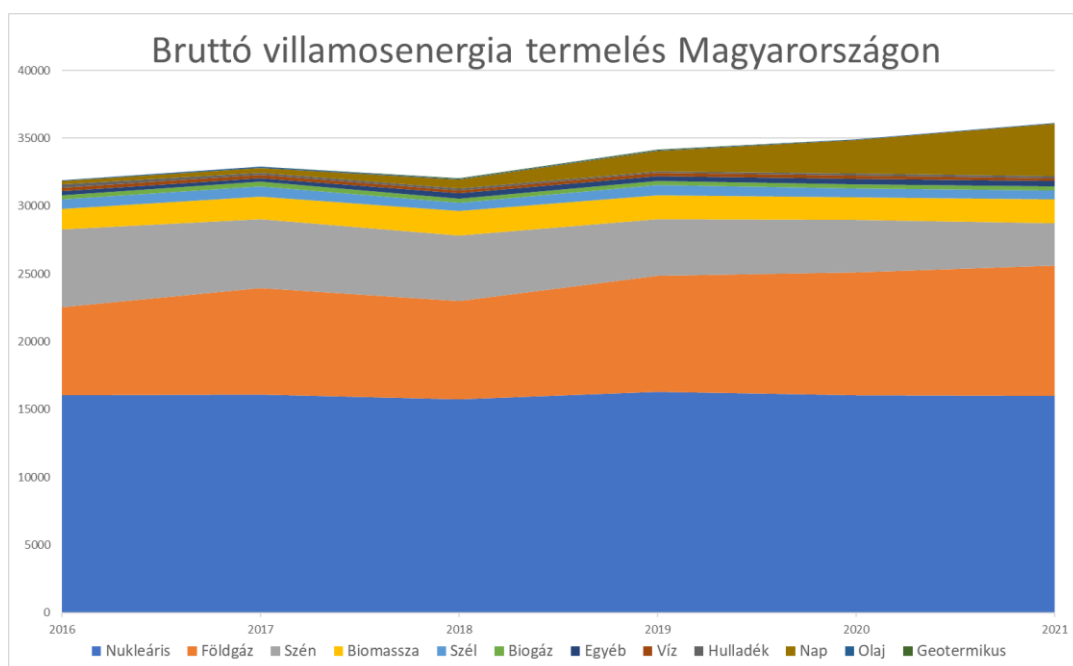
10. ábra: A megújuló energiaforrásokból előállított energia részaránya 2018-ban

Forrás: eurostat²²

A 9. ábrán az európai országok megújuló energiaforrásból előállított energiamennyisége látható 2018-ban a 2020-as cél viszonylatában. Magyarország már 2018-ban is elérte a 2020-as megújuló erőforrásból előállított energia célját, ebben elsősorban a napenergia növekedés játszott szerepet. Ezzel lekörözte többek között Szlovákiát, Lengyelországot

²² https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/hu&oldid=483584

vagy éppen Írországot is. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy jelentősen lemarad olyan országoktól, amelyek politikai és gazdasági érdeke is a megújulókra való átállás. Ilyenek például a skandináv országok, az ő sikerük a politikai és lakossági támogatottságból származik, valamint a jól kihasznált földrajzi fekvésből. Nem véletlen, hogy a teljes megújulóenergiára való átállás szempontjából 2021-ben Norvégia volt a legaktívabban, ahol a felhasznált energia 56%-a már megújuló energiaforrásból származott.²³ Viszont megújuló energiatermelésben és felhasználásban Izland számít világelsőnek, ugyanis 99,96%-ban megújuló, pontosabban víz és geotermikus energiából fedezi fogyasztását.²⁴



11. Bruttó villamos energiatermelés Magyarországon 2016 és 2021 között gigawattórában

Forrás: KSH alapján saját szerkesztés²⁵

²³ <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/renewables-2021-dataset>

²⁴ <https://adventures.is/blog/geothermal-energy-iceland/>

²⁵ https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0009.html

Hazánkat vizsgálva, kiemelve a 2016-os, 2018-as és 2020-as adatokat, látszik, hogy míg 2016-ban a nukleáris energiatermelés a teljes villamosenergia termelés 50,32%-át tette ki, addig ez 2018-ra 1,2%-kal csökkent, 2020-ra pedig további 3,15%-kal esett vissza. A fosszilizsek vizsgálatánál is hasonló eredményre jutunk csak kisebb léptékű a csökkenés. 2016-ban 38,55% volt, 2018-ra ez 0,54%-kal csökkent, 2020-ra pedig további 0,89%-kal. Ezek mellett a megújulók folyamatosan növekedtek, így 2016-ban 10,21%-ról 2018-ra 1,54%-kal gyarapodott, majd 2020-ra pedig további 4,05%-kal nőtt a megújulókból előállított villamosenergia a teljes termeléshez.

Összeségében tehát a termelést és a felhasználást összevetve látható, hogy bár a termelés lassú léptékben, de folyamatosan áll át a fosszilizsekről a nukleárisra és a megújulóra, addig a felhasználás terén ez nem vehető észre, hiszen még mindig a fosszilizsek adják a fogyasztásunk legnagyobb részét. Így a jövőben az jelenthet egy következő lépést a fenntarthatóság érdekében, hogy a fogyasztásunkat a lehető legnagyobb mértékben állítsuk át a kevésbé szennyező nukleáris és a megújuló energiából előállított energiák felé.

2.4. SZÉLENERGIA

Az első szélenergiával történő villamos energiatermelés a 19. század végére tehető, az első váltakozó áramú szélturbinát pedig Dániában építették 1950-es években. A szélenergiát a megújuló energiaforrások sikertörténetének is szokták nevezni. Nagy növekedést is mutatott részaránya 1991 óta, ugyanis a világ teljes kapacitása 2 GW-ról 20 GW-ra nőtt. (Gross et al., 2003)

Ezen időszakban a világ teljes energia fogyasztását vizsgálva láthatjuk az egyértelmű növekedést.²⁶ 1992-ben 107816 TWh volt, ez 2003-ra 21685 TWh-val növekedett. Mindez a 2019-es év viszonylatában további 43839 TWh-val gyarapodott, így tehát ebben az évben 173340 TWh-t tett ki.

Ez idő alatt, Magyarországon is növekedett az energiafelhasználás,²⁷ 1992-ről 2003-ra, 31,5 TWh-ról 200 TWh-ra, azaz 168,5 TWh-val gyarapodott, majd 2019-ben 208,5 TWh-ra nőtt. Ebből a megújulók aránya 1992-ben 0,7%-volt, mely mérték az évek során

²⁶ <https://ourworldindata.org/energy-mix>

²⁷ https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0001.html

többször stagnálást mutatott, mégis összeségében 0,9%-ra növekedett 2003-ra.²⁸ Itt is jól látszik, hogy a vizsgált időszak alatt a teljesítmény megtízszereződött, amire nem más, mint a felhasznált energia folyamatos növekedése adott első sorban okot.

A szélerőművek telepítésénél fontos szerepet játszik a helyszín, ugyanis a rosszabb tulajdonságokkal rendelkező területeknek nagyobb a költséghányadosa a hatékonyabbakéval szemben, mivel a rendelkezésre álló energia a szélesebségtől függ. A jobbnak minősített, szelesebb helyek általában a tengerpartok mentén, hegygerinceken és a pusztaságokban találhatók. Mint az már korábban is említésre került a szélenergia egyik nagy hátrányaként szokták említeni, hogy nem tárolható. Erre lett kialakítva az Ocean Battery nevű megoldás, az Ocean Grazer holland startup csapat által, mellyel a tengerfenéken van mód a megtermelt energia tárolására. Ezt egy tengerfenék alatti és a fenéken elhelyezkedő tározók és csövek segítségével valósítják meg. A folyamat során, egy vízzel teli tartályt helyeznek a tengerfenékre, majd az energia tárolásának érdekében az Ocean Battery kiszivattyúzza a vizet a tartályból, küzdve a tenger nyomása ellen. Ha pedig energiára van szükség a víz visszatér a tartályba így elindítva a turbinákat, mindezt akkor, amikor az áramra szükség van és nem csak akkor, amikor fúj a szél.²⁹ Erre vannak már szárazföldi példák is, melyek hasonló alapokra épülnek. Az éppen nem szükséges energiával vizet pumpálnak egy magasabb területen levő tárolóba, majd, ha újra szükség van az energiára akkor a víz lefele haladásával képződő nyomás által egy turbinát forgat, mely újból képes megtermelni az áramot. Viszont minden ilyen energia tartalékolási folyamattal az energia veszít a mennyiségéből.³⁰ Így tehát bár van mód az úgymond túltermelt energia tárolására, de ez minden esetben bizonyos mértékű veszteséggel jár.

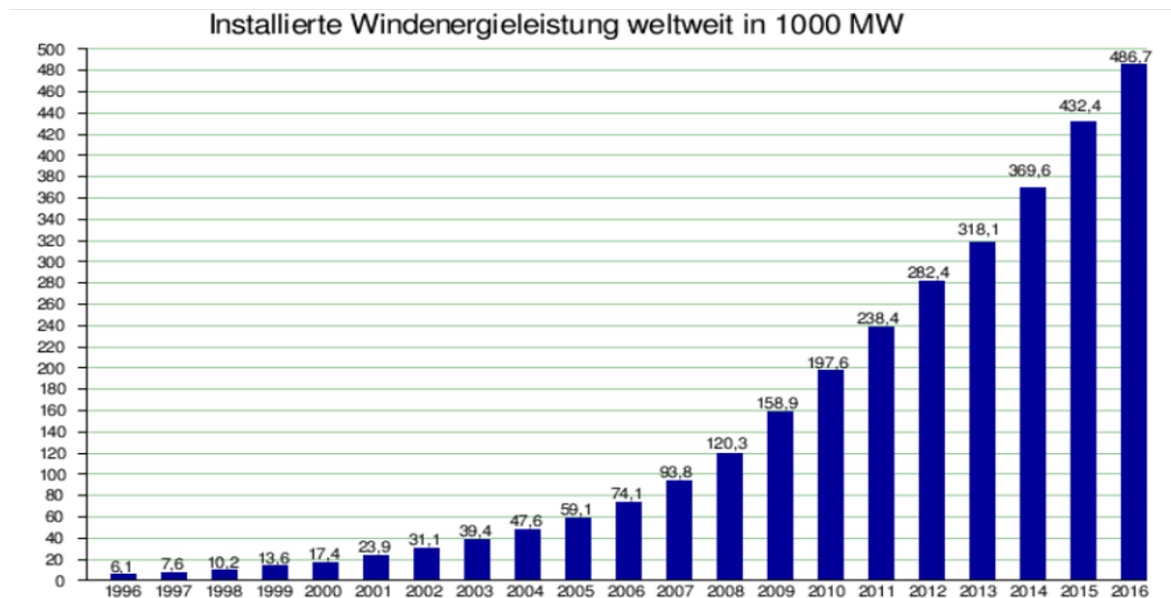
Egy atomerőmű esetén átlagosan 90%-os kapacitás tényezővel számolhatunk, mely értéket úgy kapjuk meg, hogy a meghatározott időszak alatt termelt energiát osztjuk azzal az energiamennyiséggel, amelyet akkor kapnánk, ha maximálisan folyamatosan működne az erőmű. Mindez a szélerőműveknél, még ha jó helyre is telepítjük őket akkor is csak 30% körüli lehet (Timmons et al., 2014). Tehát ahhoz, hogy a szélerőművek fel tudják venni a

²⁸ https://www.ksh.hu/docs/hun/eurostat_tablak/tabl/tsien050.html?lang=hu

²⁹ <https://greenfo.hu/hir/igy-lehet-a-tengerben-tarolni-a-szeleromuvek-energiajat/>

³⁰ <https://xforest.hu/energiatarolas/>

versenyt az atomerőművekkel, további szélenergia parkok telepítésére lenne szükség világ szerte, hatékony helyszíneken.



12. ábra: Üzembe helyezett szélenergia kapacitása világszerte

Forrás: EMSZET, 2018³¹

Ahogy az a fenti ábra is mutatja, a szélenergia telepítése az elmúlt 20 évben folyamatosan, egyre gyorsuló ütemben növekedett. A szélenergia tehát a világ egyik legdinamikusabban fejlődő megújuló energiaforrása, mely már a felzárkózó területekre is kiterjedt megoldást jelent. (Bokor, 2010). Ez tehát a világban leginkább azokon a területeken, ahol az adottságok miatt megfelelően ki tudják használni, egy olyan megújuló energiaforrást jelent, melyre leginkább csak a felépítéskor kell időt és energiát fordítani, hiszen működése közben csak elenyésző karbantartási munkálatok merülnek fel.

A világ szélenergia kapacitás vizsgálatakor megállapítható, hogy mind 2014-ben mind 2018-ban Kína állt az első helyen, azt követően pedig az Egyesült Államok majd Németország. Első változás e 4 év alatt a negyedik helyen következett be, ahol is 2014-ben

³¹ http://magyarenergetika.hu/wp-content/uploads/2018/04/klubdelutan/StelczerBalazs_Szeleromu_Eloadas_rovid.pdf

még Spanyolország állt,³² majd 2018-ra helyet cserélt a korábban ötödik helyen levő Indiával.³³ Magyarország mindkét évben a 45. helyen volt található.

2.5. ATOMENERGIA

Egyes adatok alapján, ha tovább növeljük a megújuló energiaforrásainkat a világban, akkor elérhető lehet a globális hőmérséklet emelkedés 2 °C alatt tartása. Viszont, ha bevonjuk az atomenergiát is, akkor idővel ezt a hőmérsékletet visszatornázhatjuk a 1,5 °C alá is (Saidi-Omri, 2020).

Az Európai Parlament 2022-es ülései alatt elutasította azt az indítványt, mely megakadályozta volna, hogy az atomenergiát a zöldenergiák közé sorolják.³⁴ Ezt támadta többek között a német környezetvédelmi miniszter is, mondván, hogy az elfogadás során nem foglalkoztak az esetleges nukleáris baleseteknek a környezeti hatásaival, ahogyan a radioaktív hulladék hatástalanításával sem.³⁵

Radioaktív hulladékok jönnek létre az atomreaktorok fűtőelemeinek az előállítása során, valamint az egyes fűtőelemek kiegészét követő feldolgozás során is (M Nagy-Kónya, 2019). A különböző radioaktív hulladékok elhelyezésénél a legfontosabb szerepet az játsza, hogy a környezetet és az embereket ne érje káros sugárzás, így például, olyan mutatók által tudják ezeket vizsgálni, mint a gyermekhalandóság, vagy éppen a várható élettartam (Yessenamanova, 2020). Ezeket a radioaktív részecskéket semmilyen kémiai, vagy mechanikai folyamattal nem lehet megsemmisíteni. Csupán radioaktív bomlás során, vagy további atomrészecskékkal való bombázás útján semmisülnek meg véglegesen (Rao et al., 2022).

Nukleáris balesetek közül a legismertebbként és legpusztítóbbként a csernobili katasztrófát lehet említeni. Az itt kialakult helyzetben a robbanás során 2 ember vesztette életét, majd közel 300 főt szállítottak sugárfertőzéssel kórházba, melynek következtében további 31-54 fő halt meg. Mindemelett a pajzsmirigyrákos esetek száma is ebben az időszak-

³² https://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/02/GWEC_GlobalWindStats2014_FINAL_10.2.2015.pdf

³³ <https://web.archive.org/web/20190725142309/https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf>

³⁴ <https://www.europarl.europa.eu/hungary/hu/aktualis/2022-hirek/2022-julius/a-foldgaz-es-az-atomenergia-bekerulhet-az-unios-taxonmiaba-dontott-a-parlament.html>

³⁵ <https://klimapolitikaiintezet.hu/cikk/zold-atomenergia-fenntarthato-energiaforras>

ban 10 000-20 000 fő közé tehető, mely bár nem bizonyítható, hogy feltételen a sugárfertőzés miatt alakult ki, mégis nagy valószínűséggel annak tudható be. Emellett az atomerőmű körüli 30 km-es körzetben evakuálásra volt szükség (Farkas, 2022). Ez a példa alapján is látszik, hogy bár nem minden naposak az ilyesfajta káresemények, mégis egy atomerőmű mellett folyamatos készenlétben kell állni a hasonló esetek kiküszöbölésére, valamint kezelésére. Elsősorban óvóhelyet és evakuálási lehetőséget kell biztosítani a közeli körzetekben élők számára (Ohba et al., 2021).

Másik híres atombaleset a fukusimai atomerőműben történeken alapul. Itt 2011-ben egy földrengés miatt kialakult cunami károsította meg az atomerőművet, amelynek következtében a védelmi rendszerek nem működtek, így robbanások következtek be, és a csernobilihoz mérhető radioaktív anyag mennyiség került a környezetbe. Hivatalosan senki nem vesztette életét, a robbanásokban 13-an sérültek meg, valamint több mint 160 000 embert kellett kimenekíteni, közülük pedig 40-en a kimenekítést követően veszítették életüket.³⁶

Így tehát megállapítható, hogy bár az atomerőmű működése során nem bocsát ki számottevő CO₂ mennyiséget, mégis a működéséhez nélkülözhetetlen anyagok nagyobb kárt is tudnak okozni a környezetnek.

Jelenleg is zajlik hazánkban a Paks II néven ismert paksi atomerőmű kibővítése további két reaktorral. A beruházás következtében előreláthatóan képes lesz az ország importfüggőségének csökkentésére, a folyamatosan növekvő áramigényének kielégítésére, mindemellett pedig versenyképes megoldást is képes lesz biztosítani a többi fosszilis energiaforrással szemben. Mindezt megfizethető áron és klímabarát módon. Emellett “Fukusima-ál-lónak” minősítették a projektet, duplafalú védőépületekkel készülnek a megvalósításra.³⁷ Tehát ha az ígért előnyöket a projekt a megvalósulása után valóban tudja majd tartani, akkor ezáltal lehetőség lehet a jelenlegi megnövekedett energiaárak csökkentésére, illetve az atomebalesetek kiszűrésére is. Valamint a tervek szerint a villamosenergia igények 40%-át lesz képes kielégíteni az atomerőmű, tehát jó eséllyel a további megújuló energiaforrásokba való befektetés is meg fog valósulni a jövőben hazánkban.

³⁶<https://www.greenpeace.org/hungary/blog/8033/fukusima-10-evvel-a-katasztrofa-utan-meg-mindig-tobb-a-kerdes-mint-a-valasz/>

³⁷ <https://www.paks2.hu/10-%C3%A9rv-paks-ii.-mellett>

3. táblázat: Az atom- és a szélenergia összehasonlítása

Atomenergia		Szélenergia	
<i>pozitív</i>	<i>negatív</i>	<i>pozitív</i>	<i>negatív</i>
Nagyon alacsony a közvetlen szén-dioxid kibocsátása	Radioaktív nukleáris hulladék	Nincs felhasznált üzemanyag, így ennek kisajtolása és felhasználása ingyenes és környezetbarát	Veszélyes lehet a vadvilágra (vándorlási útvoalat akadályoz)
Kicsi a szárazföldi lábnyoma (1000 mw-os létesítmény ~ 1,5 négyzetkilométer, míg egy ugyanekkora teljesítményű szélpark több, mint 300-szor akkora helyet foglal)	A technológia elterjedésével nő a kockázata a nukleáris fegyverkezésnek	Technológiája miatt ott-honi felhasználásra is alkalmas	Zajos, ugyanakkor a technológia fejlődésével ez javult eddig
Állandó energiát képes nyújtani, továbbá képes kiszolgálni a változó keresletet	Terrorcselekmények potenciális célpontjai az atomerőművek, ahogy az uránbányák és dúsítók	Magánföldéken való telepítése plusz bevételt jelent a földtulajdonosnak	Magas előzetes költség-gel jár
Még középtávon sem helyettesíthető, vagy kiváltható teljesen megújulókkal	Balesetveszélyes (Csernobil)	Csökkenti a fosszilis tüzelőanyagoktól való függést	Drága a rendszerre kapcsolása
A jövőben várható energiaszükséglet megugrás kezelésében kulcs szerepe van	Megfelelő védekezés nélkül a rák kockázata magasabb ebben az iparágban dolgozóknál	Végtelen mennyiségű energia állítható belőle elő	Kiszámíthatatlan, szakaszos termelési kapacitás
A fosszilis erőművekhez képest jóval kevesebb nyersanyag szükséglete van	Környezetszennyező életciklus	Magáncégek is lehetnek üzemeltetők, illetve fejleszthetik a technológiát	Látkép romboló
Urániumból a jelenlegi felhasználás mellett még évezredekig lesz elég	Üzemeltetése erősen függ a környezeti adottságoktól	Növekszik a konverziós hatásfoka, már 50%-ra is képesek egyes erőművek	Telepítése és várható hatékonysága erősen területfüggő
	Az atomenergiába fektetett tőke, elvonást jelent a megújulókra való átállástól	Alacsony karbantartási igény	

Forrás: Saját szerkesztés Schmitz-Feuerhake et al., 1997, és Spix et al., 2008 alapján

Az atomenergia pozitívumai között említhető többek között, hogy a szén-dioxid kibocsátásának mértéke nagyon alacsony, főleg, ha a jelenleg még sok helyen használatos fosszilis energiaforrásokhoz hasonlítjuk, illetve, hogy jóval kevesebb szárazföldi helyet von el, mint egy ugyanakkora teljesítményű szélerőmű park.³⁸ Emellett mivel folyamatosan képes energiatermelésre így nehezen váltható ki más energiatermelési formákkal, valamint a működéséhez nélkülözhetetlen uránium, egyes források szerint, még jó ideig rendelkezésre áll a Földön.³⁹

A szélerőművek előnyei között más fajta érvek is felsorakoztathatóak. Többek között amellett, hogy nincs felhasznált üzemanyag, és jóval környezetbarátabb, mint energiatermelő társai, nagyon alacsony karbantartási igénnyel rendelkezik. Képes már otthoni felhasználásra is termelni, illetve többlet jövedelmet jelent a magánföld tulajdonosoknak, ha a földjükre telepítik. Végtelen mennyiségű energia megtermelésére képes, illetve a technológia gyors fejlődése miatt az elérhető kapacitás is folyamatosan növekszik.

Az atomenergia hátrányai legfőképpen környezeti jellegűek, elsősorban a felhasznált urán miatt, ugyanis az atomerőművek telepítésével megnő a nukleáris balesetek kockázata, illetve a káros megbetegedéseknek a lehetősége. Ha nagyobb baleset következik be, akkor a környezetszennyezés mellett, emberi életbe is kerülhet a technológia alkalmazása. Mindemellett, minden egységnyi tőke, melyet az atomerőmű telepítésébe, illetve karbantartásába fektetnek, elvonást jelent a megújulókra való átállás lehetőségétől.

A szélerőművek negatívumai között szerepel, hogy erősen rontja a látképet, illetve, hogy több madárfajra is pusztító hatást gyakorolhat, emellett zajhatást kelt, mely miatt is korlátozásokba ütközhetnek a telepítése során. Valamint, mivel mezőgazdasági területeken történik a telepítésük, a termőföldekből is jókora mennyiséget vonnak el. Ezen felül telepítése és rendszerre kapcsolása igen költséges, valamint teljesítménye is kiszámíthatatlan, hiszen az eseti időjárási feltételektől függ.

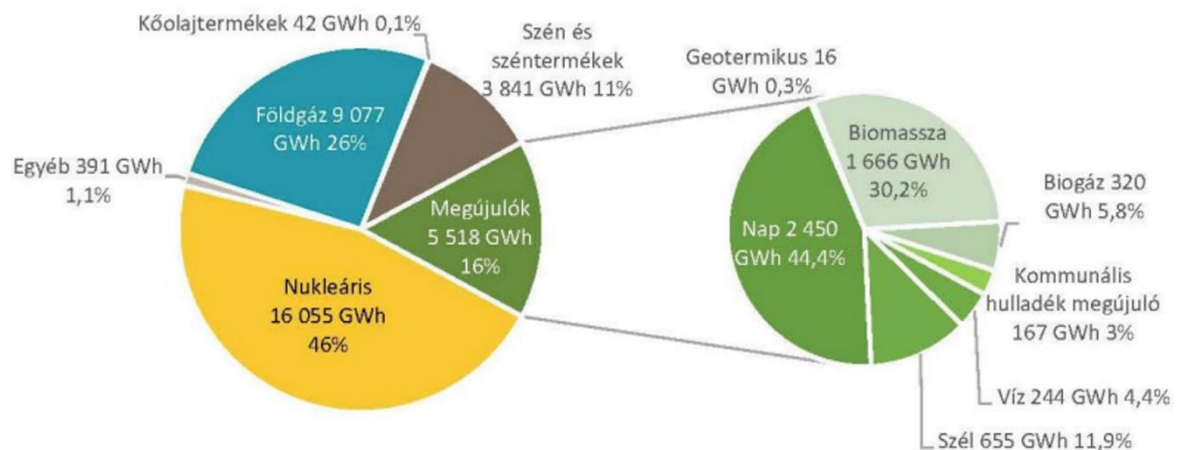
Összeségében tehát mindkét energiatermelési forrásnak vannak jó számmal előnyei és hátrányai is, ugyanakkor egymás mellett lehetőségük van csökkenteni a fosszilizektől való függést és az elmozdulást a megújulók irányába.

³⁸ <https://www.nei.org/news/2015/land-needs-for-wind-solar-dwarf-nuclear-plants>

³⁹ <https://www.scientificamerican.com/article/how-long-will-global-uranium-deposits-last/>

3. SZÉL- ÉS ATOMENERGIA HELYZETE MAGYARORSZÁGON

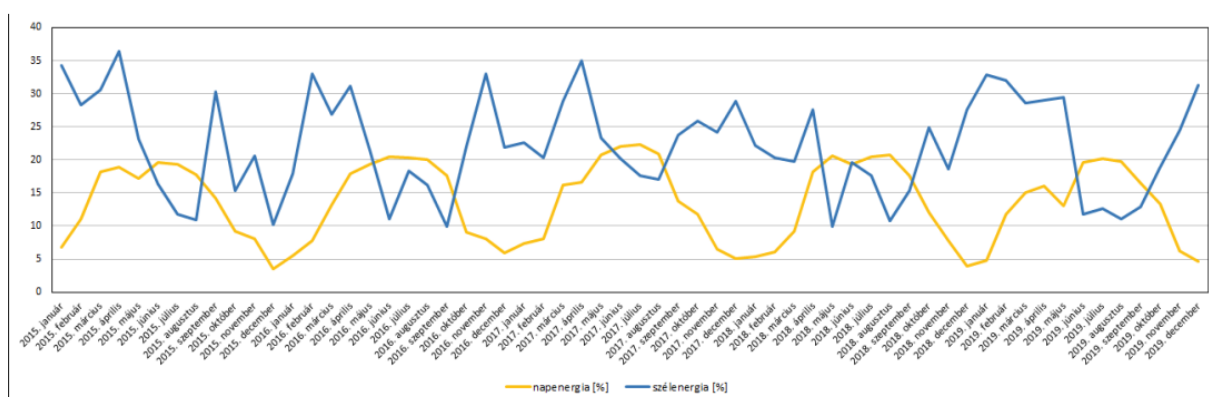
Hazai adatok alapján, ahogy a 12. ábra is szemlélteti, a teljes villamosenergia termelésnek a 16%-a az, ami megújuló energiából származik. Ezt kiemelve pedig csak 11,9% a szélenergia részaránya. A szélenergia a többi megújulóval szemben hazánkban nem örvend nagy politikai támogatottságnak, de még így is több villamos energia származik belőle, mint a még kevésbé népszerű vízenergiából.



13. ábra: Bruttó villamos energiatermelés megoszlása energiahordozók szerint hazánkban, 2020 (GWh)

Forrás: Kiss, 2021

Ahogy a 13. ábra is százalékosan mutatja a napenergia nyáron nagyobb kapacitással rendelkezik, míg a szélenergia éppen, hogy télen tud nagyobb eredményt produkálni. Pont emiatt a ciklikusság miatt, a kettőt egymás kiegészítő energiaforrássként szükséges használni.



14. ábra: Napelemek és szélturbinák termelése Magyarországon, napi adatok alapján havi bontásban

Forrás: MAVIR alapján Munkácsy, 2020

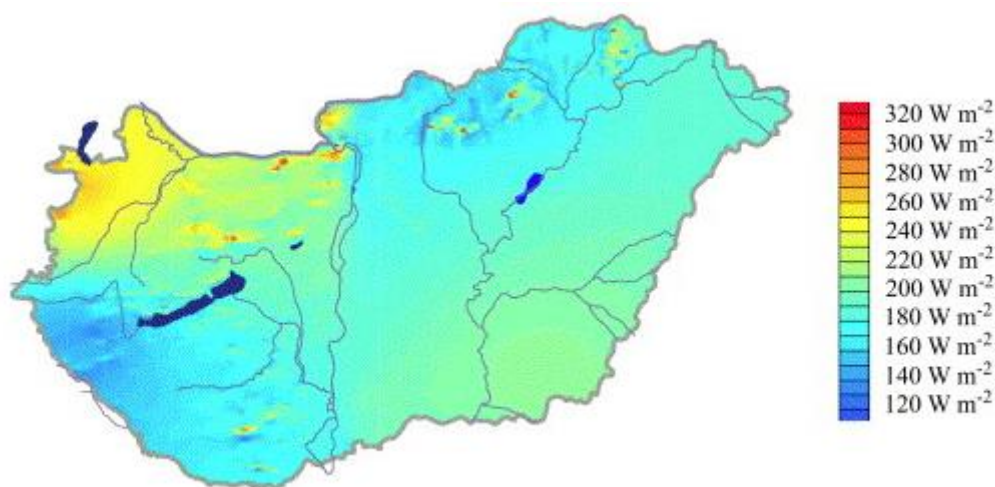
Magyarországon a jelenlegi szélörműpark tagjaiként a 2000-től 2013-ig tartó folyamat során felépített erőműveket értjük. Azóta nem történt előrehaladás a telepítéseikkel kapcsolatban. Mindez adatokban azt jelenti, hogy 329 MW/év kapacitást tudunk így elérni szélörművekkel az országban. Az ezekből származó hálózatra adott villamos energia megközelítőleg 650-750 GWh évente (Eurostat 2019 alapján Bartek-Lesi et al., 2019).

Magyarországon komoly szabályozások vannak érvényben a szélörművek és szélörműparkok telepítésével kapcsolatban, melyet a következő kormányrendelet fogalmaz meg. 277/2016. (IX. 15.) Kormányrendelet alapján, szélörművet, vagy szélörműparkot legalább 12 km-re a települések határától lehet telepíteni, emellett legalább 40 km-re kell elhelyezkedjen a Magyar Honvédség által üzemeltetett radaroktól, és 15 km-re a katonai repülőterektől. Két utóbbi távolságon kívül csak akkor telepíthető szélörmű és szélörműpark, ha azok létesülésükkel nem okoznak katonai és honvédelmi képesség csökkenést. Továbbá a 25/A. § szerint szélörmű, valamint szélörműpark csak mezőgazdasági területen vagy megújuló energiaforrások hasznosításának céljára szolgáló különleges beépítésre nem szánt területen helyezhető el.

Hazánkban tehát az említett 277/2016. (IX. 15.) Kormányrendelet miatt nem lehet a jelenleginél több szélörművet telepíteni. Az érvényben levő szabályozás pont úgy alakítja a térképet, hogy egy új szélörművet se lehessen már elhelyezni. Összeségében tehát jelen

szabályozások alapján nem telepíthetnek több szélérőművet vagy szélérőműparkot az országban, így a megújulók közti megoszlása sem tud érdemben változni a szélenergiának, sem a termelés sem a felhasználás viszonylatában.

Magyarország széltérképe alapján viszont lehetne találni még olyan területeket, ahova megérné új szélérőműveket, szélérőműparkokat telepíteni, hiszen több szelesebb területtel is rendelkezünk.



15. ábra: Magyarország szélenergiatérképe 120m-es magasságban

Forrás: Radics-Bartholy, 2008

A szerzők különböző magasságokban készítettek szélenergia térképeket, a fentebb látható térképen a 120 méter magasságban készült található. Ebben a magasságban mind a szélesebesség, mind a szélérő, háromszorosa a 10 méter magasan mérhető összegekhez képest. Így ez az általánosan használt magasság a szélesebességének mérésekor.

Jelenleg itthon a MSZIT (Magyar Szélenergia Ipari Társaság) adatai alapján 171 turbina található, ennek legnagyobb része a Kisalföldön, a maradék elszórtan az Alföldön és az Északi-Középhegységben, valamint a Dunántúlon helyezkedik el. Jól látható, hogy a felsorolt területek egy részén valóban magas hatékonysággal tudnak dolgozni a turbinák, ugyanakkor rengeteg a kiaknázatlan terület. A Nemzeti Energia- és Klímaterv alapján a megújuló energiaforrások arányát legalább 21%-ra akarják növelni 2030-ig, mindezt úgy, hogy a szélenergia mennyiségét továbbra sem növelik további erőművekkel. Napjainkban

viszont előtérbe került az ellenzéki oldal által, hogy mégis fontos tényező lenne a szélenergia fejlesztése hazánkban, így javaslatot nyújtottak be arról, hogy a lakott területektől ne 12 km-re hanem csak 1,6 km-re lehessen telepíteni már szélerőműveket.⁴⁰

Ezzel szemben itthon jelenleg egy atomerőmű van, mely 1980-as években kezdte meg működését, és a felhasznált villamosenergia közel 50%-ának előállításáért felelős.⁴¹ A paksi atomerőmű egyes blokkjai a következő évtizedekben megszűnnek üzemelni, ezért van szükség a Paks II néven ismert további blokkok felépítésére hazánkban, mely jelenleg is építés alatt áll. Az ötödik blokk engedélyezési eljárásai idén augusztusban megtörténtek, ezzel jogosultak lettek a terület előkészítésére, illetve további engedélyek megszerzésére is. Ezen engedélyek megszerzésével a projekt a második fázisába érkezni, az engedélyek megszerzését követő nap már el is kezdődtek a földmunkák a telephelyen (Magyar Energetika, 2022)

Az Energiaügynökség jelentése alapján hazánk jelentős szélenergia potenciállal rendelkezik, és az egyes megújuló blokkok mihamarabbi fejlesztése lehetővé tudná tenni az utolsó széntüzelésű erőművek bezárását is 2025-ig. Mindemelett pedig több megújuló energiaforrás telepítésével csökkenteni lehetne a Paksi II elhúzódó építkezéséből fakadó energiatermelésre gyakorolt káros hatást is.⁴²

⁴⁰<https://piacesprofit.hu/cikkek/klimablog/ujra-engedelyeznek-a-szeleromuveket-magyarorszagon-benyujtottak-a-javaslatot.html>

⁴¹ <https://atomeromu.mvm.hu/hu-HU/Rolunk>

⁴²https://www.portfolio.hu/gazdasag/20221004/igy-csokkentheti-magyarorszag-az-orosz-energiafuggest-570659?fbclid=IwAR23s1316aetIDg-xI_6TrXajxMkQsprsdUazDo4qvJO8LNhbmgrYaJOF4

4. TELJES ÉLETCIKLUS MODELL VIZSGÁLAT

4.1. MÓDSZERTANI HÁTTÉR

A teljes életciklus modellt (Lifetime Cycle Assessment, LCA) széles körben alkalmazzák termékek és szolgáltatások környezeti terhelésének értékelésére (Ziyadi-Al-Qadi, 2019). Általánosságban öt szakaszát különböztetjük meg, ezek a tervezés, építőanyag kitermelés, anyagfeldolgozás és az építkezés, az épület üzemeltetése végül pedig a hulladékkezelés (Chang et al., 2010). Rendszerint három módszer típus közül lehet választani alkalmazása során, ilyen a folyamat alapú LCA, az input-output LCA, valamint a hibrid LCA. A folyamat alapú LCA meghatározza az áruk előállításánál felhasznált erőforrás mennyiségét és értékeli azok káros anyag kibocsátását. Az input-output LCA a közgazdasági elemzéseknek egy bevált módszere, és mivel teljes rendszerhatárral rendelkezik így a folyamat alapú LCA problémáit kitudja küszöbölni. A hibrid LCA pedig képes, mindkét előbbi módszer hibáit kiszűrni, és így ezt már komplex termékek életciklus elemzéséhez is alkalmasnak találták (Jang et al., 2015). Yang et al. (2017) értekezésükben, ahol összehasonlították a folyamat alapú és a hibrid LCA-t arra az eredményre jutottak, hogy a hibrid LCA nem feltétlen jut pontosabb eredményre, mint a folyamat alapú LCA. Ugyanakkor Pomponi et al. (2018) rácafoztak állításukra, és bizonyították, hogy Yangék elmélete egy szélsőségesnek mondható példán alapszik, így állításuk ilyen keretek között nem állja meg a helyét, tehát a saját megállapításuk alapján a hibrid LCA igenis pontosabb eredményekhez vezet, mint a folyamat alapú LCA.

Ahogy azt fent is, illetve Treloar (1997) cikkében is bizonyításra került a hibrid módszer sokkal hatékonyabb az elemzéshez, így dolgozatomban a termék-alternatívák összehasonlítása során ezt a metodikát alkalmazva vizsgáltam a szélerőművek és az atomerőművek életciklusa alatt kibocsátott károsanyag mennyiségét.

4.2. SZÉL-ÉS ATOMENERGIA LCA MODELLEK EREDMÉNYEI

Több szakirodalom is foglalkozik különböző országokban életciklus modell felállításával számos energiaforrás tekintetében. Ezáltal több eset alapján is vizsgálható már a szélerőművek és az atomerőművek LCA elemzése.

Egy kínai példa alapján, ahol a szél, a víz és az atomenergiát vetették össze életciklus modell segítségével, megállapításra került, hogy a legnagyobb környezeti terhelést a szélerőművek generálták, azok is leginkább a felépítési és leszerelési szakaszban (Wang et al.,

2018). Egy japán példa vizsgálatakor is megállapításra került, hogy bár nem sokkal, de a szélérőművek kibocsátása magasabb értéket vesz fel, mint az atomenergia üvegházhatású gáz kibocsátása (Hondo, 2005). Másik kínai példa is hasonló eredményre jutott, vagyis, hogy a szélérőművek kicsivel, de magasabb kibocsátási értéket értek el, mint az atomerőművek (Li et al., 2021). Az Egyesült Arab Emírségek példáján is a fenti trend mutatkozik, tehát valamilyen mértékben magasabb a káros kibocsátása a szélérőműveknek mint az atomerőműveknek (Treyer-Bauer, 2016). Tehát a feltárt példák egyöntetűen azt jelzik, hogy a szélérőművek életük során nagyobb károsanyag kibocsátásért felelősek, mint az atomerőművek, megtermelt energiaegységre vonatkoztatva.

Mindemellett egy Európára végzett kutatás alapján, ahol elsősorban az emberekre mért káros hatásokat vizsgálták életciklus hatásvizsgálat alapján, megállapításra került, hogy az atomerőmű károsabbnak számít, mint a szélérőmű összességében, ezen értékekben az atomerőművek kockázati viszonyai is beletartoznak (Treyer et al., 2014). Így tehát megállapítható, hogy nem teljes az egyetértés a témával kapcsolatban, ezért a következőkben vizsgálatom tárgya a hazai helyzet lesz.

4.3. SZÉLERŐMŰVEK ÉLETCIKLUS ELEMZÉSE

Ahhoz, hogy vizsgálni lehessen, hogy a teljes károsanyag kibocsátás terén a szélérőmű vagy az atomerőmű a károsabb, a bölcsőtől a sírig, a teljes életciklus elemzés alkalmazása elkerülhetetlen. Ez alapján kiderül, hogy az egyes erőművek felépítésekor, alkatrészeik összeszerelésekor és a működtetésük során mekkora a káros anyag kibocsátás, üvegházgáz-egyenértékben.

Egy turbina átlagos élettartama 20 év, ez idő alatt több munkálatot is el kell látni, elemeket kell cserélni, melyek többlet kiadásokkal és kibocsátásokkal járnak. Mégis a teljes felépítményt nem kell újra gyártani 20 éven keresztül (Fleck-Hout, 2009). A 20 év lejártát követően három lehetséges opció között kell dönteni a szélérőmű kapcsán. Lehetséges a teljes leszerelés és selejtként értékesítés, újrahasznosítás, második lehetséges opció az, hogy az élettartamot meghosszabbítjuk, viszont ez jelentős mennyiségű többlet költséget jelenthet és az élettartam is csupán pár évvel nő meg. Egy harmadik fajta megoldás lehet, ha a teljes rendszert újraépítjük, ez természetesen a legköltségesebb variáció, viszont ezt követően a hasznos 20 év indul újra nem csupán pár évet kapunk pluszba (Leite et al., 2022).

Optimális esetben a hasznos élettartamuk akár 30 év is lehet, így a továbbiakban ezzel számolok.⁴³

A szélerőműveknél a felépítés során több alkatrésztől is gondoskodni kell, mint az alap, a torony, a gondola és a forgórész. Ezen alkatrészek előállítása jelenti a legenergiaigényesebb folyamatot, ezek közül is legnagyobb arányban, nagyjából 30%-ban a tornyok járulnak hozzá (Oebels-Pacca, 2013).

4.3.1. Előállítás

Egy erőmű alapjához 700 tonna beton, 25 tonna vas és további 15 tonna acél szükséges. Ezek közül az első kettő előállításához szükséges energia 0,4 MWh, míg az utóbbihoz 17 000 MJ kell. Egy torony átlagosan 80-120 méter magas, és összesen átlagosan 143 tonna acél szükséges hozzá, mely 170 000 MJ energiát jelent. A gondola már egy összetettebb elem, itt több részegység is azért felelős, hogy a forgási energiát elektromos energiává alakítsa át, ezek össz tömege 50 tonna, melyhez összességében 18,5 tonna vas, 21,69 tonna acél, 0,344 tonna szilícium-dioxid, 3,5 tonna réz, 0,8 tonna üvegszál, valamint 1,2 tonna gyanta szükséges. Ez összeségében 286,36 MWh-t jelent. A forgórész teljes súlya 35 tonna, mely 14 tonna öntöttvasat tartalmaz, emellett még gyanta és üvegszál található benne, összességében 33,1 MWh szükséges előállításukhoz (Martínez et al., 2009). Ez összeségében tehát 371,8 MWh-t jelent.

Ahhoz, hogy tudni lehessen mindez mekkora CO₂ kibocsátást okoz, a következő átváltási módot kell alkalmazni, miszerint 1 KWh energia = 0,35 kg szén-dioxid kibocsátással jár.⁴⁴ A korábban összesített 371,8 MWh átváltásával megkapjuk, hogy ez 371800 KWh energiát jelent. Így összességében az alapanyagok gyártása során 2 MW-os szélerőművel számolva, ez 130 130 kg CO₂ kibocsátást okoz erőművenként.

Jelenleg egyre jobban elterjedtek a nagyobb kapacitású szélerőművek, melyek már több energia megtermelésére képesek, részben magasságuk növelése miatt, részben a kapacitásuk megnövekedése által. Így tehát ha egy 5 MW-os szélerőművet veszünk alapul akkor az előállítás kibocsátása a következő képpen alakul.

⁴³ https://greendex.hu/szeleromu/?fbclid=IwAR3_NPxYN78q5x9PPYD4rWy0t0hiuI0Dz5288VR-q7FIjkCt-noTiOBX4S3Q

⁴⁴ <https://www.mnnsz.hu/1kwh-villamos-energia-05-kg-szendioxid-kibocsatas/>

A torony a példaként használt XEMC DARWIND XD115 5.0 francia szélérőmű alapján 427 tonnát nyom, ennek energiában kifejezett értékét a 2 MW-os turbina adataiból becslem, illetve az alaphoz szükséges adatok is megtartásra kerültek. Így tehát a torony előállítása megközelítőleg 507 622,4 MJ energiát jelent. A gondola összesen 184 tonna, ennek előállításához 1 053,8 MWh energiára van szükség. Míg a forgórész 97 tonnát nyom, és ennek előállítása további 91,7 MWh-át jelent. Ezek alapján tehát összesen 1 291,62 MWh energiát jelent az elemek előállítása.⁴⁵ Az energia egységére kialakított CO₂ átváltás alapján tehát ez az összeg 452 067 kg szén-dioxidot jelent.

4.3.2. Szállítás

Az egyes alkatrészek szállítása során azt kell vizsgálni, hogy milyen szállítási eszközre van szükség, hogy az alapanyagok eljussanak a gyártóegységből a telepítési helyre, valamint, hogy ezeknek a járműveknek mekkora a fogyasztása és ez alatt mennyi szén-dioxid kerül a levegőbe.

A következőkben a példa alkalmazásához a gyártóüzemtől 100 km-re elhelyezkedő szélérőművet veszek alapul. A szállításhoz pedig egy 40 tonna össztömegű nyerges tehergépjármű lett kiválasztva, mely átlagosan 25 tonna teherbírással rendelkezik.⁴⁶ A korábbiakban részletezett 2 MW-os szélérőmű súlyait összesítve 968 tonnát kapunk. Ez tehát azt jelenti, hogy egy ilyen teherbírású kamionnak 39-szer kell fordulnia, hogy a teljes szélérőművet a telepítési helyére szállítsa, természetesen egyszerre több kamion is fordulhat, a megtett kilométer attól függetlenül a továbbiakban ugyanaz marad. A szállítás során az oda-vissza utat veszem alapul, mely tehát 200 km-t jelent. Összeségében tehát a 39 fordulóval ez 7 800 km.

Mindez, ha a 5 MW-os szélérőművet vesszük alapul, melynek összesített súlya 1 448 tonna körül alakul, akkor a szállítás során a 25 tonna teherbírású kamionnak 58-szor kell fordulnia, mely tehát az oda-vissza útnak tekintett 200 km alatt 11 600 km-t jelent.

⁴⁵ <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1137-xemc-darwind-xd115-5.0#datasheet>

⁴⁶ <http://www.spedorigo.hu/jarmurakter-adatok/>

Ezek a tehergépjárművek átlagosan 27 liter / 100 km-es fogyasztást produkálnak,⁴⁷ mellyel tehát 2 MW-os erőmű esetén 2 106 liter üzemanyag fogyasztást érnek el átlagosan. A használatban lévő kamionok legnagyobb része dízelmotorral működik, így a dízel égésekor felszabaduló CO₂ kibocsátást kell figyelembe venni, mely 1 liter üzemanyag esetén 2,6 kg CO₂-t jelent.⁴⁸ Mely jelen esetben a teljes útra 5 475,6 kg szén-dioxid felszabadulását vonzza maga után.

Ha a 5 MW-os erőművet vizsgáljuk, az út során 3 132 liter üzemanyagot jelent. Mely szén-dioxid kibocsátásban mérve, 8 143,2 kg CO₂-t okoz.

4.3.3. Telepítés

Az erőművek telepítése manuálisan történik, mely nem jelent számottevő kibocsátást (Uddin-Kumar, 2014). Így ezzel a résszel a továbbiakban nem számolok.

4.3.4. Karbantartás

A turbináknál a forgórészt általában 7 évente kell cserélni (Guezuraga et al., 2012). Ezekre a köztes karbantartási munkálatokra az alkatrészek kopása miatt van szükség, melyek első sorban a forgó alkatrészeknél, vagyis a sebességváltóknál és a generátoroknál lépnek fel (Ozoemena et al., 2018). Ez azt jelenti, hogy a 2 MW-os erőmű esetén a turbinák előállításához tehát újra számba kell venni a 35 tonna, nagyrészt öntöttvasból álló forgórész elem előállításához kellő 33,1 MWh energiát, mely már önmagában is további 11 585 kg szén-dioxid kibocsátást generál.

Erre pedig további szállítási költség rakódik, hogy az új elemet a telepítési helyre szállítsák, mely 35 tonnája miatt szintén több, pontosan 2 fordulót jelent, tehát összeségében 400 km-t, 108 liter üzemanyagot és így 280,8 kg CO₂ kibocsátást okoz.

Ez a 5 MW-os szélerőműveknél, tehát az újra gyártás során forgórész 97 tonnája miatt 91,7 MWh energiát jelent és mindez 32 095 kg CO₂-t. Míg a szállítás során szintén a 97 tonna miatt 4 fordulót, 800 kilométert és 216 liter üzemanyag szükségletet okoz, mely szén-dioxidban 561,6 kg CO₂-t jelent.

⁴⁷ <http://www.nemzetkozi-szallitmanyozas.eu/mennyit-fogyasztanak-a-kamionok/>

⁴⁸ <https://mernokvagyok.hu/blog/2019/11/21/a-zero-kibocsatas-mitosza/>

Emellett még gondoskodni kell a leszerelt elem elszállításáról is. A hulladékkezelés során az acél, öntöttvas és réz 90%-a kerül újra hasznosításra, fennmaradó 10%-uk pedig hulladéklerakásra kerül (Demir-Taşkın, 2013). Mely jelen esetben tehát 90%-ban újra hasznosítást jelent, így azt a gyártóegységbe kell visszaszállítani, ez tehát a fuvarozás során nem jelent többletkibocsátást, hiszen a kamion a visszafelé vezető útján legalább nem üresjáratban közlekedik. A fennmaradó 10% pedig a hulladéklerakóba kerül, melyre jelen esetben szintén 100 km-re helyezkedik el. Ez mind a 2 MW-os turbinák, mind az 5 MW-os erőművek esetében egyszeri fordulást, tehát 200 km-t jelent. Így további 54 liter üzemanyagot és 140,4 kg szén-dioxidot okoz.

Összesen tehát egy 2 MW-os szél erőmű karbantartása alatt 12 006,2 kilogramm CO₂ kerül a levegőbe. 5 MW-os turbina esetén pedig 32 797 kg CO₂ kibocsátást generál.

4.3.5. Hulladékkezelés

Miután egy szél erőmű letöltötte élettartamát meg kell vizsgálni különböző politikai és gazdasági okokból, hogy melyik jövőkép lenne a legoptimálisabb. Ilyenkor a lehetőségek között van, hogy meghosszabbítják az élettartamot, vagyis csak az elhasználódott elemeket kicserélik, de a turbinát a helyén hagyják és a karbantartási munkálatok után folytatja tovább tevékenységét. Viszont ebben az esetben sok jogszabályi korlátozás lehet, valamint egyes alkatrészek cseréje több ideig is leállást eredményezhet a turbinában. Másik két lehetséges opció még, hogy az áramellátást újraindítják vagy pedig leszerelik az erőművet. Az újraindításnál fontos mérlegelni, hogy ha a turbinákat a hasznos élettartamon túl használjuk akkor nagy valószínűséggel a hatékonyságuk rovására megy (Ziegler et al., 2018). Éppen ezért a következőkben a leszereléssel számolok tovább.

A fentebb említett módszer áll fent a szél erőművek letöltött 30 éve utáni leszerelést követő hulladékkezelésére is. Tehát az anyagok javarészt újrahasznosításra kerülnek, míg egy részük a hulladéklerakóba kerül, emellett előfordul, hogy a beton aljzatot nem is szedik ki a földből, hanem csak nagyobb mennyiségű földdel ellepik. Tehát a 2 MW-os erőműnél nagyjából 871,2 tonna kerül újra hasznosításra, vagyis vissza a gyártóüzembe, ez tehát 35 fuvar jelent, mely további 4 914 kg CO₂ kibocsátást okoz. A fennmaradó 96,8 tonna 4 fuvarban tud a szemétklerakóba kerülni, mely 800 km összesen, így tehát további 561,6 kg szén-dioxidot produkál. Tehát összesen 5 475 kg CO₂ kibocsátás keletkezik a hulladékkezelés alatt.

5 MW-os turbina esetén, a 90%-a, tehát 1 303,2 tonna kerül vissza a gyártóegységbe, mely ezt az utat 53 fuvarban képes megtenni, így az oda-vissza úton összesen megtesz 10 600 km-t, mely 7 441,2 kg szén-dioxid kibocsátást okoz. A fennmaradó 10% pedig a hulladéklerakóba való fuvarozás során megtesz 1 200 km-t, ezzel 842,4 kg CO₂-t okozva. Együttesen tehát a hulladékkezelés szakaszban az 5 MW-os szélérőmű 8 283,6 kg szén-dioxid kibocsátásért felelős.

Egy 2 MW-os szélérőmű tehát élete során összesen 153 086,8 kg szén-dioxid kibocsátásáért felelős. Emellett pedig az előállításához szükséges 0,4049 GWh energiáért, mely gyorsan megtérül, hiszen egy szélturbina átlagosan 4 GWh-t termel évente (Martínez et al., 2009). Tehát a hazánkban telepített 171 szélérőmű összesen átlagosan 26 177,8 tonna CO₂ kibocsátásért felelős egész működése alatt, valamint körülbelül 20 520 GWh energiát termel a hasznos 30 év alatt.

Ezzel szemben a modernebbnek tekintett 5 MW-os modellek, életük során megközelítőleg 501 290,8 kg CO₂ kibocsátást generálnak.

4.3.6. Költségek

Az amerikai Cape Wind példája alapján a szélérőművek esetén a legnagyobb költséget a beruházás és az üzembe helyezés jelenti. Ebben a projektben 130 turbina található,⁴⁹ melynek az elsődleges költsége 727 millió dollárra tehető (Haughton et al., 2004). Ha tehát ezzel az árral kalkuláljuk a hazai 171 turbinára nézve, az 956,3 millió dollárt jelent. Magyarországon a legtöbb szélérőmű a 2011 és az az előtti időszakban épült, így a következőkben a 2011-ben életben lévő dollár középfolyammal számolok, mely 200,94 Ft volt. Ezek alapján tehát a jelenleg telepített szélérőművek beruházási költségei 192,2 milliárd Ft körül alakulhattak.

A fenti példa folytatásaként, a szélérőművek működési és karbantartási költségeit évi 16 millió dollárra teszik a 130 turbinára, ez tehát a hazai 171 erőműre nézve 21,1 millió dollár körül alakul, mely az említett árfolyamon 4,2 milliárd Ft-ot jelent éves szinten.

⁴⁹ <https://education.nationalgeographic.org/resource/case-study-cape-wind-project>

Továbbá a leszereléshez 300 000 dollárra van szükség erőművenként. Ez tehát itthon 51,3 millió dollárt, azaz 10,3 milliárd forint.

Tehát a jelenlegi hazai szélerőmű park a hasznos élettartama alatt, összesen 328,5 milliárd Ft költséget jelent.

Hazánk energia szerkezetének alakulására készültek különböző forgatókönyvek, melyekből az egyik a ZÖLD scenárió, amikor is az energiaszükségletét az országnak pusztán megújuló energiából vagyunk képesek fedezni. Ebben az esetben az éves működési és karbantartási költségek 35 milliárd euró körül alakulnak a feltételezések szerint (Lechtenböhrer et al., 2016).

4.4. ATOMERŐMŰVEK ÉLETCIKLUS ELEMZÉSE

Az atomerőművek felépítése egy összetett folyamat, amely során több egységről is gondoskodni kell. Kell egy épület és egy reaktor, mely az előírásoknak megfelel. Emellett nagyobb mennyiségben szükség van uránra, valamint a kiégett fűtőelemek tárolását is el kell végezni a hasznos élettartamának letöltése után. Mindezeket követően, ha az erőmű is letölti élettartamát annak a leszerelésékor is súlyos kiadásokkal és kibocsátásokkal kell szembenézni.

Egy atomerőmű hasznos élettartama alapesetben 40 év körül alakul, viszont az esetek többségében hosszabbítanak ezen az időszakon, így összességében 50 és 60 év közé tehető egy atomerőmű hasznos élettartama (Rothwell-Rust, 2012). A hosszabbítás azokban az esetekben lehetséges amikor az atomerőmű még olyan állapotban van melyet nem, vagy csak minimálisan kell felújítani (Malischek-Trüby, 2016). Így a továbbiakban az optimális esettel, vagyis a 60 évvel számolok.

Egy atomerőmű működéséhez elsősorban uránra van szükség, melyet bányászat során lehet kinyerni. 1 tonna kőzet és talaj átlagosan 1-5 gramm uránt tartalmaz, de az 1 tonna üledékben levő koncentrációja elérheti az 1 kilogrammot is (Lenzen, 2008).

A bányászt követően az uránércnek több folyamaton is át kell esnie, mint a marás, finomítás, átalakítás, üzemanyaggyártás. Ezen folyamatok során az uránt őrlik, majd különböző kémiai és fizikai folyamatok során több átalakításon is végigmegy melynek végén üzemanyagkötegek keletkeznek melyeket az atomerőművekbe szállítanak (Siddiqui-Dincer, 2017). Ezek az üzemanyagkötegek átlagosan 3-4 év alatt kiégnek, így ezeket viszonylag

gyakran cserélni kell.⁵⁰ Viszont a 1996. évi CXVI. törvény alapján nem számít radioaktív hulladéknak a kiégett fűtőelem, mivel azok újrahasznosíthatónak minősülnek.

Az atomerőművek élettartama globálisan is átlagosan 60 évre becsülhető (Wang et al., 2019). Jelenleg a Paksi Atomerőműben 4 reaktor van, ezek összesen 15 TWh energiát termelnek évente.⁵¹ Magyarországon már az 1980-as évek óta nem foglalkoznak uránbányászattal, így az atomerőműhöz szükséges uránt Oroszországból szerzi be az ország.⁵²

4.4.1. Uránbányászat

Az uránbányászat egy folyamatos tevékenység, mely során a kibányászott uránércnek csak 1%-a minősül jó minőségű résznek melyet feldolgozásra szállítanak el.⁵³ Az atomerőmű működtetéséhez szükséges bányászat során éves szinten 39 800 tonna CO₂ kibocsátás keletkezik (Wilson et al., 2014). Ez, ha az atomerőmű életének 60 éve alatt kerül összegzésre akkor 2 388 000 tonna szén-dioxidot jelent.

4.4.2. Szállítás

Egy 14 órás repülőút nagyjából 986 kg CO₂ kibocsátást jelent utasonként.⁵⁴ Egy repülőgép átlagosan 150 fő részére biztosít helyet.⁵⁵ A Budapest Moszkva vonalon a repülési idő 1 óra 57 percet vesz igénybe. Ez tehát 140,86 kg CO₂-t jelent utasonként, mely így a teljes repülőgép tekintetében 21 129 kilogramm szén-dioxidot eredményez, a gép oda-vissza útján.

Továbbá mivel a fűtőcsövek 3-4 évente kiégnek, így ezt az utat az atomerőmű 60 éve alatt 15-20-szor meg kell tenni, ami így további 369 757,5 kg szén-dioxid képez összesen átlagosan. Mindehhez adódik hozzá még a bányászat során felmerülő kibocsátás, így tehát

⁵⁰<https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Az-uranerc-banyaszatol-az-atomeromuvi-felhasznalasig.pdf?la=hu-HU>

⁵¹ <https://g7.hu/kozelet/20220216/mi-az-amit-az-atom-tud-a-megujulok-nem/>

⁵² <https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Az-uranerc-banyaszatol-az-atomeromuvi-felhasznalasig.pdf?la=hu-HU>

⁵³ <https://energiaklub.hu/files/brochure/melyikkertvegebe.pdf>

⁵⁴ <http://kislabnyom.hu/hir/egyetlen-repulout-annyi-kibocsatassal-jarhat-mint-masok-egesz-eves-karbon-labnyoma>

⁵⁵ <https://www.arcenum.com/hu/online-kiadvanyok/TenyekKonyve-tenyek-konyve-1/1988-2/vilaggazdasag-11FE/polgari-repules-150D/utasszallito-repulogek-fobb-adatai-157F/>

összesen 2 388 390,88 tonna CO₂ az, mely a levegőbe kerül az urán előállítása és szállítása közben.

4.4.3. Épület

Ahhoz, hogy pontosabb képet kaphassunk az atomerőmű életciklusához nem elég csak az uránt vizsgálni, foglalkozni kell magával az épülettel is. A Paksi atomerőmű alapterülete megközelítőleg 1,47 km². Különböző típusú építkezéseket lehet megkülönböztetni a munkafolyamatok és felhasznált alapanyagok révén, ezeknek mind más és más károsanyag kibocsátási szintje van. Egy 11 508 m² alapterületű kínai épület felépítésének példája alapján, a teljes károsanyag kibocsátás 8 702 026 kg CO₂-t körül alakul (Hong et al., 2015). Ezek, és a Paksi atomerőmű alapterületének alapján tehát az építkezés során megközelítőleg 1 111 572,6 tonna szén-dioxid kibocsátás keletkezett.

4.4.4. Reaktor

Az atomerőművek fő eleme a reaktor, melyben urán és plutónium-izotópok hasadásával keletkezik elektromos energia (Sovacool, 2008). Az urán és a plutónium hasadásakor részecskék keletkeznek, melyek egymással való ütközésük során energiát vesztenek és lelassulnak, ezáltal hő termelődik a reaktorban. Annak érdekében, hogy ezt a hőt gőzturbinába juttathassák, valamint, hogy a túlhevülés elkerülhető legyen, hűtőfolyadékot keringetnek a reaktor magon keresztül (Lenzen, 2008).

4.4.5. Leszerelés

Amikor egy atomerőmű élete lejár, hatástalanítani kell, és a leszerelésük is több éves munkát jelent. Ezekre a napokban is láthatók példák, mint Németország és Belgium esetében. Viszont míg Németország a nukleárist megújulóra cseréli,⁵⁶ addig Belgium csak az atomenergia egy újabb generációja felé hajlik.⁵⁷

Amikor egy atomerőmű leszerelésre kerül, először is, egy beadványt kell benyújtani az Európai Bizottságnak (Bond et al., 2003). Ezt követően a leszerelésnek négy fázisát különíthetjük el. Ezek az előkészítés, a leszerelés, a végleges leállítás és a támogató feladatok. Az előkészületek már a tényleges leszerelés előtt több évvel elkezdődnek, ide olyan mun-

⁵⁶ <https://hu.euronews.com/green/2021/12/30/ujabb-harom-atomeromuvet-kapcsolnak-le-nemetorszagban>

⁵⁷ <https://infostart.hu/gazdasag/2021/12/23/lekapcsolja-atomeromuveit-nehany-even-belul-belgium>

kálatok tartoznak, mint a terv elkészítése, a fűtőelemek elszállítása, a szennyeződések eltávolítása vagy épp a hatósági engedélyek megszerzése. A leszerelés feladatai közé tartoznak a tartályok és különböző szerkezeti egységek szétszerelése, épületrészek lebontása, valamint a hulladék szállításra való előkészítése. A végleges leállításhoz tartoznak a különböző tárolóegységek megtervezése és megépítése, az ezekhez kellő hatósági engedélyek megszerzése, majd azok lezárása, valamint a hulladék elszállítása. A támogató tevékenység pedig nem egy különálló folyamatot jelöl, hanem a korábbi három fázis segítségére van, olyan feladatok tartoznak bele, mint a sugárzás mérés, a mintavételek, valamint azok elemzése, különböző adminisztrációs feladatok és a tisztítás.⁵⁸

Ezt követően kezdődnek el a munkálatok, mely során nagyjából 20 000 tonna radioaktív hulladék keletkezik, melyet a fűtőanyagokhoz hasonlóan kell ártalmatlanítani, valamint 100 000 tonna nem radioaktív hulladék elhelyezéséről kell gondoskodni (Lenzen, 2008).

A radioaktív hulladékok szállításában nem merül fel számottevő kibocsátás, ugyanis általában telephelyen belül kerülnek raktározásra. Ebben a folyamatban a szállítás és a tárolás minden részénél különös figyelmet kell fordítani arra, hogy az előírásokat szigorúan betartsák, hiszen, ha ezekben az anyagokban a szállítás vagy a rakodás közben sérülés történik az komoly fertőzésekhez vezethet.⁵⁹ A fűtőcsöveknek tehát a kiégésük után a tárolásukról is gondoskodni kell, erre a Paksi Atomerőműnél került kialakításra egy tároló a KKÁT vagyis a Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója, melyben a kiégett elemeket 50 évig lehet eltárolni. De mielőtt ideszállítanák a fűtőcsöveket azokat több évig pihentetni kell. Majd egy erre a célra tökéletesített geológiaiailag inaktív területen kialakított földalatti tározóban kell őket több mint kétszázezer évig tárolni.⁶⁰ Ilyen lerakó még csak tervben van a világon több országban is. Jelenleg Finnországban már zajlanak is az építési folyamatok.⁶¹ Ez a végleges nukleáris hulladéklerakó bár tervben van hazánkban, előre láthatóan csak

⁵⁸ <https://atombusiness.hu/atombusiness-tudastar/atomeromu-leallitasa-es-leszerese-a-legfontosabb-feladatok>

⁵⁹ <https://paks2.hu/documents/20124/60046/19.%20fejezet%20-%20Radioakt%C3%ADv%20hullad%C3%A9kok%20%C3%A9s%20ki%C3%A9gett%20kazett%C3%A1k%20kezel%C3%A9se%20%C3%A9s%20elhelyez%C3%A9se.pdf/35cf2276-0b8f-5040-ef61-8b329822ef3e>

⁶⁰ <https://novekedes.hu/elemzesek/mi-tortenik-a-paksi-atomhulladekkal>

⁶¹ <https://magyarnemzet.hu/mozaik/2022/05/finnorszag-elkesziti-a-vilag-else-atomsirjat>

2083 körül fogják átadni.⁶² A KKÁT-t pedig az átadása óta folyamatosan bővítik, 2012-es adatok alapján 4 modulonként történik, mellyel közel 2 000 db új kazetta tárolása érhető el. A tároló összesen 33 kamra felépítésére alkalmas, és egy 2012-es adat alapján 7 027 kazetta volt akkor elszállásolva a tárolóban.⁶³

A felhalmozódott 100 000 tonna hulladék elszállításáról való gondolkodáskor, ha egy 100 km-re elhelyezkedő hulladéklerakót veszünk alapul, akkor a fentebb már említett paraméterek alapján a következő képen alakul. A kamionok teherbírása 25 tonna, tehát 100 000 tonna elszállítása érdekében 4 000-szer kell megtenni az oda vissza utat. Ez alapján a teljes úthossz 800 000 km-t jelent. Ha a kamion 100 km-en 27 litert fogyaszt átlagosan, akkor az említett távon összesen 216 000 liter dízelt használ el. Ez a mennyiség szén-dioxidban mérve, az 1 liter / 2,6 kg CO₂ átváltás alapján, 561,6 tonna CO₂-t jelent.

Tehát egy atomerőmű megközelítőleg élete során 3 500 525 tonna CO₂ kibocsátásért felelős.

4.4.6. Költségek

Mindezek mellett érdekes feltevés lehet mindezt megvizsgálni pénzügyileg is. A Paks II beruházás egy 10 milliárd eurós összeget jelentett, mely nagyjából 9,7 milliárd dollárnak felel meg. Ehhez az ország 8 milliárd dolláros hitelt kapott Oroszországtól, viszont a fentmaradt közel 2 milliárd dollárt hazánknak kellett előteremtenie.⁶⁴ Mindez az akkori, vagyis 2014-es árfolyamon 485 milliárd forint volt.⁶⁵ Majd emellé jön még a hitel törlesztése is, mely összesen 21 évre szól, és hét évenként van felosztva a törlesztendő rész. Az első 7 évben 25, a következőben 35, az utolsó 7 évben pedig a 40%-át kell egyenletesen kifizetni a felvett összegnek. Ezt tovább terheli a kamat összege, mely 2026-ig csupán 3,95%, ezt követően növekszik szintén hét éves ciklusokban 4,5%, 4,8% és 4,95%-ra. Mindezen feltételek mellett a törlesztést az országnak legkésőbb 2026-ban el kell kezdenie (Munkácsy et al., 2021). Mindez egy 2021 tavaszi törvénymódosítás alapján kisebb változásokon ment át. A törlesztés megkezdése 2031-re tolódott, valamint a törlesztési idő is lerövidült 16 évre. A kamatlábak összege nem változott, csupán a törlesztendő rész alakult át, az első két évben

⁶² <https://novekedes.hu/elemezsek/mi-tortenik-a-paksi-atomhulladekkel>

⁶³ https://www.energiainfo.hu/bovult_a_kiegett_kazettak_atmeneti_taroloja_pakson-26942/

⁶⁴ <https://hu.euronews.com/2021/10/01/toresvonal-nem-all-szilard-labakon-paks-2>

⁶⁵ <http://www.mnbkozeparfolyam.hu/arfolyam-2014-09.html>

a felhasznált összeg 10%-át négy egyenlő részben, a következő 7 évben már a 40%-át 14 részben és az utolsó 7 évben az 50%-át szintén 14 egyenlő részletben.⁶⁶ Mindezen változásokat a kormány a beruházás jelentős csúszása miatt igyekezett meghozni. A továbbiakban a megadott törlesztési ciklusok és a kamatok alapján becsült értékkel számolok tovább a felépítés költségére, mely megközelítőleg 2 627,8 milliárd forint összértéket vesz fel.

Működési költségek közé a Paks I kapcsán az eredménykimutatás adatait veszem alapul, melyből csak a 2015-ös – mint legfrissebb – áll rendelkezésre. A működési költségek kiszámításához a személyi jellegű és az anyagköltségek összegét veszem figyelembe.⁶⁷ Ez tehát a 2015-ös adatok alapján összesen 102,7 milliárd Ft volt.⁶⁸ Melyet tehát ha alapul veszünk a hasznos 60 év működési költségeihez, akkor összesen átlagosan 6 162 milliárd forintot kapunk.

Az atomerőmű leszerelésekor is nagyobb költségek merülnek fel, mely várhatóan hazánkban is nemsokára esedékes lesz, a Paksi atomerőmű kapcsán. Egy amerikai példa alapján ez az összeg 400 millió és 1 milliárd dollár közé tehető, mely tartalmazza a közegészség fenntartását és a telephely rendezést is (Lordan-Perret et al., 2021). Egy másik tanulmány szerint ez az összeg a felépítés 1/4-ének felel meg (Lenzen, 2008). Ez alapján tehát a hazai eset, 700 millió dollár és 586,25 milliárd forint átlaga. E két példa alapján tehát mostani átlagos árfolyamszint mellett, átlagosan 275,6 milliárd forintra tehető az atomerőmű leszerelési költsége.

Tehát az atomerőmű élete során megközelítőleg 9 065,4 milliárd forint nominálértéken, mely felhasználásra kerül a teljes folyamat és a hasznos 60 év alatt.

A korábban említett Magyarországra készített scenáriók között található olyan is mikor az atomenergiával számol, ez az ATOM scenárió. Itt csak atomenergiából finanszírozzuk felhasználásunkat és hazánkban több erőmű is kialakításra kerül. Eszerint az elmélet szerint az éves működési és karbantartási költségek 43 milliárd euró körül alakulnak (Lechtenböhrer et al., 2016).

⁶⁶ <https://index.hu/gazdasag/2021/05/13/varga-mihaly-paks-bovites-orosz-hitel-torlesztes/>

⁶⁷ http://kfib.hu/uploads/a_paks_ii_beruhazas_koltsegvetes-politikai_kovetkezmeyei.pdf

⁶⁸ https://e-beszamolo.im.gov.hu/oldal/kereses_megjelenites?b=a3e8G973zeGGLk73oiOjVg%3d%3d&so=1&o=Mp1rZDkUcX2vk3epaDcEmw%3d%3d

4.5. LCA MODELLEK ÖSSZESÍTÉSE

Összesítve tehát az életciklus elemzések eredményeit, mindkét energia termelési forma más szempontból tesz jót, és más szempontból jobb a másiknál. A könnyebb szemléltetés érdekében egy infografikát készítettem a korábbiakban feltárt adatok segítségével.

Ha az összevetés során 60 évet vesszünk alapul, mely az atomerőmű működését jelenti, akkor ez idő alatt, egy szélerőművet kétszer kell telepíteni, leszerelni majd újra telepíteni.

Ez idő alatt az egyik legfontosabb tényező, hogy mennyi elektromos áramot lehet velük előállítani. Így tehát a vizsgált 60 év alatt az atomerőmű előállít 900 TWh áramot, míg a jelenleg telepített szélerőművek csupán 41,04 TWh elektromos áramot képesek termelni. Ahhoz, hogy csupán szélerőművekből lehessen kinyerni az atomerőmű által megtermelt áram mértékét, legalább további 3 579 darab turbinát kéne telepíteni, mely hely hiányában nem a legjobb megoldás.

Tehát míg a 60 év alatt az atomerőmű 3 500 525 tonna CO₂ kibocsátásért felelős, addig ez a hazánkban jelenleg telepített 171 darab szélerőmű tekintetében 52 355,6 tonna szén-dioxidot eredményez. Ha csak ezt az egy kritériumot vennénk alapul, és nem a megtermelt energia egységére, hanem a jelenlegi állapotra koncentrálnánk, akkor abban az esetben megállapítható lenne, hogy a szélerőművek telepítése jóval kisebb károsanyag kibocsátással jár. Viszont a pontos összehasonlítás érdekében a megtermelt energia egységére vonatkoztatva végezzük el az összehasonlítást. Ebben az esetben a 3 750 darab szélerőmű által kibocsátott CO₂ a számításba vett 60 év alatt összesen csupán 1 148 149 tonnát eredményez. Tehát egyértelműen kijelenthető, hogy a szélerőmű környezetbarátabb megoldást tud jelenteni, mint az atomerőmű, ugyanannyi elektromos áram megtermelése során a szélerőmű károsanyag kibocsátása csupán 32,8%-a az atomerőmű CO₂ kibocsátásának.

Mindemelett a költségek vizsgálata sem elhanyagolható. Az atomerőmű teljes költsége a példák alapján 9 065,4 milliárd forint körül alakul a 60 éve alatt, építkezéstől kezdve a működtetésen át a leszerelésig. Emellett, ha a szélerőműveket nézzük, és szintén az atomerőmű 60 évét vesszük viszonyítási alapnak, akkor ez idő alatt a 171 db jelenleg telepített szélerőmű teljes költsége 657 milliárd forint körülire tehető. Ha pedig a fentebb említett 3 750 darab szélerőművet vizsgáljuk költségszinten, akkor az 14 407,9 milliárd forint költsé-

get jelent a 60 év alatt. Tehát a példából jól látszik, hogy a szélerőművek költségviszonylatban viszont nem jelentenek jobb megoldást, ugyanis a 158,9%-át jelentik az atomerőmű teljes költségének.



16. Ábra: Infografika a szél- és atomerőmű életciklus elemzésének eredményeiről

Forrás: Saját szerkesztés

5. A KUTATÁS KORLÁTAI

Dolgozatomban igyekeztem az elérhető legjobb forrásokkal dolgozni, ugyanakkor a témában fellelhető források és szakcikkék rendkívül szerte ágazóak és nagyon gyakran ellentmondásosak. Mindemellett a téma teljeskörű átláthatóságához műszaki és egyéb szaktudás is nélkülözhetetlen, melyek nem álltak rendelkezésemre, ezért is számít jelen dolgozat csupán elméleti modellnek.

Továbbá tisztában kell lenni azzal is, hogy a szél- és atomerőművek mivel más más funkciókat látnak el egy ország energiamixében, ahogy Magyarországon is, ezek helyettesíthetősége rövid távon kizárólag elméleti síkon lehetséges, ugyanakkor érdekes felvetés. Hosszabb távon azonban a megfelelő szabályozási és műszaki háttérrel előfordulhat, hogy az energiamixből lassan elnyomja a megújulók súlya az atomot, de kiszorítani teljesen sosem fogja, leginkább mert korlátozottan tud csak rendelkezésre állni ez a fajta energiaforrás.

Kutatásom során felhasznált adatok mindegyike becslésként kezelendő. Ugyanis nem állt rendelkezésemre teljesen pontos információ sem az életciklus szakaszai kapcsán sem pedig a költségek kapcsán egyik energiaforrás tekintetében sem. Így adataimat több forrás felhasználásával, sok esetben külföldi példák alapján, illetve többször fiktív adatok használatával oldottam meg. Bár eredményemet összességében relevánsnak tekintem, a mértani különbségek egyes források egyes mérőföldkövei között eltérőek lehetnek.

A becsléseket tovább torzítja, hogy a szélerőműveket rendszerre kell kapcsolni, annak érdekében, hogy az energia eljusson a felhasználóig. Egy ilyen volumenű infrastruktúrafejlesztéshez tartozó rendszerkiépítésre, melyet a dolgozat is vizionál, megfelelő műszaki-szaktudás és szakcikkék hiányában csak közelítő becslést sem tudtam adni.

6. KONKLÚZIÓ

Az Ukrajnában folyó harcok következményei, bizonyították Magyarország mind elektromos, mind gáz energia oldali sebezhetőségét. Emiatt releváns megvizsgálni, milyen fejlesztésekkel lehet ezt a kitettséget csökkenteni. Dolgozatomban azt vizsgáltam, hogy milyen feltételek mellett lehetne az atomerőművet szélenergiaforrásokkal helyettesíteni, illetve ezen két energiatermelési forma életciklus elemzése által károsanyag kibocsátásuk és költségeik alapján kerültek értékelésre.

4 táblázat: Szél- és atomerőmű kibocsátás és költség összehasonlítása

60 év alatt	Szélenergia		Atomerőmű	
	CO ₂ kibocsátás (tonna)	Költségek (milliárd Ft)	CO ₂ kibocsátás (tonna)	Költségek (milliárd Ft)
Beruházás	1 017 043,8	8 429,8	1 151 393,7	2 627,8
Működtetés	90 043,8	5 526,3	2 348 569,7	6 162
Leszerelés	41 061,4	451,8	561,6	275,6
Összesen	1 148 149	14 407,9	3 500 525	9 065,4

Forrás: Saját szerkesztés

A 3. táblázatban a 3 750 darab szélenergiaforrás CO₂ kibocsátás, illetve költség adatai láthatók az atomenergiaéval szemben, mindez az atomerőmű hasznos 60 éve alatt került vizsgálat alá, tehát ezen esetben a szélenergiaforrásokat kétszer kell telepíteni.

Ezen adatok alapján látszik, hogy a szélenergia környezeti szempontból egyértelműen jobb megoldást tud nyújtani, míg gazdasági szempontból jobb megoldás az atomenergia. Tehát, ha a 3750 db szélenergiaforrást viszonyítjuk az atomerőműhöz, akkor az atomerőmű által kibocsátott szén-dioxid mennyiségének csupán csak a 32,8%-a az, amelyet a szélenergiaforrások bocsátanak ki. Ugyanakkor a szélenergiaforrások költségei, az atomerőmű összköltségéhez viszonyítva, annak 158,9%-a, tehát nem gazdaságosabb.

Bár a vizsgált szakirodalmak nagyrészt ellentétes megoldásra jutottak, ez egy dolognak tudható be. Az elemzésben olyan országok vettek részt, amelyekben a megújuló energia, és így a szélenergia részaránya is jóval magasabb az energiatermelésben, mint hazánkban. Ugyanis, mint az a hazai példából is látszik, ha a 3 750 darab szélenergiaforrást vizsgáltuk

még az sem érte el az atomerőmű károsanyag kibocsátási szintjét, tehát az említett országokban a megújuló energiával előállított villamosenergia nagyobb részesedéssel kell jelen legyen az energiatermelésben, mint az atomenergia.

Összességében tehát megállapítható, akár, ha csak a szélenergia és az atomerőművet vizsgáljuk, akár, ha az összes energiaforrást, mint áramtermelő lehetőség, az atomenergiára feltétlen szüksége van az országnak, hiszen ekkora mennyiségű elektromos áramot nincs más olyan forrás, mely elő tudna állítani. Emellett az atomerőművek költségeibe nem kerültek beleszámításba a baleseti kockázatok, ahogy a szélenergia esetében sem az esetlegesen okozott ökológiai károk. Ettől függetlenül, ha a jövőben az állam inkább a megújuló energiaforrásokba fektetne, egy idő után el tudnánk érni azt az áramszintet, melyet Paks állít elő. Ehhez viszont óriási szemléletváltásra és hatalmas beruházásokra lenne szükség, mely az épülő Paks II mellett nem egy várható cél.

Dolgozatomban bizonyítást nyert, hogy habár jól hangzik a teljes megújuló energiatermelésre való átállás, korántsem megvalósítható itthon, hiszen sem hely, sem tőke nem áll rendelkezésre egy ekkora mértékű beruházásra. Illetve az energiatermelés ciklikussága miatt a hibrid, azaz a hagyományos és a megújuló energiaforrásokon alapuló rendszer tovább fejlesztése a legmegtérülőbb. Következtetés képpen kijelenthető, hogy a szélenergia Magyarországon saját adottságai miatt, illetve a jelenlegi korlátozások miatt, nem lesznek képesek a közel jövőben nagyobb részt vállalni a hazai energiatermelésben.

IRODALOMJEGYZÉK

Szakirodalom

- Achkari, O., & El Fadar, A. (2020). Latest developments on TES and CSP technologies—Energy and environmental issues, applications and research trends. *Applied Thermal Engineering*, 167, 114806.
- Anufriev, I. S. (2021). Review of water/steam addition in liquid-fuel combustion systems for NO_x reduction: Waste-to-energy trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110665.
- Bagher, A. M., Vahid, M., & Mohsen, M. (2014). Geothermal energy. *Journal of Engineering and Technology research*, 6(8), 146-150.
- Bartek-Lesi, M., Mezősi, A., Pató, Z., Szabó, L., & Szajkó, G. (2019). Megújulóenergia-felhasználás Magyarországon: A későn jövők előnye?. *Vezetéstudomány/Budapest Management Review*, 50, 46-60.
- Bhatia, S. K., Palai, A. K., Kumar, A., Bhatia, R. K., Patel, A. K., Thakur, V. K., & Yang, Y. H. (2021). Trends in renewable energy production employing biomass-based biochar. *Bioresource Technology*, 340, 125644.
- Bokor, L. (2010). Megújuló energiaforrások Paradigmaváltás, avagy egy elfelejtett rendszer kényszeradaptálása?
- Bond, A., Bussell, M., O'Sullivan, P., & Palerm, J. (2003). Environmental impact assessment and the decommissioning of nuclear power plants—a review and suggestion for a best practicable approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 23(2), 197-217.
- Brown, P. M., & Cameron, L. D. (2000). What can be done to reduce overconsumption?. *Ecological Economics*, 32(1), 27-41.
- Chang, Y., Ries, R. J., & Wang, Y. (2010). The embodied energy and environmental emissions of construction projects in China: an economic input–output LCA model. *Energy policy*, 38(11), 6597-6603.
- Deák, A. (2020). Az Európai Unió energiainport-függőségének vizsgálata az ezredfordulót követően. *Területi Statisztika*, 60(04), 425-460.
- Demir, N., & Taşkın, A. (2013). Life cycle assessment of wind turbines in Pınarbaşı-Kayseri. *Journal of Cleaner Production*, 54, 253-263.
- Farkas, C. B. (2022). A vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris (CBRN-) balesetek és rendkívüli események közvetlen és közvetett, a környezetre, valamint az egészségügyre gyakorolt hatásai= Direct and Indirect Environmental and Health Care System Impact of Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Incidents. *HADMÉR-NÖK: KATONAI MŰSZAKI TUDOMÁNYOK ONLINE FOLYÓIRATA*, 17(1), 67-82.
- Fleck, B., & Huot, M. (2009). Comparative life-cycle assessment of a small wind turbine for residential off-grid use. *Renewable energy*, 34(12), 2688-2696.
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50.
- Gross, R., Leach, M., & Bauen, A. (2003). Progress in renewable energy. *Environment international*, 29(1), 105-122.

- Guezuraga, B., Zauner, R., & Pölz, W. (2012). Life cycle assessment of two different 2 MW class wind turbines. *Renewable Energy*, 37(1), 37-44.
- Haughton, J., Giuffre, D., Barrett, J., & Tuerck, D. G. (2004). An economic analysis of a wind farm in Nantucket Sound. Beacon Hill Institute at Suffolk University, Boston, MA.
- Hohmann, B. (2016). A túlfogyasztás jelensége középiskolás diákok körében. Öt pécsi középiskolában végzett kérdőíves vizsgálat eredményei (Overconsumption among secondary school students. Results of a survey performed in five secondary schools in Pécs). *Szociális Szemle*, 9(1-2), 129-142.
- Hollósy, Zs., Kiss, L., Poór, J., (2021) Az energia és megújuló energia termelésének és felhasználásának aktualitásai, várható tendenciái a világon és az EU-ban, *TÉR GAZDASÁG EMBER*, 2021/1, 9, 35-49
- Hondo, H. (2005). Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. *Energy*, 30(11-12), 2042-2056.
- Hong, J., Shen, G. Q., Feng, Y., Lau, W. S. T., & Mao, C. (2015). Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: A case study in China. *Journal of cleaner production*, 103, 249-259.
- Jang, M., Hong, T., & Ji, C. (2015). Hybrid LCA model for assessing the embodied environmental impacts of buildings in South Korea. *Environmental Impact Assessment Review*, 50, 143-155.
- Kiss, E. (2021) A napenergia városi integrálásának jelenlegi helyzete, Magyar Napelem Napkollektor Szövetség
- Lechtenböhmer, S., Prantner, M., Schneider, C., Orsolya, F., & Fanni, S. (2016). Zöld Magyarország: energia Útiterv.
- Leite, G. D. N. P., Weschenfelder, F., de Farias, J. G., & Ahmad, M. K. (2022). Economic and sensitivity analysis on wind farm end-of-life strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112273.
- Lengyel, I., & Varga, A. (2018). A magyar gazdasági növekedés térbeli korlátai–helyzetkép és alapvető dilemmák. *Közgazdasági Szemle*, 65(5), 499-524.
- Lenzen, M. (2008). Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review. *Energy conversion and management*, 49(8), 2178-2199.
- Li, Q., Duan, H., Xie, M., Kang, P., Ma, Y., Zhong, R., ... & Vuppalaadiyam, A. K. (2021). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of a 40 MW wind farm with consideration of the infrastructure. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110499.
- Lordan-Perret, R., Sloan, R. D., & Rosner, R. (2021). Decommissioning the US nuclear fleet: Financial assurance, corporate structures, and bankruptcy. *Energy Policy*, 154, 112280.
- M Nagy, N., & Kónya, J. (2019). Környezeti radioaktivitás. *MAGYAR KÉMIAI FOLYÓIRAT-KÉMIAI KÖZLEMÉNYEK* (1997-), 125(2), 75-82.
- Magyar Energetika (2022) Paks II engedélyezési eljárásának újabb szakasza. Magyar Energetikai Társaság Lapja, 2022/3. lapszám
- Malischek, R., & Trüby, J. (2016). The future of nuclear power in France: an analysis of the costs of phasing-out. *Energy*, 116, 908-921.

- Mancini, M. S., Galli, A., Niccolucci, V., Lin, D., Bastianoni, S., Wackernagel, M., & Marchettini, N. (2016). Ecological footprint: refining the carbon footprint calculation. *Ecological indicators*, 61, 390-403.
- M'Arimi, M. M., Mecha, C. A., Kiprop, A. K., & Ramkat, R. (2020). Recent trends in applications of advanced oxidation processes (AOPs) in bioenergy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109669.
- Martínez, E., Sanz, F., Pellegrini, S., Jiménez, E., & Blanco, J. (2009). Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine. *Renewable energy*, 34(3), 667-673.
- Munkácsy, B. (2020). Szélenergia a 21. században - és Magyarországon, Energiaklub Szakpolitikai Intézet Módszertani Központ.
- Munkácsy, B., Egres, D., & Méhes, M. (2021) AZ ATOMENERGIA MŰKÖDÉSI ANOMÁLIÁI. Energiaklub Szakpolitikai Intézet Módszertani Központ.
- Oebels, K. B., & Pacca, S. (2013). Life cycle assessment of an onshore wind farm located at the northeastern coast of Brazil. *Renewable Energy*, 53, 60-70.
- Ohba, T., Tanigawa, K., & Liutsko, L. (2021). Evacuation after a nuclear accident: Critical reviews of past nuclear accidents and proposal for future planning. *Environment international*, 148, 106379.
- Ozoemena, M., Cheung, W. M., & Hasan, R. (2018). Comparative LCA of technology improvement opportunities for a 1.5-MW wind turbine in the context of an onshore wind farm. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(1), 173-190.
- Pomponi, F., & Lenzen, M. (2018). Hybrid life cycle assessment (LCA) will likely yield more accurate results than process-based LCA. *Journal of cleaner production*, 176, 210-215.
- Radics, K., & Bartholy, J. (2008). Estimating and modelling the wind resource of Hungary. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(3), 874-882.
- Rao, T. S., Panigrahi, S., & Velraj, P. (2022). Transport and disposal of radioactive wastes in nuclear industry. In *Microbial Biodegradation and Bioremediation* (pp. 419-440). Elsevier.
- Rothwell, G., & Rust, J. (1997). On the optimal lifetime of nuclear power plants. *Journal of Business & Economic Statistics*, 15(2), 195-208.
- Rybár, R., Kudelas, D., & Beer, M. (2015). Selected problems of classification of energy sources-What are renewable energy sources?. *Acta Montanistica Slovaca*, 20(3).
- Saidi, K., & Omri, A. (2020). Reducing CO2 emissions in OECD countries: Do renewable and nuclear energy matter?. *Progress in Nuclear Energy*, 126, 103425.
- Schmitz-Feuerhake I, Dannheim B, Heimers A, et al. Leukemia in the proximity of a boiling-water nuclear reactor: Evidence of population exposure by chromosome studies and environmental radioactivity. *Environmental Health Perspectives* 105 (1997): 1499-1504
- Siddiqui, O., & Dincer, I. (2017). Comparative assessment of the environmental impacts of nuclear, wind and hydro-electric power plants in Ontario: a life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 164, 848-860.
- Sovacool, B. K. (2008). Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. *Energy Policy*, 36(8), 2950-2963.

- Spix C, Schmiedel S, Kaatsch P, Schulze-Rath R, Blettner M. "Case-control study on childhood cancer in the vicinity of nuclear power plants in Germany 1980–2003." *European Journal of Cancer* 44.2 (2008): 275–284
- Timmons, D., Harris, J. M., & Roach, B. (2014). The economics of renewable energy. *Global Development And Environment Institute, Tufts University*, 52, 1-52.
- Treloar, G. J. (1997). Extracting embodied energy paths from input–output tables: towards an input–output-based hybrid energy analysis method. *Economic Systems Research*, 9(4), 375-391.
- Treyer, K., & Bauer, C. (2016). The environmental footprint of UAE' s electricity sector: combining life cycle assessment and scenario modeling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 1234-1247.
- Treyer, K., Bauer, C., & Simons, A. (2014). Human health impacts in the life cycle of future European electricity generation. *Energy Policy*, 74, S31-S44.
- Uddin, M. S., & Kumar, S. (2014). Energy, emissions and environmental impact analysis of wind turbine using life cycle assessment technique. *Journal of cleaner production*, 69, 153-164.
- Vaillancourt, K., Labriet, M., Loulou, R., & Waaub, J. P. (2008). The role of nuclear energy in long-term climate scenarios: An analysis with the World-TIMES model. *Energy Policy*, 36(7), 2296-2307.
- Vasques, R. (2014). Nuclear Energy is Renewable Energy. *Energy Research Journal*, 5(2), 33-34.
- Virágh, E. (2016). A napsugárzás felhasználása energia előállítására. *Műszaki Katonai Közlöny*, 26(1), 80-88.
- Wang, L., Wang, Y., Du, H., Zuo, J., Li, R. Y. M., Zhou, Z., ... & Garvlehn, M. P. (2019). A comparative life-cycle assessment of hydro-, nuclear and wind power: A China study. *Applied Energy*, 249, 37-45.
- Wang, L., Wang, Y., Zhou, Z., Garvlehn, M. P., & Bi, F. (2018). Comparative Assessment of the Environmental Impacts of Hydro-Electric, Nuclear and Wind Power Plants in China: Life Cycle Considerations. *Energy Procedia*, 152, 1009-1014.
- Wilson, S. A., Harrison, A. L., Dipple, G. M., Power, I. M., Barker, S. L., Mayer, K. U., ... & Southam, G. (2014). Offsetting of CO2 emissions by air capture in mine tailings at the Mount Keith Nickel Mine, Western Australia: Rates, controls and prospects for carbon neutral mining. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 25, 121-140.
- Yang, Y., Heijungs, R., & Brandão, M. (2017). Hybrid life cycle assessment (LCA) does not necessarily yield more accurate results than process-based LCA. *Journal of Cleaner Production*, 150, 237-242.
- Yessenamanova, M. S. (2020). Assessment of individual risk criteria for the disposal of radioactive waste. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 734, No. 1, p. 012169). IOP Publishing.
- Yue, M., Lambert, H., Pahon, E., Roche, R., Jemei, S., & Hissel, D. (2021). Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 111180.
- Ziegler, L., Gonzalez, E., Rubert, T., Smolka, U., & Melero, J. J. (2018). Lifetime extension of onshore wind turbines: A review covering Germany, Spain, Denmark, and the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1261-1271.

Ziyadi, M., & Al-Qadi, I. L. (2019). Model uncertainty analysis using data analytics for life-cycle assessment (LCA) applications. The International Journal of Life Cycle Assessment, 24(5), 945-959.

Zsuga, J. (2017). A FÖLDGÁZ SZEREPE A VILÁGBAN–ELEMZÉS. Muszaki Foldtudományi Közlemények, 86(2), 188-193.

Egyéb dokumentumok

<https://web.archive.org/web/20190725142309/https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf>

https://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/02/GWEC_GlobalWindStats2014_FI-NAL_10.2.2015.pdf

Jogszabályok

1996. évi CXVI. Törvény az atomenergiáról, Magyar Közlöny, p. 22343-22363
277/2016. (IX. 15.) Korm. Rendelet a szélerőművekre vonatkozó szabályok módosításáról, Magyar Közlöny 138.szám, p.68673

Internetes források

http://kfib.hu/uploads/a_paks_ii_beruhazas_koltsegvetes-politikai_kovetkezmenei.pdf

<http://kislabnyom.hu/hir/egyetlen-repulout-annyi-kibocsatással-jarhat-mint-masok-egesz-es-karbon-labnyoma>

http://magyarenergetika.hu/wp-content/uploads/2018/04/klubdelutan/StelczerBalazs_Sze-leromu_Eloadas_rovid.pdf

<http://www.legszennevezes.hu/biomassza-es-hatasa-legszennevezesre/>

<http://www.mekh.hu/eves-adatok>

<http://www.mnbkozeparfolyam.hu/arfolyam-2014-09.html>

<http://www.nemzetkozi-szallitmanyozas.eu/mennyit-fogyasztanak-a-kamionok/>

<http://www.spedorigo.hu/jarmurakter-adatok/>

<https://atombusiness.hu/atombusiness-tudastar/atomeromu-leallitasa-es-leszerelese-a-leg-fontosabb-feladatok>

<https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Az-uranerc-banyaszatától-az-atomeromuvi-felhasználasig.pdf?la=hu-HU>

<https://atomeromu.mvm.hu/hu-HU/Rolunk>

https://e-beszamolo.im.gov.hu/oldal/kereses_megjelenites?b=a3e8G973zeGGLk73oiOjVg%3d%3d&so=1&o=Mp1rZDkUcX2vk3epaD-cEmw%3d%3d

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/hu&oldid=483584

<https://education.nationalgeographic.org/resource/case-study-cape-wind-project>

<https://energiaklub.hu/files/brochure/melyikkertvegebe.pdf>
https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/hu_final_necp_main_hu_0.pdf
<https://g7.hu/kozelet/20220216/mi-az-amit-az-atom-tud-a-megujulok-nem/>
<https://greendex.hu/atomenergia-nuklearis-energia/>
https://greendex.hu/szele-romu/?fbclid=IwAR3_NPxYN78q5x9PPYD4rWy0t0hiuI0Dz5288VR-q7FIjkCtnoTi-OBX4S3Q
<https://greenfo.hu/hir/igy-lehet-a-tengerben-tarolni-a-szeleromuvek-energiajat/>
<https://hu.euronews.com/2021/10/01/toresvonal-nem-all-szilard-labakon-paks-2>
<https://hu.euronews.com/green/2021/12/30/ujabb-harom-atomeromuvet-kapcsolnak-le-nemetorszagban>
<https://index.hu/gazdasag/2021/05/13/varga-mihaly-paks-bovites-orosz-hitel-torlesztes/>
<https://infostart.hu/gazdasag/2021/12/23/lekapcsolja-atomeromuveit-nehany-even-belul-belgium>
<https://klimapolitikaiintezet.hu/cikk/zold-atomenergia-fenntarthato-energiaforras>
<https://magyarnemzet.hu/mozaik/2022/05/finnorszag-elkesziti-a-vilag-elso-atomsirjat>
<https://mavir.hu/web/mavir/import-export-energia-szaldo-reszaranya>
<https://mernokvagyok.hu/blog/2019/11/21/a-zero-kibocsatas-mitosza/>
<https://novekedes.hu/elemzesek/mi-tortenik-a-paksi-atomhulladekkal>
<https://ourworldindata.org/energy-mix>
<https://ourworldindata.org/grapher/years-of-fossil-fuel-reserves-left?fbclid=IwAR1o0PXVy0nNFHYjdRhTmm9EFYKg8jO-CUsYrsV57JbR8QZln7DvHLtl5tjs>
<https://ourworldindata.org/renewable-energy>
<https://paks2.hu/documents/20124/60046/19.%20fejezet%20-%20Radio-akt%C3%ADv%20hullad%C3%A9kok%20%C3%A9s%20ki%C3%A9gett%20kazzett%C3%A1k%20kezel%C3%A9se%20%C3%A9s%20elhelyez%C3%A9se.pdf/35cf2276-0b8f-5040-ef61-8b329822ef3e>
<https://piacesprofit.hu/cikkek/klimablog/ujra-engedelyeznek-a-szeleromuveket-magyarorszagon-benyujtottak-a-javaslatot.html>
<https://web.archive.org/web/20190725142309/https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf>
<https://worldpopulationreview.com/country-rankings/ecological-footprint-by-country?fbclid=IwAR1oxkX8B4QgN4Wd5t7Fb6SEYOkH-Phz-gYpYgommisvA-VyoacMW6Nmk-rg>
<https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/TenyekKonyve-tenyek-konyve-1/1988-2/vilaggazdasag-11FE/polgari-repuless-150D/utasszallito-repulogepek-fobb-adatai-157F/>
https://www.energiainfo.hu/bovult_a_kiegett_kazettak_atmeneti_taroloja_pakson-26942/
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/hu/sheet/70/megujulo-energia>

<https://www.europarl.europa.eu/hungary/hu/aktualis/2022-hirek/2022-julius/a-foldgaz-es-az-atomenergia-bekerulhet-az-unios-taxonmiaba-dontott-a-parlament.html>

<https://www.greenpeace.org/hungary/blog/8033/fukusima-10-evvel-a-katasztrofa-utan-meg-mindig-tobb-a-kerdes-mint-a-valasz/>

https://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/02/GWEC_GlobalWindStats2014_FINAL_10.2.2015.pdf

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/renewables-2021-dataset>

https://www.ksh.hu/docs/hun/eurostat_tablak/tabl/tsien050.html?lang=hu

<https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/jel/jel309052.pdf>

<https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/valldemog/valldemog11.pdf>

<https://www.ksh.hu/sdg/3-35-sdg-7.html>

https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0001.html

https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0009.html

<https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/hatasok-alkalmazkodas/>

<https://www.mnnsz.hu/1kwh-villamos-energia-05-kg-szendioxid-kibocsatas/>

https://www.portfolio.hu/gazdasag/20221004/igy-csokkentheti-magyarorszag-az-orosz-energiafuggest-570659?fbclid=IwAR23s1316aetIDg-xI_6TrXajxMkQsprdsdUazDo4qvJO8LNhbmgrYaJOF4

<https://xforest.hu/energiatarolas/>

<https://www.paks2.hu/10-%C3%A9rv-paks-ii.-mellett>

<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1137-xemc-darwind-xd115-5.0#datasheet>

<https://www.nei.org/news/2015/land-needs-for-wind-solar-dwarf-nuclear-plants>

<https://www.scientificamerican.com/article/how-long-will-global-uranium-deposits-last/>

<https://adventures.is/blog/geothermal-energy-iceland/>

<https://ourworldindata.org/grapher/energy-consumption-by-source-and-country>

