

SZAKDOLGOZAT

BARTALOS GELLÉRT

Vidékfejlesztési agrármérnök szak

Keszthely

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Georgikon Campus

Vidékfejlesztési Agrármérnök Szak

Magyarország és Szlovákia összehasonlítása megújuló energiák hasznosításának lehetőségeivel

Belső konzulens: Dr. habil. Bali Lóránt
egyetemi docens

Készítette: **Bartalos Gellért**
NTUYIR
nappali tagozat

Intézet/Tanszék: Vidékfejlesztés és Fenntartható
Gazdaság Intézet

Készthely 2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. Magyarország megújuló energiaforrásai.....	4
2.1. Napsütötte órák száma Magyarországon.....	4
2.2. Szélviszony és szélsébség Magyarországon	6
2.3. Magyarország vízrajzi adottságok	9
2.4. Magyarország geotermikus potenciál	10
3. Szlovákia megújuló energiaforrásai.....	13
3.1. Napsütötte órák és regionális eloszlás Szlovákiában:	13
3.2 Szélviszony és szélsébség Szlovákiában	17
3.3. Szlovákia vízrajzi adottságai	19
3.4 Szlovákia geotermikus potenciája	20
4. Magyarország és Szlovákia összehasonlítása és elemzése megújuló energiaforrások felhasználás terén	23
4.1 Villamos energia termelés	23
4.2 Összesített megújuló energia részesedése az energiaellátásban	25
4.3. Az installált kapacitások trendjének vizsgálata	26
4.4 Fogyasztás megoszlása szektorok szerint.....	28
4.5 megújuló energiafogyasztás időbeli trendje	29
4.6 CO ₂ -kibocsátás elkerülése megújuló energiaforrások által	30
5. A napelemek.....	33
5.1. A napelemek működési elve.....	33
5.2. A napelemek hatékonysága	35
5.3. Energiatárolás és hálózatra csatlakozás	36
5.3.1. Energiatárolás a napelemes rendszerekben	36
5.3.2. Hálózatra csatlakoztatás.....	37
6. Összefoglalás.....	39
Köszönetnyilvánítás.....	42
Ábrajegyzék	43
Szakirodalom.....	44
7. Internetes Források	46

1. Bevezetés

A modern társadalom folyamatos fejlődése és az emberi életminőség javulása elválaszthatatlanul összefügg az energiaigény növekedésével. Az ipari forradalom óta a világ fő energiaforrásai a fosszilis tüzelőanyagok – szén, olaj és földgáz –, amelyek gyorsan kielégítették a fejlődő ipar szükségleteit, de súlyos környezeti következményekkel is jártak. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése során jelentős mennyiségű szén-dioxid és egyéb szennyezőanyag kerül a légkörbe, ami nemcsak az éghajlatváltozást gyorsítja, hanem súlyosan rontja a levegőminőséget és hozzájárul a biodiverzitás csökkenéséhez, miközben a rendelkezésre álló készletek is egyre gyorsabban fogyatkoznak. A klímaváltozás sürgető hatásai és a környezeti romlás tükrében egyértelművé vált, hogy új, fenntarthatóbb energiatermelési formákra van szükség. A megújuló energiaforrások – köztük a nap-, szél-, víz-, geotermikus energia és biomassa – azon alapulnak, hogy természetes folyamatok révén folyamatosan megújulnak, így kimeríthetetlen forrásként szolgálnak. Ezek az energiaforrások jelentős előnyt kínálnak: környezetbarátok, hiszen nem bocsátanak ki szén-dioxidot vagy egyéb üvegházhatású gázokat, ami hosszú távon segít a globális felmelegedés lassításában. A megújuló energiaforrások bevezetése így egyszerre járul hozzá a környezeti fenntarthatósághoz és a fosszilis energiahordozók csökkentéséhez, amelyekkel a modern társadalom jelenleg is túlzottan függ. A megújuló energiaforrásokra való áttérés egyre inkább gazdasági és társadalmi szinten is fontos szerepet tölt be. A megújuló energiaipar technológiai fejlesztései munkahelyeket teremtenek és hozzájárulnak a nemzetgazdaságok energiafüggetlenségéhez, így csökkentve az energiaimport szükségességét. Ezzel a helyi gazdaságok is erősödnek, mivel a megújuló energiával kapcsolatos beruházások hosszú távú megtérülést és stabil energiatermelést biztosítanak. A megújuló energia kiaknázása mindemellett hozzájárulhat ahhoz is, hogy az energiaellátás decentralizáltabbá váljon, erősítve ezzel a helyi közösségek önellátó képességét, különösen vidéki területeken. A Kárpát-medence országainak, köztük Magyarországnak és Szlovákiának, különösen fontos szerepe lehet a fenntartható energiaátmenetben. Mindkét ország természeti adottságai – beleértve a napsütéses órák magas számát, a földrajzi elhelyezkedést és a vízenergiát hasznosító lehetőségeket – jó alapot biztosítanak a megújuló energiaforrások szélesebb körű alkalmazására. Az alternatív energiaforrások lehetőségeinek vizsgálata során világossá válik, hogy az energetikai átmenet nemcsak fenntartható fejlődést kínál ezeknek az országoknak, hanem segíthet a globális energiapiaci trendekhez való alkalmazkodásban is. Magyarország és

Szlovákia erőforrásainak fenntarthatóbb kiaknázása révén a régió hozzájárulhat az európai és globális klímacélok eléréséhez, miközben növeli saját energiafüggetlenségét és a gazdasági stabilitását.

2. Magyarország megújuló energiaforrásai

Magyarország változatos megújuló energiaforrásai a kedvező természeti adottságokkal és földrajzi elhelyezkedéssel párosulva lehetőséget adnak az energiaimport csökkentésére és az energiabiztonság növelésére (Szabó, 2021). A napenergia különösen ígéretes, mivel az ország évente több mint 2000 napsütéses órát kap, ami megkönnyíti a fotovoltaikus rendszerek telepítését és üzemeltetését, különösen a síkvidéki területeken (Molnár és Varga, 2020). Az elmúlt években jelentős beruházások történtek a napenergia-termelés növelésére, és a napenergia részaránya a teljes áramtermelésben tovább nőtt (Kiss et al., 2022). A geotermikus energia hazánk megújuló energiatermelésében is fontos szerepet tölt be, hiszen az ország bőséges melegvízkészlettel rendelkezik. A geotermikus energia hasznosítása nemcsak villamosenergia-termelésre, hanem távhőrendszerek ellátására is alkalmas, különösen a Dél-Alföld melegvízben gazdag területein (Kovács, 2019). A geotermikus energia alkalmazása segíthet csökkenteni a fűtési kibocsátást, és különösen előnyös az alacsony szén-dioxid-kibocsátású fűtési megoldások iránti igény kielégítésében (Nagy és Horváth, 2020).

Emellett Magyarország vízenergia-potenciálja viszonylag korlátozott, elsősorban a folyóviszonyok miatt, de a kisebb vízerőművek építése segíthet a helyi energiamix diverzifikálásában. A jogszabályi és műszaki korlátozások miatt azonban jelenleg alacsony a szélenergia hasznosítása az országban, bár egyes északnyugati területeken kedvező a szélirány, ami alkalmassá teszi ezeket a területeket szélenergia hasznosítására (Barta, 2018). A megújuló energia fejlesztése kulcsfontosságú Magyarország számára a fenntartható fejlődési és klímacélok eléréséhez, valamint az energiabiztonság erősítéséhez (Papp, 2021). A megújuló energia előnyeinek kihasználása hozzájárulhat az EU CO₂-kibocsátás-csökkentési céljainak eléréséhez, valamint egy fenntarthatóbb és környezetbarátabb energiaellátó rendszer kialakításához hosszú távon (Varga, 2021).

2.1. Napsütötte órák száma Magyarországon

A legtöbb napfény júliusban fordul elő, bár ebben a hónapban valamivel rövidebbek a nappalok, mint júniusban, és a nap magassága is alacsonyabb, de a felhőzet még így is kevesebb, mint a nyár elején ez az 1. ábrán látható. A legtöbb felhősödés és az év legrövidebb napjai egyaránt decemberre vonatkoznak, így a legkevesebb globális sugárzást valószínűleg

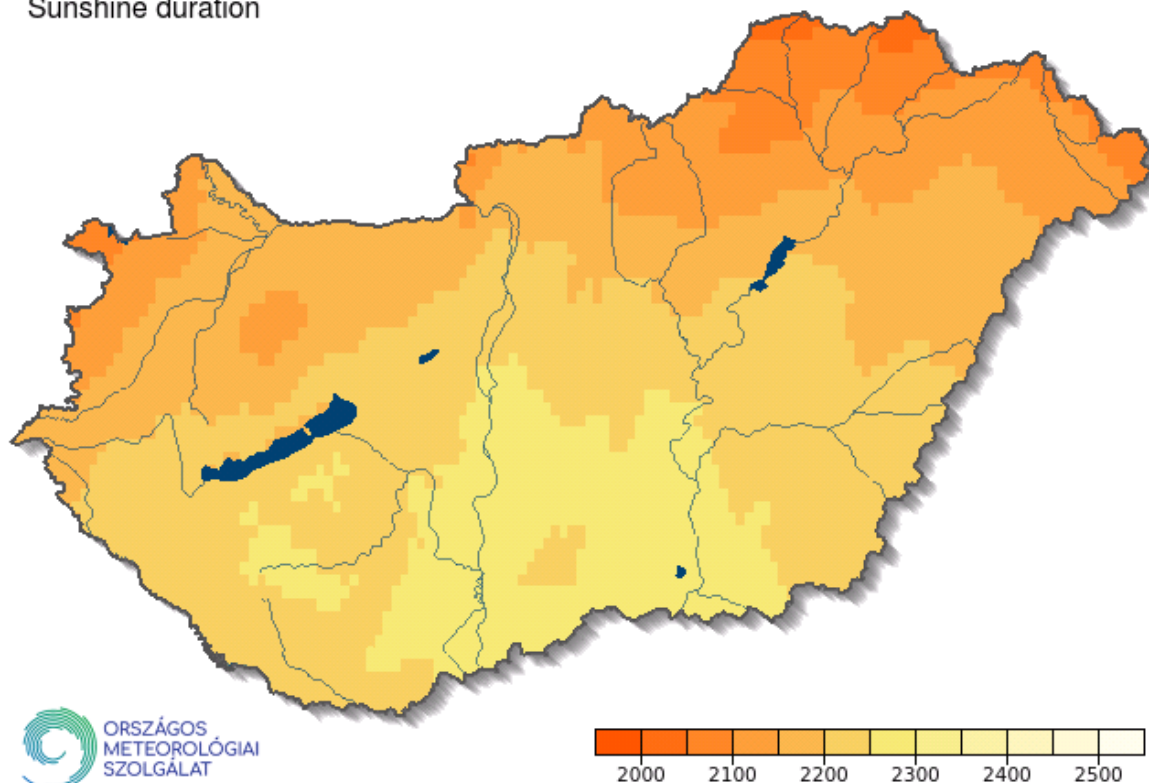
ez a hónap okozza. (Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.(HungaroMet) honlapja.

Letöltési dátum:2024.08.11.forrás: Internet¹⁾

1. ábra

Az évi átlagos napfénytartam (óra) Magyarországon az 1991-2020 közötti időszakban, műholdas adatok alapján (Forrás:Internet²⁾)

Napfénytartam [óra] (1991-2020)
Sunshine duration



A napfény időtartama az az idő, amikor egy felület közvetlen sugárzásnak van kitéve. A nappali fény időtartamát befolyásoló tényezők közé tartozik a csillagászatilag lehetséges nappali fényidő, a domborzat és a felhőzet – ez utóbbinak még nagyobb hatása van, mint a napsugárzásnak. Magyarországon az 1991 és 2020 közötti műholdas adatok alapján az országos átlag évi 2115 óra. A legtöbb éves napsütéses területek a Dél-Alföldön vannak, ahol több mint 2280 napsütéses óra, míg a legkevesebb napsütéses területek a hegyekben, ahol évente kevesebb mint 2040 napsütéses óra. Télen alpesi területeink másfélszer annyi napsütést kapnak, mint alföldi területeink, mivel télen gyakori a hőmérséklet inverziója, amikor alpesi területeink az alföldi területek ködéből és alacsony felhőtakarójából kiemelkednek, hogy zavartalanul élvezhessék a környezeti napfényt amit a 2.ábrán láthatunk.

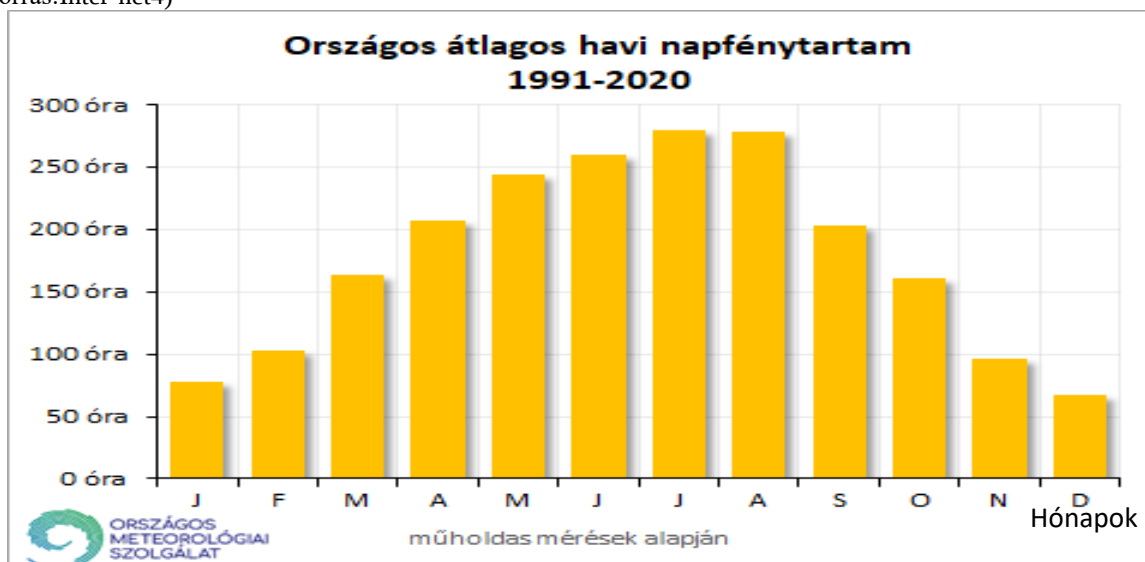
¹ internet1:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/

² internet2:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/

Másrészt a nyári több eső miatt a hegyvidéki területeken mintegy 10%-kal kevesebb a napsütéses órák száma, mint az alföldi területeken. (Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.(HungaroMet) honlapja. Letöltési dátum:2024.08.11.forrás: Internet³)

2. ábra

A napfénytartam átlagos havi értékei Magyarországon az 1991-2020 közötti időszak alapján
(forrás:Inter⁴net4)



Az országos átlagos havi napsütéses órák 60 és 280 óra között mozognak. Júniusban vannak a leghosszabb napok, de júliusban süt a legtöbb nap. Novembertől januárig, és különösen decemberig a legrosszabb napsütéses hónapok Magyarországon.

2.2. Szélviszony és szélsébség Magyarországon

A hazai szélviszonyok kialakulásában két fontos tényező van: a légköri keringés által meghatározott alapvető légáramlás és a terep módosulása. A szél iránya és sebessége alapvető klímparaméterek. Amikor szélirányról beszélünk, mindig az eget értjük, ahonnan a szél fúj, ez látható a 3.ábrán.(Magyar Meteorológiai

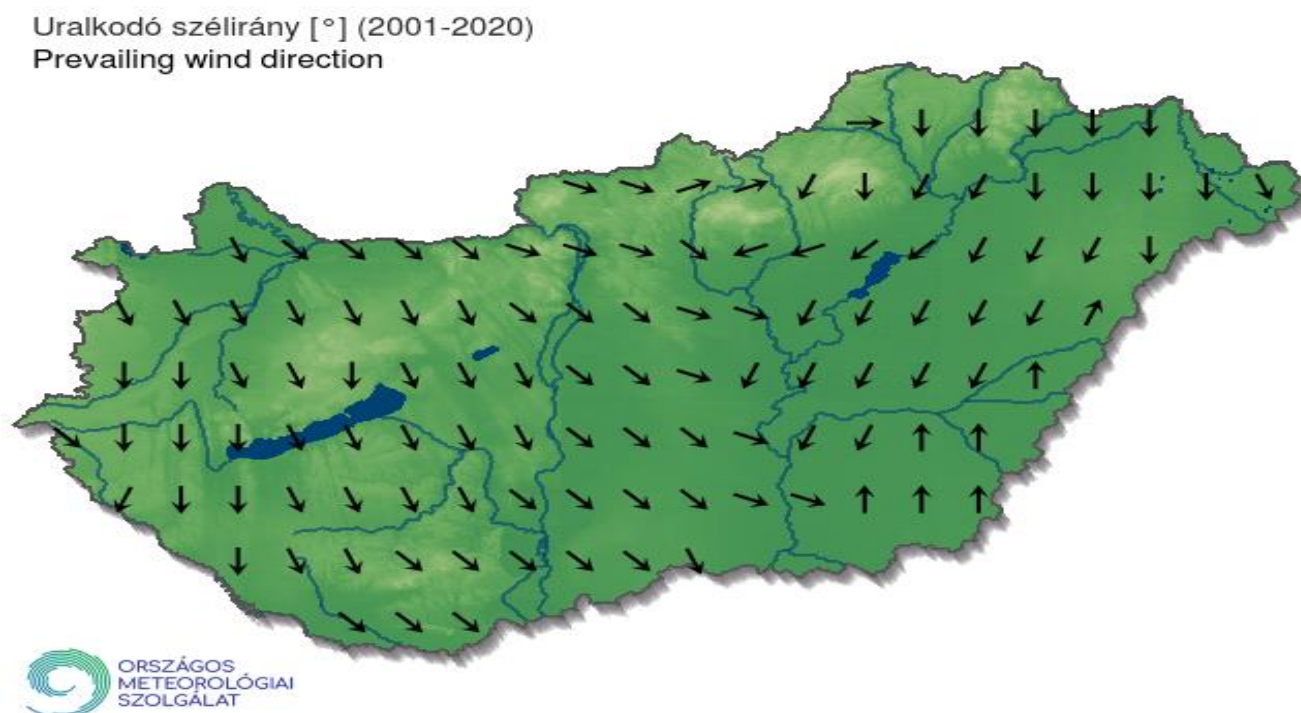
³ internet3:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/

⁴ internet4:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/

Szolgáltató Nonprofit Zrt.(HungaroMet) honlapja. Letöltési dátum:2024.08.11.forrás: Internet⁵)

3. ábra

Az uralkodó szélirányok a 2001-2020 közötti időszak alapján
(Forrás:Internet⁶)



A mérsékelt éghajlati övezetekben nagyobb magasságban a nyugati szelek dominálnak, de alacsonyabb magasságokban erősen befolyásolja a domborzat. Magyarországon földrajzi elhelyezkedéséből adódóan az uralkodó szélirány az északnyugati szél, ezt követi a déli szél . A légköri cirkuláció fő északnyugati széliránya leginkább a Duna keleti felében, valamint a Duna-Tisza közén, míg a Dunán kívül az északkeleti szélirány az uralkodó,a 4.ábrán megfigyelhető. Az első turbina 2000-es telepítése után 2006-ig nem történt komolyabb fejlesztés Ez akkor történt, amikor Magyarország 43 MW szélenergia-kapacitást épített.(A mérsékelt égövi szelek azonban a keringés különböző szakaszai miatt nem állandóak, a leggyakoribb szélirányok relatív gyakorisága Magyarországon általában csak 15-35% között

⁵ internet5:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/

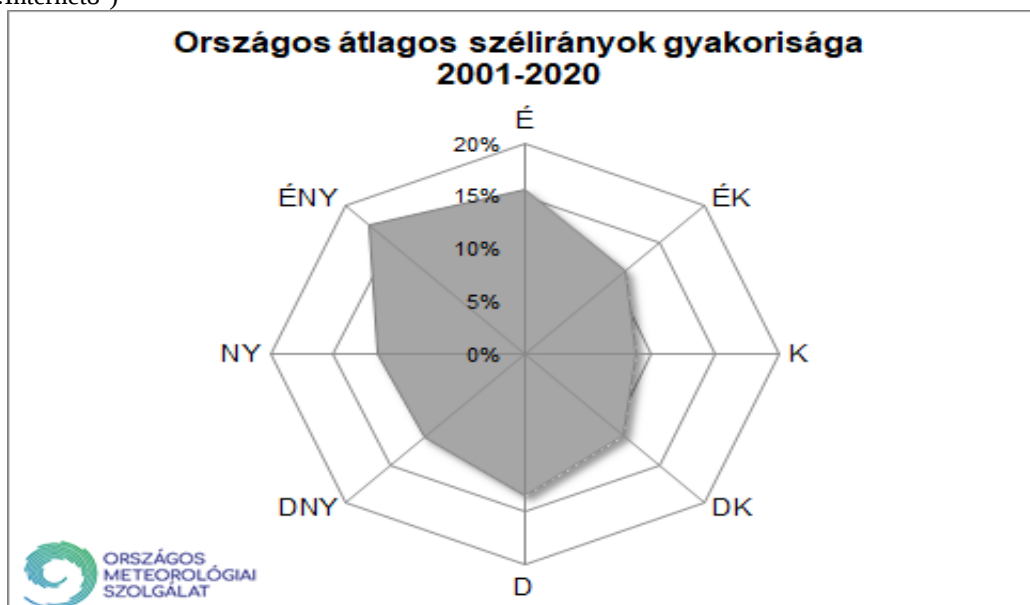
⁶ internet6:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/

ingadozik.(Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.(HungaroMet) honlapja. Letöltési dátum:2024.08.11.forrás: internet⁷)

4. ábra

Országos átlagos szélirányok gyakorisága 2001-2020 közötti időszak alapján

(Forrás:Internet⁸)



A 2001-től 2020-ig terjedő országos átlagos szélirány szerint a domináns szélirány az északnyugati szél, amely 17,4%-ot tesz ki . Az esetek 65-85%-ában nem az uralkodó irányból fúj a szél(3.ábra). (Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.(HungaroMet) honlapja. Letöltési dátum:2024.08.11.forrás: internet⁹)

A jelenlegi szélesebesség értékét nagyban befolyásolják a helyi tényezők(5.ábra). A szélesebesség a makroléptékű tényezők mellett függ a domborzattól, a felszínborítástól és az adott hely közelében lévő egyéb akadályoktól (épületek, fák, fasorok stb.).(Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.(HungaroMet) honlapja. Letöltési dátum:2024.08.11.forrás: internet¹⁰)

⁷ internet7:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/

⁸ internet8:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/

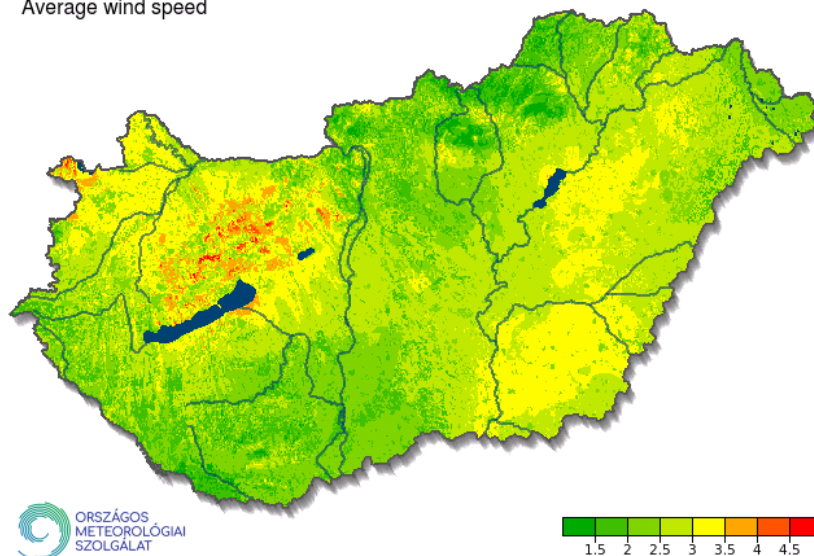
⁹ internet9:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/

¹⁰ internet10:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/

5. ábra

Az évi átlagos szélesebség a 2001-2020 közötti időszak alapján
(Forrás:Internet11¹¹)

Átlagos szélesebség [m/s] (2001-2020)
Average wind speed



A jelenlegi szélesebség értékét nagyban befolyásolják a helyi tényezők. A szélesebség a makroléptékű tényezők mellett függ a domborzattól, a felszínborítástól és az adott hely közelében lévő egyéb akadályoktól (épületek, fák, fasorok stb.). Az átlagos szélesebség szerint hazánk mérsékelt régióba sorolható, az évi átlagos szélesebség Magyarországon 2-4 m/s között mozog, de a fenti okok miatt lokálisan lényegesen eltérő értékek figyelhetők meg az 5.ábrán.(Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.(HungaroMet) honlapja. Letöltési dátum:2024.08.11.forrás: internet12¹²)

2.3. Magyarország vízrajzi adottságok

Magyarország a Kárpát-medencében található. Hazánk felszíni vizének legnagyobb része (94%-a) medencei jellegéből adódóan más országok területéről származik ami látható a 8.ábrán. .(Tudásbázis.sulinet(SuliNet)honlapja. Letöltés dátuma:2024.08.15. Forrás: Internet13¹³)

¹¹ internet11:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/

¹² internet12:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/

¹³ internet13: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/termeszetismeret/ember-a-termeszetben-5-osztaly/magyarorszag-domborzati-es-vizrajzi-terkepe/magyarorszag-vizrajza>

6.ábra
Magyarország vízrajzi térképe
(Forrás:Internet14¹⁴)



A környező országok vízgazdálkodási szintje határozza meg vizeink mennyiségét és minőségét. Magyarországon a felszíni vízeloszlás egyenetlen, gyenge vízkészlettel és bőséges vízkészlettel rendelkező területeken. A talajvizünk azért is nagyon fontos, mert ivóvízkészletünk szinte teljes egészében talajvízből származik. (Tudásbázis.sulinet(SuliNet)honlapja. Letöltés dátuma:2024.08.15. Forrás: Internet15¹⁵)

2.4. Magyarország geotermikus potenciál

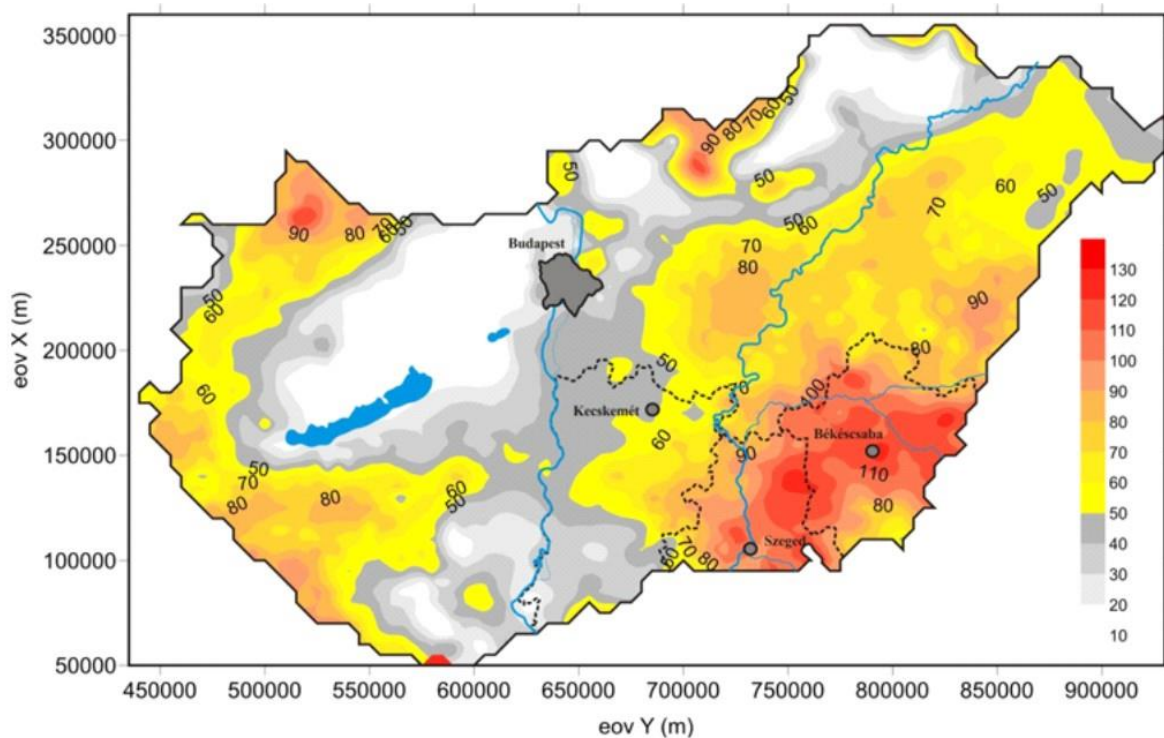
A hőmérséklet a felső-pannóniai szubsztrátum szintjén a Dél-Alföld legnagyobb részén 500C-nál magasabb. A térség jelentős üzemeltetési tapasztalattal és hagyományokkal rendelkező geotermikus hasznosítási helyszínei Európa-szerte ismertek. A dél-alföldi régió három megyéjében 330 termálkút van nyilvántartva, ebből 250 működik. A kitermelt termálvíz mennyisége eléri a 20 millió m³-t. A kitermelt víz 75%-át Csongrád megyében, 15%-át Békés megyében, 10%-át Bács-Kiskun megyében hasznosították. Ez azt mutatja, hogy Csongrád megye az első a geotermikus energia hasznosításában, ugyanakkor Békés megye jobb

¹⁴ internet14:<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesettudomanyok/termesztismeret/ember-a-termeszetben-5-osztaly/magyarorszag-domborzati-es-vizrajzi-terkepe/magyarorszag-vizrajza>

¹⁵ internet15:<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesettudomanyok/termesztismeret/ember-a-termeszetben-5-osztaly/magyarorszag-domborzati-es-vizrajzi-terkepe/magyarorszag-vizrajza>

geotermikus adottságokkal rendelkezik, és jelentősen növelheti geotermikus energiatermelését amely a 7.ábrán látható. A kitermelt víz egyharmadát elsősorban Csongrád megyében (Szentés és Szeged térségében) hasznosították mezőgazdasági célokra. A hasznosított termálvíz közel 24%-át fürdőkben, gyógyfürdőkben, 6%-át kommunális geotermikus fűtésre használják fel, elsősorban Csongrád megyében. A kitermelt víz 28%-a egyéb célra (ivóvíz, mezőgazdasági, ipari és használati melegvíz (HMV) ellátás) kerül felhasználásra. A fennmaradó 7,5%-ot a 14 megfigyelő és 5 visszasajtoló kútban használják fel.(InnoGeo Kft, Geotermális Egyesület. <https://www.geothermal.hu/download> 2024)

7.ábra A felső-pannóniai aljzaton mért vízhőmérséklet
(Forrás:InnoGeo Kft,2024)



Számos meggyőző érv szól a geotermikus energia felhasználása mellett. Közülük Magyarország egyedülálló természeti tájait kell első helyen felsorolni. A Kárpát-medencében a kéreg elvékonyodása, párosulva a ráakódott, rosszul hővezető üledékrétegekkel, a köpenyből felmelegedés intenzitásának, a geotermikus áramlások teljesítménysűrűségének rohamos növekedéséhez vezetett. A mélységű közethőmérséklet (geotermikus gradiens) jelentősen meghaladja az európai átlagot. Ebben a természeti környezetben az erőforrások három nagy kategóriája még ma is gazdaságosan kiaknázható. Hőcserélő kutak és

hőszivattyúk segítségével alakíthatók ki az úgynevezett felső-panóniai homokkő porózus hidrotermikus tározók, triász repedéses karsztkarbonát tározók, valamint a felszín közelében több száz méternyire alacsony hőmérsékletű zónák. Összes energiatartalmuk 454 000 PJ, amelyből a kitermelési technológiától függően akár 115 000 PJ is felszínre hozható. Összességében természeti erőforrásaink nagyon kedvezőek, és a hatékony geotermikus energiatermelés feltételei nemcsak jelen vannak, hanem a távoli jövőben is. Magyarországnak rengeteg energiát kell importálnia. Geotermikus energiánk sokrétű jelentőséggel bír, egyrészt jelentősen csökkentheti importfüggőségünket, másrészt tiszta, káros kibocsátásoktól mentes energia, ezért lassíthatja egyik problémánkat. Korunk kellemetlen klímaváltozása. Összefoglalva megállapítható, hogy a geotermikus energia, mint hazai, környezetbarát és gazdaságos energiaforrás alkalmas arra, hogy a magyar gazdaság egyik mozgatórugójává váljon. Úgy gondoljuk, hogy a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal kezdeményezésére 2016-ban összeállított Magyar Geotermikus Atlasz hozzájárul e cél eléréséhez. Ezt a tényt támasztja alá a kiadvány iránti nagy érdeklődés és az elmúlt időszak számos utánnnyomása. A közeljövőben megjelenő "Geotermikus Budapest" könyvünkkel reméljük, hogy továbbra is hozzájárulhatunk geotermikus energiánk tudatos és fenntartható felhasználásához. (Tóth A. N. 2019).

3. Szlovákia megújuló energiaforrásai

Szlovákia hatalmas megújuló energia potenciállal rendelkezik, amely segítheti az ország fenntartható fejlődési céljainak és energiafüggetlenségének erősítését (Novák et al., 2020). A megújuló energiaforrások közül a víz-, nap-, szél- és geotermikus energia áll a középpontban. Az ország vízenergia-hasznosítása a Duna és más folyók mentén koncentrálódik, a vízerőművek pedig az egyik legfontosabb megújuló energiaforrás, különösen a nyitrai és a pozsonyi régióban (Kováč, 2019). A vízenergia kapacitása azonban korlátozott, ezért egyre nagyobb hangsúlyt kap az egyéb energiaforrások, elsősorban a napenergia fejlesztése. A napenergia egyre népszerűbb Szlovákiában, különösen a déli régióban, ahol magas az évi napsütéses órák száma, ideális feltételeket biztosítva a fotovoltaikus rendszerek számára (Horváth és Jurík, 2021). Az ország elmúlt évtizedben megnövekedett napenergia-kapacitása hozzájárul az energiamix dekarbonizációjához és az Európai Unió által kitűzött kibocsátáscsökkentési célok eléréséhez (Szabó, 2022). Szlovákiában a szélenergia felhasználása a szigorú előírások és a domborzati adottságok miatt még korlátozott, de a nyugati és északnyugati régiók szélenergia-potenciálja kiaknázható. A jelenlegi tervek szerint a szélenergia a következő években valószínűleg még fontosabb szerepet fog játszani az energiamixben, különösen az ipari célú energiaellátásban (Pavlíček, 2020). A szlovák energiapolitika egyre inkább előtérbe helyezi a megújuló energia arányának növelését, ami segíti a nemzeti energiabiztonság erősítését és a fenntartható fejlődési célok elérését (Mihálik, 2021).

3.1. Napsütéses órák és regionális eloszlás Szlovákiában:

Szlovákiában a napsütéses órák száma régióként jelentősen eltér, amelyet a terület földrajzi elhelyezkedése, domborzata és éghajlata egyaránt befolyásol. Az éves napsütéses órák száma 1200 és 2000 óra között változik, jelentős különbségekkel a déli síkságok és az északi hegyvidéki területek között. A déli síkvidéken, különösen a Kisalföldön és környékén, a napsütéses órák száma évről évre elérheti a 2000 órát, egyes területeken még ennél is magasabb értéket mutatva. Ez a terület kedvező éghajlati viszonyai és alföldi fekvése révén az ország legmelegebb és legnaposabb vidékei közé tartozik. Az itt évről évre tapasztalható, hosszú napsütéses időszakok kedveznek a mezőgazdasági termelésnek és a napenergia hasznosításának is, így ezek a régiók energiahatékonyság szempontjából különösen fontos szerepet kapnak. Ezzel szemben Szlovákia hegyvidéki területei, például a Magas-Tátra, jelentősen kevesebb napsütést kapnak, évente átlagosan 1200-1400 órát. Az északi részekben a

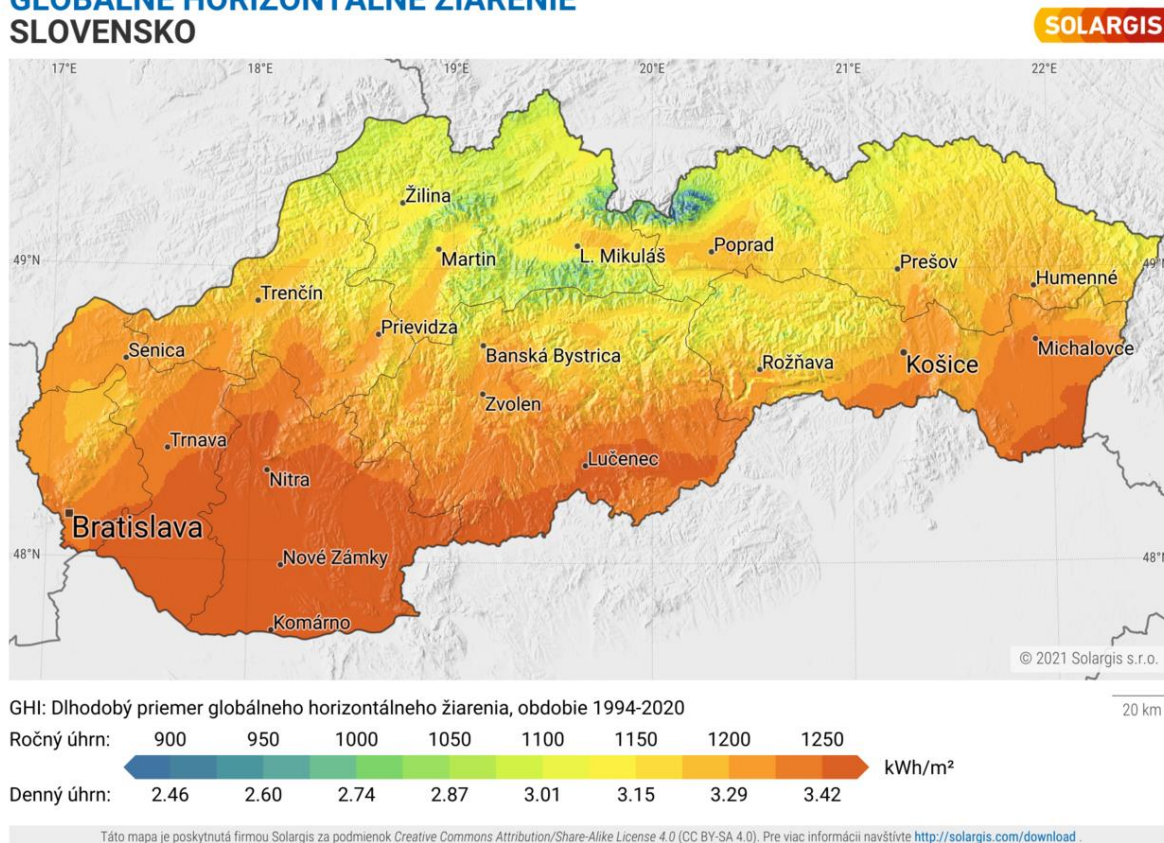
napsütéses órák száma csökken a magasabb tengerszint feletti magasság, a felhősebb időjárás és a hidegebb éghajlat miatt, ami a napenergia hasznosítását nem kedvezővé teszi. Így ezekben a területekben más alternatív energiaforrások, például a víz- és szélenergia, válnak egyre fontosabbá. Az éves napsütéses órák száma Szlovákiában jelentős szezonális ingadozást is mutat. A nyári hónapokban (június-augusztus) a napsütéses órák száma délen akár 700-800 órát is elérhet. Ezzel szemben télen (december-február) a napsütéses órák száma jelentősen csökken, főként a hosszú éjszakák, a ködös időjárás és a gyakori felhőzet miatt, így télen az éves napsütéses órák száma 100-200 órára is lecsökkenhet, különösen az északi, magasabb fekvésű területeken. Ezek a regionális és szezonális különbségek meghatározó szerepet játszanak a megújuló energiaforrások hasznosításában. A déli régiókban a napsütéses órák száma ideális feltételeket biztosít a napenergia hasznosításához, különösen a síkvidéki területeken, ahol a napkollektorok és fotovoltaiikus rendszerek optimálisan működhetnek. Ezzel szemben az északi területeken a napenergia szerepe korlátozottabb, így ott a víz- és szélenergia szerepe kerül előtérbe a fenntartható energiaforrások között. A napsütéses órák nemcsak az energiatermelés, hanem a turizmus szempontjából is jelentős hatással bírnak. Nyáron, a hosszú napsütéses időszakok során, jelentősen megnövekedhetnek a szabadtéri turisztikai tevékenységek, különösen a déli vidéken, ahol a napos időszakok lehetőséget biztosítanak a természetjárásra, túrázásra és más kültéri programokra. A napsütéses órák regionális és szezonális eltéréseinek figyelembevétele lehetővé teszi, hogy Szlovákia különböző régiói speciális energetikai és turisztikai stratégiákat alakítsanak ki, maximálisan kihasználva a helyi adottságokat és biztosítva a fenntartható fejlődést. (Imeteo honlapján. Letöltés dátuma: 2024.08.16. Forrás: Internet16¹⁶, Internet17¹⁷)

¹⁶ <https://www.imeteo.sk/spravy/sturovo-je-mesto-s-najvyssim-poctom-slnečných-dní-v-sr>

¹⁷ internet17: <https://www.imeteo.sk/spravy/rok-2021-patri-k-najslnecnejším-za-posledných-60-rokov>

8.ábra Hosszú távú átlagos horizontális sugárzás 1994-2020 közötti időszakban
(Forrás: Internet18¹⁸)

GLOBALNE HORIZONTALNE ŽIARENIE SLOVENSKO

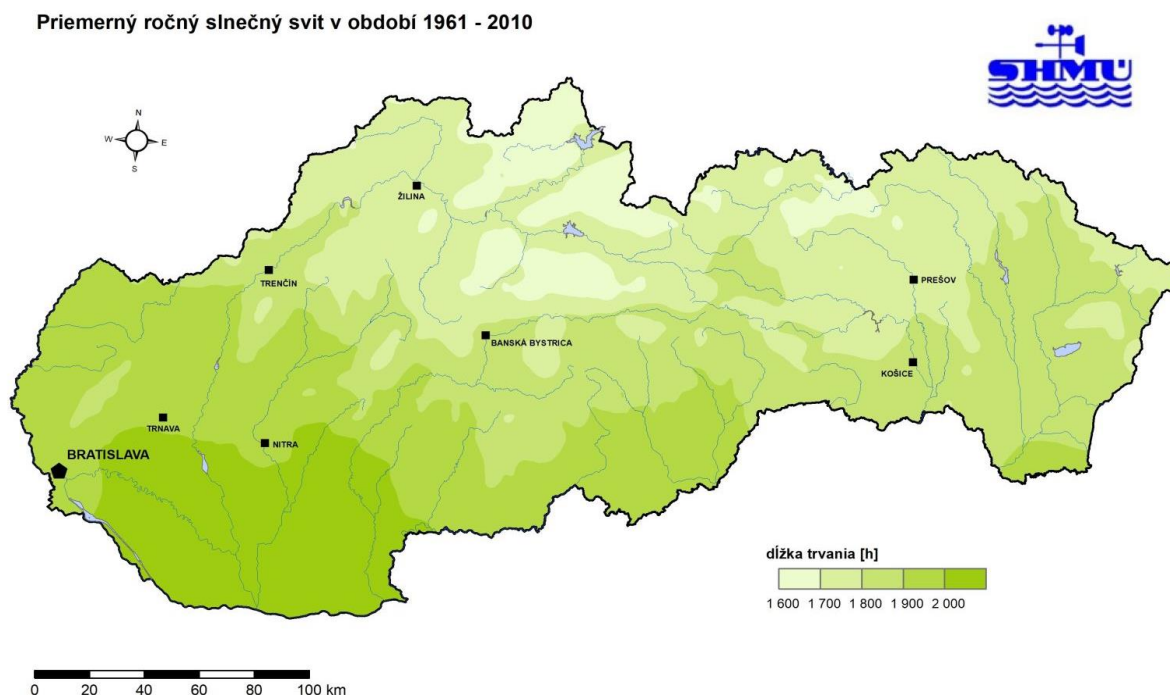


Átlagosan a legnaposabb területek a Duna-síkság délkeleti fele, Dél-Szlovákia alföldjei és medenceterületei, a Kelet-szlovákiai, Alföld déli része, ahol évente több mint 1900 napsütéses óra ami a 9.ábrán látható. Az alpesi masszívumok csúcsait is a hosszabb napsütéses órák jellemzik, mint például a Magas-Tátra keleti csúcsai. Télen ezeken a magasságokon a horizont tiszta és a felhőzet alacsony. Észak-Szlovákia völgyeiben és medencéiben, valamint Szlovákia legszélső északnyugati részén a nappali órák általában csökkennek a magasabb árnyék és felhőzet miatt. Az uralkodó nyugati áramlatok szélén fekszik, és évente a legkevesebb napsütéses órát kapja (évente kevesebb, mint 1600 óra). (SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV(SHMÚ) honlapja. Letöltés dátuma:2024.08.21.Forrás: Internet19¹⁹)

¹⁸ internet18: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/40/SolarGIS-Solar-map-Slovakia-sk.png/1280px-SolarGIS-Solar-map-Slovakia-sk.png>

¹⁹ internet19: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064>

9.ábra Átlagos éves napsütés az 1961-2010 közötti időszakban
(Forrás: Internet20²⁰)



A felhőzet Szlovákiában erősen változó, meghatározza az időjárás típusát, és nagyon érzékeny a domborzattörés. Szlovákiában a legalacsonyabb a nyár végén és kora ősszel, míg a legmagasabb felhőzet novemberben és decemberben. A magas hegyvidéki területeken télen a legkevesebb a felhősödés, nyáron pedig a leginkább felhős, különösen júniusban. (SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV(SHMÚ) honlapja. Letöltés dátuma:2024.08.21.Forrás: Internet21²¹)

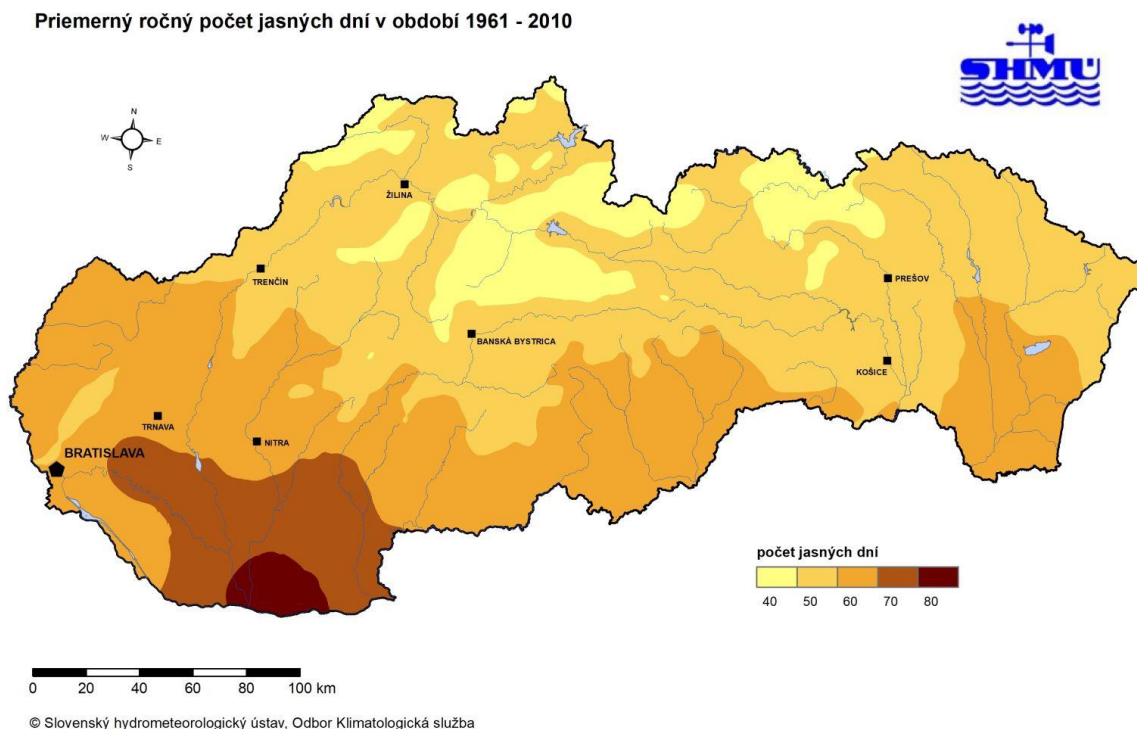
Szlovákia legnaposabb napjai a síkságon vannak, ahol évente 60-75 nap van. Észak- és Kelet-Szlovákia hegy- és medencevidékein, valamint az Alacsony-Tátrában a legrövidebb idő 40 napnál kevesebb. Egész évben augusztusban van a legtöbb napsütéses nap, novemberben pedig a legkevesebb napsütés Szlovákia síkságain és medencéiben. A hegyekben október a legnaposabb, és ezt a 10.ábrán is megfigyelhető. (SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV(SHMÚ) honlapja. Letöltés dátuma:2024.08.21.Forrás: Internet22²²)

²⁰ internet20: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064>

²¹ internet21: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064>

²² internet22: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064>

10.ábra A tiszta napok átlagos éves száma az 1961 és 2010 közötti időszakban
(Forrás: Internet23²³)



A felhős napok éves változási folyamata nagyjából megegyezik az átlagos felhőzet éves változási folyamatával. Egy évben decemberben a legfelhősebb napok, augusztusban a legkevesbé borús napok, a Magas-Tátra legmagasabb pontján azonban májusban és júniusban a legfelhősebb, októberben pedig a legkevesbé felhős. (SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV(SHMÚ) honlapja. Letöltés dátuma:2024.08.21.Forrás: Internet24²⁴)

3.2 Szélviszony és szélsébség Szlovákiában

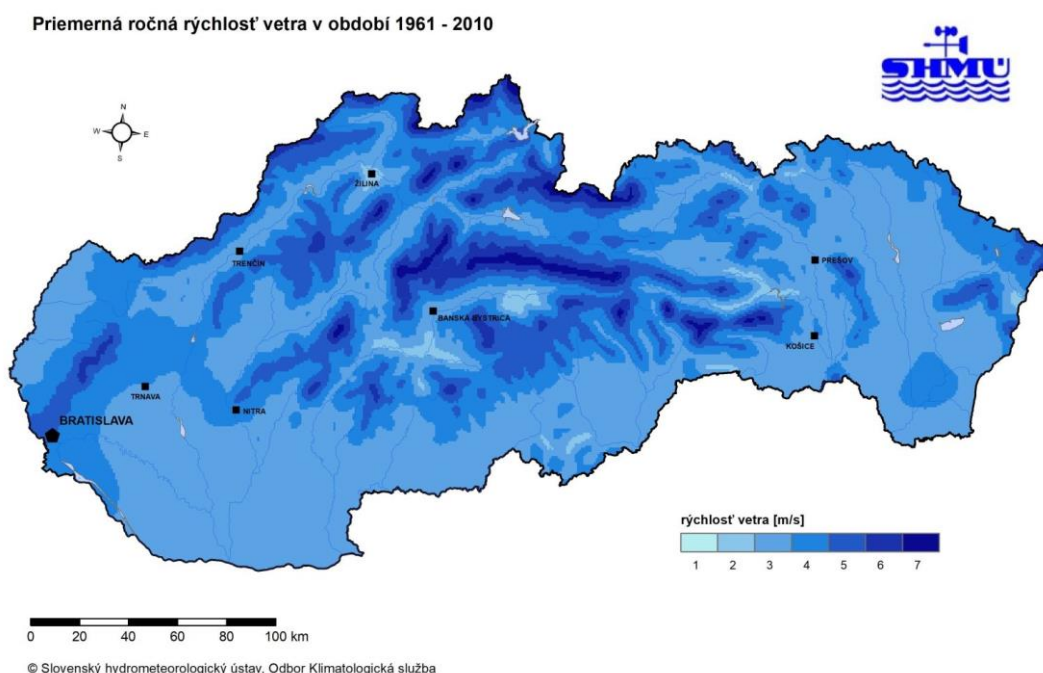
Szlovákiában a szélviszonyok összetettek, nemcsak a bonyolult terep, hanem a nagy időjárási változások miatt is. Az aktív felület egyenletessége befolyásolja a terep egyenletességét és a szélsébség meghatározásában is fontos szerepet játszik. Nyugat-Szlovákia síkvidékein az éves átlagos szélsébség 10 méteres magasságban 3-4 m/s, míg Kelet-Szlovákiában 2-3 m/s

²³ internet23: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064>

²⁴ internet24: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064>

között alakul amit a 11. ábrán látható. A szél intenzitása a medencében a medencék helyétől és bekerítésétől függ. Az olyan medencék, mint a Považská kotlina, a Podtatranská kotlina és a Košická kotlina, viszonylag nyíltak, szélsébséggel évente 2-3 m/s, míg az olyan zártabb medencékben, mint a Zólyom-, Zsolna- és Zsolna-medence, jellemzően fordul elő évi 1-3 m/s közötti sebességek 2 m/s között a legzártabb völgyekben 1 m/s alatti szélsébség is előfordulhat. Még az alacsonyabban fekvő területeken is vannak kiemelt területek, ahol az átlagos évi szélsébség meghaladja a 4 m/s-t (pl. Kassa és Pozsony). A hegyvidéki területeken az éves átlagos szélsébség magasságtól függően 4-8 m/s között mozog ami megfigyelhető a 11. ábrán. A maximális szélsébség alföldi területeken elérheti a 25 m/s, a hegyvidéki területeken a 35 m/s-ot. A legnagyobb szélsébséget 1965. november 29-én, a Magas-Tátra egyik csúcsa, Scarnatoppleso közelében mérték, 78,6 m/s, azaz 283 km/h szélsébséggel.. (SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV(SHMÚ) honlapja. Letöltés dátuma:2024.08.21.Forrás: Internet25²⁵)

11. ábra Éves átlagos szélsébség 1961 és 2010 között
(Forrás: Internet26²⁶)



A légáramlás irányát elsősorban Közép-Európa légköri cirkulációja és domborzata befolyásolja. A légáramlás elsősorban nyugatról, északnyugatról érkezik, de helyenként a domborzat hatására megváltozik a légáramlás, különösen a hegyhágókban, völgyekben,

²⁵ internet25: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064>

²⁶ internet26: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064>

medencékben. A kelet-szlovákiai alföld Szlovákia legszelesebb területei közé tartozik. Pozsony Közép-Európa egyik legszelesebb városa Devínská és Lamačská brána (az osztrák Kis-Kárpátok és a Hainburg-hegység közötti szűk tér) miatt. Átlagosan a legerősebb szél februárban és márciusban fordul elő, de ugyanez vonatkozik novemberre is. Ezzel szemben a szeptember a legalacsonyabb átlagos széllel járó hónap. A síkvidékeken napközben fúj a szél, főként délután, amikor a légköri tevékenység a legaktívabb, és a legkevésbé reggel. Minél nagyobb a tengerszint feletti magasság, annál nagyobb az éjszakai szél sebessége a hegyvidék legmagasabb pontján az éjszakai szélső sebesség már régen meghaladta a nappali szélső sebességet. (SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV(SHMÚ) honlapja. Letöltés dátuma:2024.08.21. Forrás: Internet²⁷)

3.3. Szlovákia vízrajzi adottságai

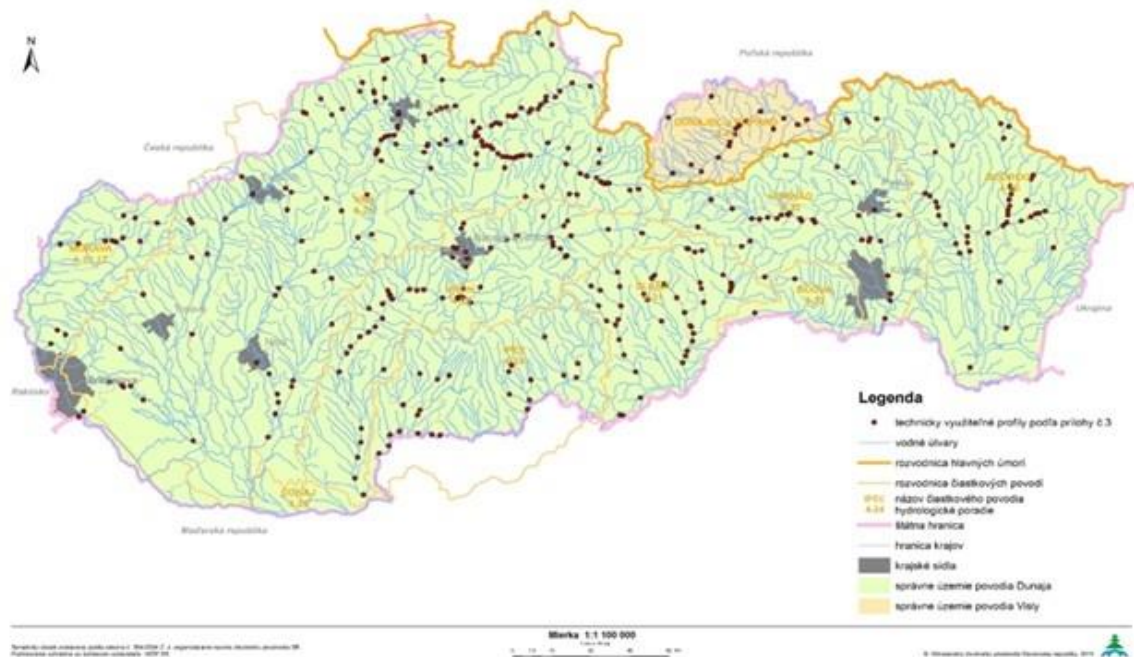
Szlovákia hidrológiai adottságai alapvetően meghatározzák az ország vízenenergia-potenciálját és hasznosításának lehetőségeit. Az ország területét számos folyó és patak szeli át, melyek közül a legnagyobbak a Duna, a Váh, a Hron és a Hornád, amelyek mindegyike fontos hidraulikus energiaforrást jelent. A Szlovák Hidrometeorológiai Intézet által közzétett adatok szerint Szlovákiában a vízenenergia-hasznosítás nagy része kis vízerőművekben valósul meg, de a hidrológiai viszonyokat figyelembe véve a nagy vízerőművek is fontos szerepet töltenek be az ország energiaellátásában. A szlovákiai vízi utak lehetőségei nagyon eltérőek. Az ország domborzati adottságai, különösen a Kárpátok és a Kis-Kárpátok lehetőséget adnak a változó teljesítménnyel és hatásfokkal üzemelő vízerőművek telepítésére. A vízi utak víztermelése és a vízgazdálkodás egy adott területen közvetlenül befolyásolja az energiatermelést. Szlovákiában a vízenenergia-hasznosítás tervezése és megvalósítása szigorú környezetvédelmi és jogi keretek között zajlik. (SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV(SHMÚ) honlapja. Letöltés dátuma:2024.09.05. Forrás: Internet²⁸)

²⁷ internet27: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064>

²⁸ internet28: https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=sit_cele

12.ábra Műszakilag hasznosítható vízenergia potenciállal rendelkező profilok térképe.
(Forrás: Internet29²⁹)

Mapa profilov s technicky využiteľným hydroenergetickým potenciálom.



Ami a vízerőműveket illeti, az országos rekonstrukciós program a meglévő létesítmények korszerűsítésére összpontosít. A meglévő létesítmények rekonstrukciója növelheti a megújuló energiatermelő kapacitást, miközben megfelel a fenntarthatósági és környezetvédelmi előírásoknak.(Slovenská asociácia údržateľnej energetiky(SAPI) honlapja.Letöltési dátuma: 2024.09.10. Forrás: Internet30³⁰)

3.4 Szlovákia geotermikus potenciálja

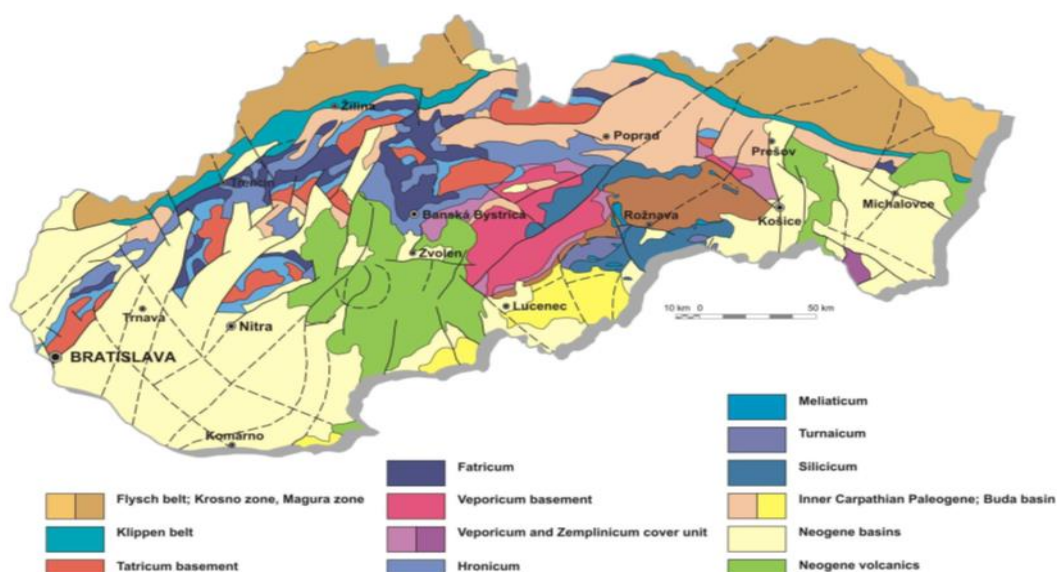
Szlovákia geotermikus potenciálja kiemelkedő, az ország geotermikus gradiense pedig jelentősen meghaladja az európai átlagot. Az ország geológiai adottságai - a Kárpátok és a Pannon-medence közelsége - megfelelő feltételeket biztosítanak a geotermikus energia hasznosításához. A geotermikus energia hasznosítása három nagy kategóriába sorolható: melegvíz-kutak, geotermikus hőszivattyús rendszerek és mélygeotermikus erőművek. A termálkutak, mint például a Postien környéki gyógyfürdők, évtizedek óta működnek, és amellet, hogy gyógyászati célokat szolgálnak, fontos turisztikai látványosságok a helyi lakosok számára. Az éves vízkivétel több millió köbméter, és a mezőgazdasági fűtési és egyéb

²⁹ internet29: <https://www.sapi.sk/vodna-energia>

³⁰ internet30: <https://www.sapi.sk/vodna-energia>

ipari alkalmazásokban történő felhasználása is növekvő tendenciát mutat. A dél-szlovákiai melegforrások különösen ígéretesek a jövőbeni alkalmazások számára, és sok kutatás a mély hővisszanyerő technológiák fejlesztésére irányult. (Balázs et al., 2015). Szlovákiában a geotermikus energia előtt álló legnagyobb kihívás a kitermeléshez és hasznosításhoz megfelelő infrastruktúra kiépítése. Eközben a mélygeotermikus erőművek fejlesztése lassan, de folyamatosan halad. A legnagyobb potenciál a középső és déli régiók alacsony hőmérsékletű és nagy kapacitású geotermikus tározóiban rejlik. A közeljövőben az ország a geotermikus energia felhasználásának intenzívebbé tételét reméli, különös tekintettel a fenntartható és gazdaságos technológiai megoldásokra (Tóth et al., 2020). A geotermikus energia előnyei közé tartozik a tisztaság, a környezetvédelem, valamint a fosszilis energiához képest lényegesen alacsonyabb károsanyag-kibocsátás és CO₂-kibocsátás. Ez a funkció különösen fontos, mivel Szlovákia aktívan részt kíván venni az EU éghajlat-politikai céljainak elérésében. A geotermikus energia felhasználása nemcsak javíthatja az energiabiztonságot, hanem csökkentheti az ország fosszilis tüzelőanyagoktól való függőségét is. (Šimon et al., 2021).

13.ábra A Szlovák Köztársaság tektonikus vázlata (Biely szerk., 1996)
(Forrás: Internet31³¹)



Jelenleg folynak a hidrogeotermikus felmérések Handlova térségében és a felső-niterai medencében a Rimava-medencében. Számos egyedi, magánszektor pénzügyi forrásaiból finanszírozott projekt van készen vagy készülőben a geotermikus víz megtalálására és távfűtésre való hasznosítására (Veľký Meder, Sered', Sala, Trstená, Dolný Kubín, Michalovce és Eperjes). E projektek egy része új fürdő- és úszólétesítmények építését célozza (Bardoňovo, Zuberec, Bobrovec, Fiačice, Demänová, Liptovská Kokava, Veľká Lomnica stb.).(Geotermális Egyesület,2024)

³¹ internet31: <https://www.geothermal.hu/download>

4. Magyarország és Szlovákia összehasonlítása és elemzése megújuló energiaforrások felhasználás terén

A megújuló energiaforrások alkalmazása Magyarországon és Szlovákiában: Nap-, szél-, víz- és geotermikus energia lehetőségeinek és kihívásainak összehasonlító elemzése.

4.1 Villamos energia termelés

A fenntartható energiagazdálkodás korunk egyik legfontosabb kérdése, amelynek megválaszolásában a megújuló energiaforrások fejlesztése és hasznosítása kiemelt szerepet játszik. Magyarország és Szlovákia is a megújuló energiaforrásokra való támaszkodás növelését célozza meg, ám az egyes energiaforrások kihasználtságában jelentős eltérések tapasztalhatók. Ebben az elemzésben a két ország nap-, szél-, víz- és geotermikus energiafelhasználását vizsgálom, amely alapján látható, hogy ezek az eltérések részben földrajzi, részben pedig politikai-stratégiai különbségekre vezethetők vissza amit a 14-15.ábrákon meglehetősen figyelni.

14.ábra Magyarország villamosenergia-termelés
(Forrás: Internet32³²-33³³)

Generation in 2022	GWh	%
Non-renewable	28 113	79
Renewable	7 662	21
Hydro and marine	178	0
Solar	4 732	13
Wind	610	2
Bioenergy	2 138	6
Geothermal	4	0
Total	35 775	100

Per capita electricity generation (kWh)

15.ábra Szlovákia villamosenergia-termelés

Generation in 2022	GWh	%
Non-renewable	21 016	78
Renewable	5 822	22
Hydro and marine	3 678	14
Solar	650	2
Wind	4	0
Bioenergy	1 490	6
Geothermal	0	0
Total	26 838	100

Per capita electricity generation (kWh)

Napenergia

A napenergia felhasználása terén Magyarország rendkívül előnyös helyzetben van, hiszen jelentős mértékben épített ki naperőművi kapacitásokat az elmúlt években. A 2022-es adatok alapján a megújuló energiaforrásokból származó villamosenergia-termelés 13%-át napenergia adja, amely abszolút értékben 4,732 GWh (14. ábra). Ezzel szemben Szlovákia napenergia-

³² internet32: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

³³ internet33: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

termelése csupán a megújuló energián belüli részesedés 2%-át teszi ki, ami mindössze 650 GWh (15. ábra). Véleményem szerint ennek az eltérésnek két fő oka van: egyrészt Magyarország kedvezőbb földrajzi és időjárási adottságokkal bír a napenergia-termeléshez, másrészt a magyar energiapolitika is nagyobb hangsúlyt helyezett a napenergia fejlesztésére. Magyarország napenergia iránti elkötelezettsége tehát érthető és hosszú távon is előnyös, különösen, ha figyelembe vesszük a napenergiával járó alacsonyabb üzemeltetési költségeket és az ország függetlenedési törekvéseit a fosszilis energiahordozóktól.

Szélerergia

A szélerergia felhasználása Magyarországon mérsékelt, hiszen az ország szélerergia-termelése a megújuló forrásokon belül mindössze 2%-ot képvisel, amely összesen 610 GWh (14. ábra). Szlovákiában ez az arány még alacsonyabb, gyakorlatilag elenyésző, mindössze 4 GWh (15. ábra). Úgy vélem, a szélerergia ilyen mértékű alulreprezentáltsága mindkét ország esetében a földrajzi és időjárási korlátokból fakad. Különösen Magyarország esetében a sík vidékek és a stabil szélviszonyok hiánya nehezíti a szélerergia alkalmazását, míg Szlovákiában inkább a politikai és szabályozási akadályok játszhatnak szerepet. Tekintettel arra, hogy a szélerergia telepítése földrajzilag kedvezőtlen területeken nem gazdaságos, Magyarországnak és Szlovákiának is inkább más megújuló energiaforrásokra, például napenergiára érdemes összpontosítani.

Vízenergia

A vízenergia alkalmazásában Szlovákia egyértelmű fölényben van. Az ország megújuló energiatermelésének 14%-a vízenergiából származik, amely 3678 GWh-t tesz ki (15. ábra). Ezzel szemben Magyarország vízenergia-felhasználása elhanyagolható, mindössze 178 GWh (14. ábra). Ennek oka elsősorban földrajzi: míg Szlovákia területén számos, nagy vízhozamú folyó található, Magyarország vízenergia-potenciálját jelentősen korlátozza a Duna és a Tisza relatív sík vidéken való áramlása, ami alacsonyabb szintkülönbségeket eredményez. Véleményem szerint Szlovákiának érdemes folytatnia a vízenergia kiaknázását, míg Magyarországnak, figyelembe véve a természetes adottságokat, inkább a napenergia és a biomassza hasznosítására kellene koncentrálnia a megújuló energiaforrások terén.

Geotermikus energia

A geotermikus energia felhasználása mindkét országban rendkívül csekély, ami meglepő, különösen Magyarország esetében. Magyarország viszonylag magas geotermikus potenciállal

rendelkezik, ennek ellenére a geotermikus energia termelésének részesedése mindössze 4 GWh (14. ábra) , míg Szlovákia egyáltalán nem használ geotermikus energiát. Véleményem szerint Magyarország számára ez egy kihasználatlan lehetőség, mivel a föld hőjére alapozott energia potenciálisan stabil és környezetkímélő energiaforrást jelenthetne. A geotermikus energia alacsony kihasználtságát Magyarországon valószínűleg a magas kezdeti beruházási költségek és az ezzel járó technológiai kihívások magyarázzák. Azonban, ha Magyarország hosszú távon jelentősebb mértékben függetlenedni kíván a fosszilis energiától, érdemes lenne nagyobb hangsúlyt fektetni a geotermikus energia fejlesztésére.

Magyarország és Szlovákia megújuló energiaforrásokra épülő kapacitásainak és felhasználási szokásainak összehasonlítása érdekes képet nyújt arról, hogy a földrajzi, gazdasági és politikai tényezők hogyan befolyásolják az energiaforrások felhasználását. Elemzésemben öt főbb szempont alapján vetem össze a két ország helyzetét, és azt mutatom be, hogyan befolyásolják ezek a tényezők a megújuló energiaforrások használatát és fejlesztését.

4.2 Összesített megújuló energia részesedése az energiaellátásban

Mindkét ország esetében alapvető célkitűzés, hogy a megújuló energia arányát növeljék az energiaellátásban, azonban az elért eredmények eltéréseket mutatnak. Magyarország teljes energiaellátásában 2021-ben a megújuló energia 13%-ot képviselt, míg Szlovákiában ugyanez az arány szintén 13% volt amit a 16-17.ábrán megfigyelhetünk.

16.ábra Összesített megújuló energia részesedése az energiaellátásban Magyarországnak
(Forrás: Internet34-35)

17.ábra Összesített megújuló energia részesedése az energiaellátásban Szlovákiának

Total Energy Supply (TES)	2016	2021	Total Energy Supply (TES)	2016	2021
Non-renewable (TJ)	937 067	1 003 615	Non-renewable (TJ)	617 584	648 506
Renewable (TJ)	132 761	148 582	Renewable (TJ)	67 905	92 707
Total (TJ)	1 069 828	1 152 197	Total (TJ)	685 490	741 213
Renewable share (%)	12	13	Renewable share (%)	10	13

Annak ellenére, hogy a két országban a megújuló energia részesedése azonos, az egyes energiaforrások közötti arányok eltérőek. Magyarország jelentősebb mértékben támaszkodik a

³⁴ internet34: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

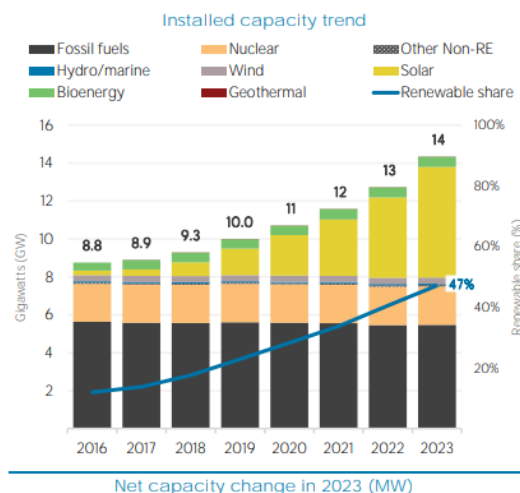
³⁵ internet35: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

napenergiára, míg Szlovákia főként a vízenergiát hasznosítja. Véleményem szerint ez a különbség egyrészt a földrajzi adottságokból fakad, hiszen Magyarország földrajzi fekvése kedvezőbb a napenergia hasznosítása szempontjából, míg Szlovákiában a vízerőművek telepítésére alkalmas folyók állnak rendelkezésre. Ez a szerkezeti eltérés jól mutatja, hogy a megújuló energiaforrások kiaknázásának hatékonysága nagyban függ a természeti adottságoktól.

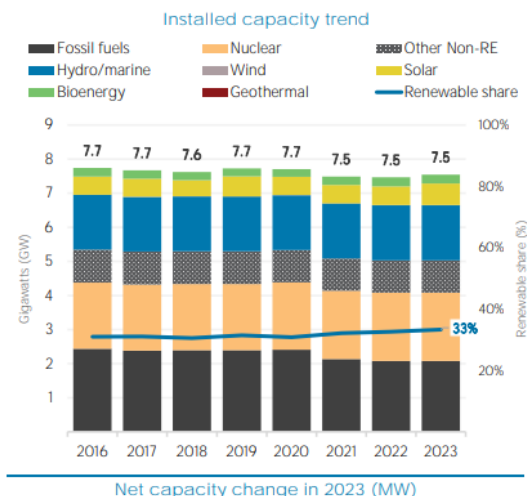
4.3. Az installált kapacitások trendjének vizsgálata

Az installált kapacitások trendjének vizsgálata Magyarország és Szlovákia esetében nemcsak az egyes országok energiaforrásainak szerkezetét és fejlődési irányvonalait tárja fel, hanem betekintést nyújt az energiaátmenet különböző megközelítéseibe is. Úgy gondolom, hogy az energiaforrások megválasztása nem csupán technológiai és gazdasági kérdés, hanem szorosan kapcsolódik az adott ország hosszú távú fenntarthatósági, klímavédelmi és gazdaságpolitikai céljaihoz is. Magyarország és Szlovákia energiaszerkezetének elemzése rámutat arra, hogy bár mindkét ország az Európai Unió tagjaként kötelezettséget vállalt a dekarbonizációs célok teljesítésére, az energiamix és az energiaforrások megválasztása jelentős különbségeket mutat amik a 18-19.ábrán megfigyelhető. Az alábbiakban részletesen ismertetem az installált kapacitások változását és összetételét, valamint értékelem, hogy ezek a trendek milyen mértékben tükrözik az országok megújuló energiaforrásokra való átállásának eltérő ütemét és irányvonalát.

18.ábra Az installált kapacitások trendjének diagrammja Magyarországról(2016-2023)
(Forrás: Internet36³⁶-37³⁷)



19.ábra Az installált kapacitások trendjének diagrammja Szlovákiáról(2016-2023)



Jelmagyarázat:Fekete - Fossil fuels (Fosszilis energiahordozók) Sötétkék - Nuclear (Atomenergia) Világoskék - Hydro/marine (Vízenergia/tengeri energia) Zöld - Bioenergy (Bioenergia) Narancssárga - Geothermal (Geotermikus energia) Sárga - Solar (Napenergia) Olívaöld - Wind (Szélenergia) Szürke - Other Non-RE (Egyéb nem megújuló energiák) Kék vonal - Renewable share (Megújuló energia aránya)

Magyarországon az installált kapacitásokban egyértelmű növekedés figyelhető meg, amelyet a megújuló energiaforrások, különösen a napenergia térnyerése dominál. A diagram alapján megállapítható, hogy a megújuló energiaforrások aránya folyamatosan növekedett 2016-tól 2023-ig. Ezzel szemben Szlovákiában a megújuló arányának növekedése kevésbé kifejezett. Ennek oka véleményem szerint az lehet, hogy Szlovákia energiapolitikájában a nukleáris energia hangsúlyosabb szerepet kap, amely az energiamix stabilitásának egyik fontos tényezője. Összességében úgy vélem, hogy Magyarország energiatermelésének növekvő részét egyre inkább a megújuló energiaforrások adják, amelyek jelentős potenciállal rendelkeznek a fenntarthatósági célok elérésében. Magyarország megújuló energiaforrásokra való átállása figyelemre méltó növekedést mutat, ami azt jelzi, hogy az ország hosszú távon elkötelezett a karbonsemlegesség és a fenntartható fejlődés mellett. Ezzel szemben Szlovákia energiamixe stabilabb, nukleáris energiára alapozott szerkezetet mutat, amely hosszú távon biztosítja az ellátás biztonságát, ugyanakkor korlátozza a megújuló terjedését. Úgy gondolom, hogy ez az eltérő megközelítés nemcsak az országok földrajzi és gazdasági

³⁶ internet36: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

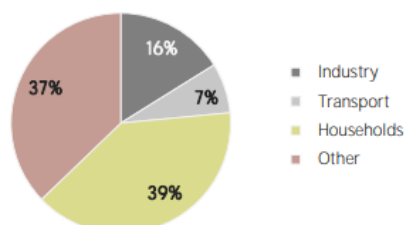
³⁷ internet37: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

adottságaira vezethető vissza, hanem az energiapolitikai prioritások különbségére is. Magyarország esetében a napenergia térnyerése és a megújulók hangsúlyosabb szerepe azt mutatja, hogy az ország nagyobb mértékben támaszkodik a megújuló energiákra mint jövőbeli energiaforrásokra. Szlovákia esetében azonban a nukleáris energia dominanciája stabilitást és hosszú távú energiafüggetlenséget biztosít, ami fontos szempont a nemzetgazdaság számára. Az adatok alapján arra a következtetésre jutok, hogy bár mindkét ország halad a karbonsemlegességi célok felé, az alkalmazott stratégiáik jelentősen eltérnek. Magyarországon a megújulók dinamikusabb növekedése fenntarthatósági szempontból ígéretes eredményeket hozhat, míg Szlovákia a nukleáris energia révén biztosít stabil energiaellátást. Véleményem szerint mindkét modellnek megvan a maga előnye és kihívása, de közös céljuk, hogy hosszú távon csökkentsék a fosszilis energiáktól való függőséget és fenntarthatóbb energiaforrásokra építsenek.

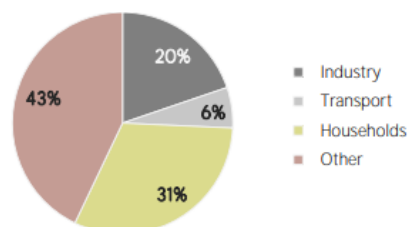
4.4 Fogyasztás megoszlása szektorok szerint

A megújuló energiafogyasztás szektoronkénti megoszlása jól tükrözi a két ország ipari és háztartási szokásainak különbségeit. Szlovákiában az ipari szektor a megújuló energiafogyasztás 43%-át teszi ki, míg Magyarországon ez az arány 37%. Véleményem szerint ez arra enged következtetni, hogy Szlovákia ipara erőteljesebben támaszkodik a megújuló energiaforrásokra, amely összhangban lehet az ország ipari struktúrájával és a megújuló energia ipari integrációjára való törekvéssel. Ezzel szemben Magyarországon a háztartások nagyobb szerepet játszanak a megújuló energia felhasználásában, 39%-os arányukkal szemben Szlovákia 31%-ával ami a 20-21.ábrán látható .

20.ábra Magyarország fogyasztási szektorok szerinti megoszlása
(Forrás: Internet38³⁸-39³⁹)



21.ábra Szlovákia fogyasztási szektorok szerinti megoszlása



³⁸ internet38: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

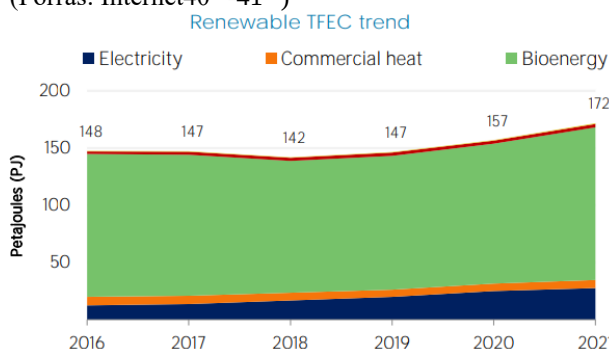
³⁹internet39: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

Úgy gondolom, hogy ez azt mutatja, Magyarországon a háztartások számára is elérhetőbbek a megújuló energiaforrások, különösen a bioenergia, amely valószínűleg könnyen hozzáférhető és gazdaságos alternatívát jelent a háztartási energiafogyasztásban.

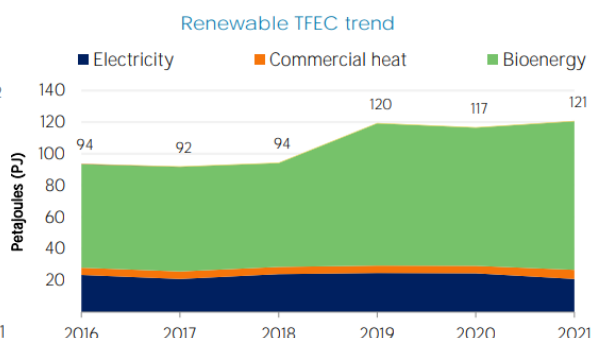
4.5 megújuló energiafogyasztás időbeli trendje

A két ország megújuló energiafogyasztásának időbeli változása szintén tanulságos. Magyarországon a megújuló energiafogyasztás 2016 és 2021 között folyamatosan növekedett, és összesen 24 petajoule-lal emelkedett, 148-ról 172 petajoule-ra. Szlovákia esetében a növekedés mérsékeltebb, 94 petajoule-ról 121 petajoule-ra nőtt ugyanezen időszak alatt amit a 22-23.ábrán megfigyelhetők.

22.ábra Magyarország időbeli trendje a megújuló energiafogyasztásban
(Forrás: Internet40-41)



23.ábra Szlovákia időbeli trendje a megújuló energiafogyasztásban



Jelmagyarázat: Sötétkék - Electricity (Villamos energia) Narancssárga - Commercial heat (Kereskedelmi hő) Zöld - Bioenergy (Bioenergia) Mindkét ábra függőleges tengelye a megújuló energiafogyasztást mutatja petajoule-ban (PJ) kifejezve. Az ábrák különbséget mutatnak a megújuló energiaforrások fogyasztásának mértékében, Magyarország esetében magasabb bioenergia felhasználás figyelhető meg, míg Szlovákiában a teljes megújuló energiafogyasztás valamivel alacsonyabb.

⁴⁰ internet40: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

⁴¹ internet41: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

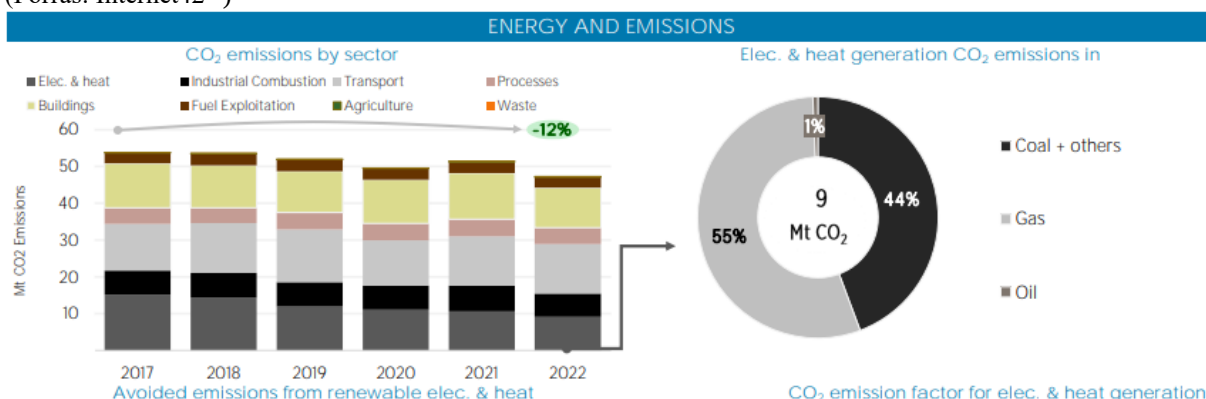
Véleményem szerint Magyarország erőteljesebb növekedése arra utal, hogy az ország intenzívebben fektet be a megújuló energiaforrások fejlesztésébe, különösen a bioenergia szektorban, amely a legjelentősebb növekedést mutatja.

Összességében Magyarország és Szlovákia megújuló energiafogyasztása hasonló mintázatokat mutat, főként a bioenergia dominanciájával, ám az egyes szektorok közötti eltérések fontos különbségekre világítanak rá. Magyarország háztartási fogyasztása kiemelkedő, míg Szlovákia inkább az ipari szektorban alkalmazza a megújuló energiaforrásokat nagyobb arányban amit a 20-21. ábrán látató. Úgy gondolom, hogy ezek az eltérések mindkét ország egyedi energiastratégiáját tükrözik, és hosszú távon meghatározóak lehetnek a megújuló energiaforrások szerepének növekedésében. Ezenfelül, a technológiai fejlődés, a kormányzati ösztönzők és a klímapolitikai célok mindkét országot egyre inkább a nap- és szélenergia felé terelhetik, amelyek egyelőre kevésbé kiaknázott források.

4.6 CO₂-kibocsátás elkerülése megújuló energiaforrások által

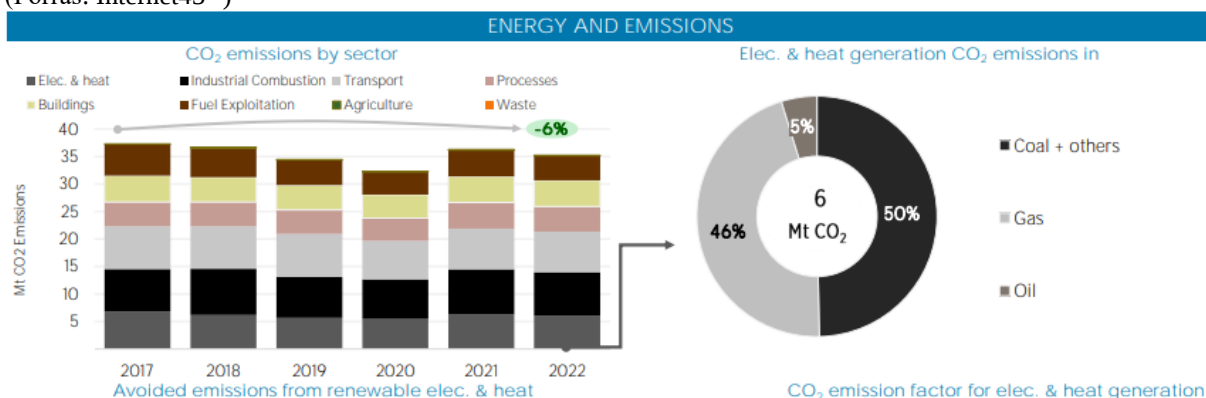
Az energiafelhasználás és a CO₂-kibocsátás alakulása napjainkban kiemelten fontos kérdés, különösen a klímaváltozás hatásainak csökkentése érdekében. Magyarország és Szlovákia, mint két közép-európai ország, amelyek gazdasági és földrajzi viszonyaiban sok hasonlóságot mutatnak, érdekes esettanulmányként szolgálhat. Ebben az elemzésben mindkét ország energiatermelési és kibocsátási mutatóit összehasonlítom (24-25. ábra), hogy rávilágítsak a lehetséges különbségekre, és megértsem a kihívásokat és lehetőségeket.

24.ábra Energia- és CO₂-kibocsátási mutatók Magyarországon
(Forrás: Internet42⁴²)



A bal oldali oszlopdiagram különböző szektorok CO₂-kibocsátását mutatja évről évre 2017-től 2022-ig, méghozzá millió tonnában (Mt CO₂). A színek az egyes szektorokat jelölik, melyek a következők: Fekete: Villamosenergia és hőtermelés Sötétszürke: Ipari égetés Világosszürke: Szállítás Sárga: Épületek Bézs vagy rózsaszínes árnyalat: Üzemanyag-kitermelés Barna: Mezőgazdaság Narancssárga: Egyéb A jobb oldalon látható kördiagram pedig az elektromos és hőtermelés CO₂-kibocsátásának forrásait mutatja. A kördiagram színei és arányai az alábbiak szerint értelmezhetők: Fekete (44%): Szénből származó kibocsátás Szürke (55%): Gázból származó kibocsátás Nagyon világos szürke vagy fehér (1%): Olajból származó kibocsátás

25.ábra Energia- és CO₂-kibocsátási mutatók Szlovákiában
(Forrás: Internet43⁴³)



⁴² internet42: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

⁴³internet43: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

A bal oldali oszlopdiagram különböző szektorok CO₂-kibocsátását mutatja évről évre 2017-től 2022-ig, méghozzá millió tonnában (Mt CO₂). A színek az egyes szektorokat jelölik, melyek a következők: Fekete: Villamosenergia és hőtermelés Sötétszürke: Ipari égetés Világosszürke: Szállítás Sárga: Épületek Bézs vagy rózsaszínes árnyalat: Üzemanyag-kitermelés Barna: Mezőgazdaság Narancssárga: Egyéb A jobb oldalon látható kördiagram pedig az elektromos és hőtermelés CO₂-kibocsátásának forrásait mutatja. A kördiagram színei és arányai az alábbiak szerint értelmezhetők: Fekete (50%): Szénből származó kibocsátás Szürke (46%): Gázból származó kibocsátás Nagyon világos szürke vagy fehér (5%): Olajból származó kibocsátás.

A villamosenergia- és hőtermelésben felhasznált tüzelőanyag-típusok szerinti kibocsátások megoszlása is jelentős eltéréseket mutat. Magyarországon a kibocsátás 44%-a szénből és egyéb fosszilis tüzelőanyagokból, 55%-a földgázból és mindössze 1%-a olajból származik. Ezzel szemben Szlovákia kibocsátásának nagy része szénből 50%, kis részben földgázból 46% és 5%-a olajból származik. A különböző energiaforrások felhasználása érdekes kérdéseket vet fel. Magyarország esetében a földgáz dominanciája a zöldebb alternatívák bevezetésére irányuló törekvéseket jelzi, míg Szlovákia esetében az olaj nagyobb szerepe azt jelzi, hogy ennek az energiahordozónak a pótlása az ország alacsony CO₂-kibocsátásához képest nehezebb egyéb forrásokból. Mindazonáltal mindkét ország nagymértékben támaszkodik a fosszilis tüzelőanyagokra, különösen a szénre és a földgázra, ami hosszú távú problémákat okozhat a dekarbonizációs célok elérésében. Összességében úgy gondolom, hogy jelentős különbségek vannak Magyarország és Szlovákia kibocsátási adatai között, részben a két ország közötti energiapolitikai és gazdasági szerkezeti különbségek miatt. A magasabb magyarországi kibocsátási szint a fosszilis tüzelőanyag-felhasználás nagyobb arányát jelzi, míg Szlovákiában az alacsonyabb CO₂ intenzitás alacsonyabb emissziós tényezőjű energiaforrásokat jelezhet. A fosszilis tüzelőanyagoktól való eltávolodás és a szén-dioxid-mentesítés mindkét ország számára kihívást jelent, de Magyarország esetében ígéretesebb ütemben haladhat a megújuló energia felhasználása. Személyes véleményem szerint Magyarország megérdemli a megújuló energia használatának további ösztönzését és a fosszilis tüzelőanyagoktól való függés csökkentését, míg Szlovákiában az alacsony kibocsátási együttartó fenntartása és javítása a jövőbeli stratégiák központi elemévé válhat.

5. A napelemek

Dolgozatomban kiemelten fontosnak tartom a napelemekkel való foglalkozást, mivel ez a megújuló energiaforrás mind Magyarországon, mind Szlovákiában nagy fejlődési potenciállal rendelkezik, és egyre fontosabb szerepet tölt be mindkét ország energiamixében. Kedvező természeti adottságai miatt mind Magyarország, mind Szlovákia nagyobb jelentőséget tulajdonít a napenergia hasznosításának, így ez a terület a fenntarthatóság szempontjából aktuális és releváns elemzési lehetőségeket kínál. Az elmúlt években mindkét országban fellendült a napelemes rendszerek kiépítése, és a napelemek beépített kapacitásának növekedésével egyre fontosabbá vált a megújuló energiára való átállás elősegítése. Magyarországon a hosszú napsütéses órák, valamint az állami és uniós támogatások növelték a napelemek népszerűségét és terjeszkedését, miközben Szlovákia is előrehaladt ezen a területen, és csökkentette a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőségét.

A napenergia az energiaszektorban mindkét ország számára megoldást jelenthet a klímaváltozás elleni küzdelemben, hiszen a napelemek telepítése közvetlenül hozzájárul az üvegházhatású gázok kibocsátásának mérsékléséhez, ami nem csak környezeti, hanem hosszú távon gazdasági előnyökkel is jár. Ezért ebben a tézisfejezetben szeretnék átfogóan bemutatni a napenergia fejlődését, a jelenlegi és jövőbeli kihívásokat, valamint a megújuló energia szektor helyzetét Magyarországon és Szlovákiában.

5.1. A napelemek működési elve

A napelemek a fotovoltai hatás alapján működnek, amely a napfényt elektromos árammá alakítja. A folyamatot először Alexandre-Edmond Becquerel fedezte fel 1839-ben, és kulcsfontosságú megújuló energiatechnológiává vált.(SOLENERGY SYSTEMS INC.(Solenergy) honlapja. Letöltés dátuma:2024.09.28.Forrás: Internet⁴⁴)

A napelemek két különböző, egymással összefüggő vékony félvezető anyagréteget tartalmaznak. Az egyik félvezető p-típusú (pozitív) szennyeződésekkel kap, a másik félvezető pedig n-típusú (negatív) szennyeződésekkel. Ezek a félvezetők általában szilíciumból készülnek, de más anyagokból is készülhetnek. Stabilitása miatt a szilícium elméletileg korlátlan ideig változatlan maradhat, így ideális az ilyen felhasználásokhoz. Az n-típusú

⁴⁴ internet44: <https://solenergy.com.ph/solar-panel-philippines-edmond-becquerel/>

félvezetők nagyon kis mennyiségű foszforral szennyezett kristályos szilíciumból készülnek. A szennyeződési folyamat révén az anyagban szabad elektronok lesznek, amelyek nem vesznek részt a rácskötésekben, ezért negatív félvezetővé válik. A P-típusú félvezetők is kristályos szilíciumból készülnek, amely kis mennyiségű bórral szennyezett, így elektronhibák jelennek meg benne. Ezek az elektronhibák ("lyukak") pozitív félvezetőt eredményeznek. Ha két egymással szemben lévő szennyezőréteget összekapcsolunk, a lyukak és elektronok semlegesítődnek és feszültség keletkezik közöttük.(NVSolar(nvsolar)honlapja. Letöltés dátuma: 2024.09.28. Forrás: Internet⁴⁵)

A fotovoltaiikus hatás

Ez a hatás képezi a napelem működésének alapvető mechanizmusát. Amikor a napból érkező fotonok eléri a napelem felületét, az energia felszabadítja a szilícium atomjaiból az elektronokat. Ezek az elektronok elkezdenek áramlani a PN-csatlakozás mentén, ami elektromos áramot hoz létre. Ezt az áramot egy külső áramkörbe vezetik, így a napelem által termelt energiát fel lehet használni .(International Renewable Energy Agency(IRENA)honlapja. Letöltés dátuma: 2024.10.10. Forrás: Internet⁴⁶)

Az áramtermelés folyamata

Az egyes napelemek által termelt feszültségeket sorba adják, hogy nagyobb feszültségű egyenáramot (DC) állítsanak elő. Ez az egyenáram azonban nem használható közvetlenül a legtöbb háztartási és ipari alkalmazásban, mert általában váltakozó áramot (AC) igényelnek. Itt jön képbe az inverter, amely az egyenáramot váltakozó árammá alakítja át, lehetővé téve a napenergia hatékony felhasználását. Ha a napelemek azok az "izmok", amelyek energiát termelnek, akkor az inverter az "agy", amely irányítja az átalakítási folyamatot. A következő feladatokat végzi el az inverter. Egyenáram átalakítása váltóárammá: Az inverter legalapvetőbb funkciója a DC váltóárammá alakítása.(MET Central Europe/MET Magyarország(MET) honlapja. Letöltés dátuma: 2024.10.10. Forrás Internet⁴⁷)

⁴⁵ internet45: <https://nvsolar.hu/tudastar/a-napelemek-mukodese/>

⁴⁶ internet46: <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/Letting-in-the-Light-How-solar-photovoltaics-will-revolutionise-the-electricity-system>

⁴⁷ internet47: <https://hu.met.com/hu/mind-the-fyouture/mindthefyouture/napelem-mukodese>

5.2. A napelemek hatékonysága

AZ ÁTALAKÍTÁS HATÉKONYSÁGÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Nem minden napfény, amely eléri a PV cellát, alakul át elektromos árammá. Valójában a legtöbb elveszett. A napelem tervezésében számos tényező játszik szerepet abban, hogy korlátozza a cellák azon képességét, hogy átalakítsa a kapott napfényt. Ha ezeket a tényezőket szem előtt tartva tervezünk, hogyan lehet nagyobb hatékonyságot elérni és ezt ki is tudjuk számolni a 26. ábra segítségével.

Hullámhossz – A fény fotonokból – vagy energiacsomagokból – áll, amelyek hullámhossza és energiája széles skálájával rendelkezik. A Föld felszínét elérő napfény hullámhossza az ultraibolya sugárzástól a látható tartományon át az infravörösig terjed. Amikor a fény a napelem felületére ér, néhány foton visszaverődik, míg mások közvetlenül áthaladnak rajta. Néhány elnyelt foton energiája hővé alakul.

Rekombináció – A közvetlen rekombináció, amelyben a fény által generált elektronok és lyukak találkoznak egymással, rekombinálódnak és fotont bocsátanak ki, megfordítja azt a folyamatot, amelyből a napelemben elektromosság keletkezik. Ez az egyik alapvető tényező, amely korlátozza a hatékonyságot. A közvetett rekombináció egy olyan folyamat, amelyben az elektronok vagy lyukak szennyeződéssel, a kristályszerkezet hibájával vagy interfészével találkoznak, ami megkönnyíti a rekombinációt és az energiájuk hőként való felszabadítását.

Hőmérséklet – A napelemek általában alacsony hőmérsékleten működnek a legjobban. Magasabb hőmérséklet hatására a félvezető tulajdonságai eltolódnak, ami az áramerősség enyhe növekedését, de a feszültség jóval nagyobb csökkenését eredményezi. A szélsőséges hőmérséklet-emelkedés károsíthatja a cellát és más modulanyagokat is, ami rövidebb működési élettartamhoz vezethet. Mivel a sejtekre besugárzó napfény nagy része hővé válik, a megfelelő hőkezelés javítja a hatékonyságot és az élettartamot is. (ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY(energy.gov)honlapja. Letöltés dátuma: 2024.10.10. Forrás: Internet⁴⁸)

⁴⁸ internet48: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-performance-and-efficiency>

26.ábra Napelem panel hatékonyságának képlete
(Forrás: Internet49⁴⁹)

Napelem panel hatékonyság

$$\text{Hatékonyság (\%)} = \frac{P_{\max}}{\text{Terület} \times 1.000} \times 100$$

STC = 1.000W
P_{max} = maximális panel teljesítmény
Terület (m²)

$$\text{QCells G8 355Wp napelem} = \frac{355}{1,740 \times 1,030 = 1,7922 \times 1.000} \times 100 = 19,8\%$$

5.3. Energiatárolás és hálózatra csatlakozás

A napelemek energiatarolása és hálózatra csatlakoztatása elengedhetetlen a hatékony és fenntartható energiarendszerek kialakításában. Az energiatarolás lehetővé teszi, hogy a napelemek által termelt, de azonnal fel nem használt energiát későbbi felhasználásra tároljuk, ami különösen fontos, mivel a napenergia termelése nem folyamatos, hanem időjárásfüggő és napszakhoz kötött (Sharma és mtsai, 2021). Ezzel szemben a hálózatra csatlakoztatás lehetőséget biztosít a termelt többletenergia visszatáplálására a villamosenergia-rendszerbe, hozzájárulva a rendszer rugalmasságához és a hálózati stabilitás fenntartásához (Tan és mtsai, 2022).

5.3.1. Energiatarolás a napelemes rendszerekben

A napelemes rendszerekhez kapcsolódó energiatarolás célja, hogy kiegyenlítse a termelés és a fogyasztás közötti eltéréseket. A leggyakoribb megoldások közé tartoznak az akkumulátoros energiatarolók, különösen a lítium-ion akkumulátorok, amelyek az energiasűrűség, az élettartam és a költséghatékonyság szempontjából jelenleg a leghatékonyabbak (Chen és mtsai, 2020). Az akkumulátoros tárolók alkalmazása lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy az energiafogyasztásuk egy részét a napsütésmentes időszakokra időzítsék, ezzel csökkentve az áramhálózattól való függőségüket és növelve az energiafüggetlenséget. A tárolási rendszerek előnyei közé tartozik az energiabiztonság növelése és a hálózati terhelés

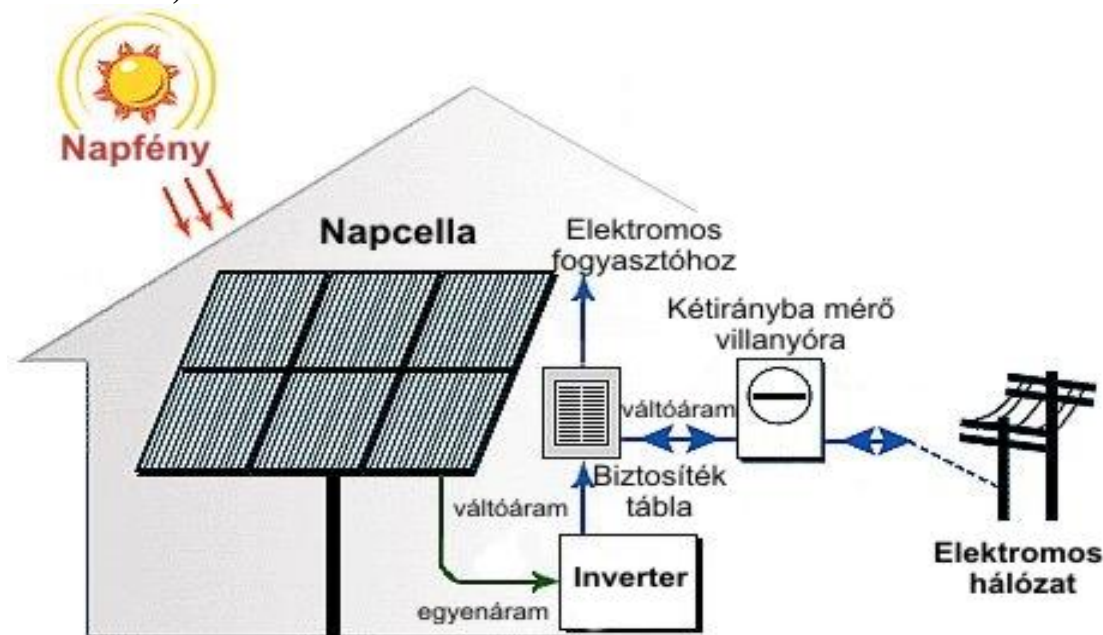
⁴⁹ internet49: <https://nvsolar.hu/wp-content/uploads/2021/03/Napelem-panel-hatekonysag.png>

csökkentése a csúcsidőszakokban, így támogatva a megújuló energiaforrások nagyobb arányú integrációját. Emellett a decentralizált energiatárolás lehetősége új perspektívákat kínál az energiafogyasztás tervezésében és az energiaáramlás irányításában (Yekini Suberu és mtsai, 2022).

5.3.2. Hálózatra csatlakoztatás

A napelemes rendszerek hálózatra csatlakoztatása kulcsfontosságú a megújuló energiaforrások által termelt energia hatékony felhasználása érdekében. A hálózatra csatlakoztatott rendszerek lehetővé teszik, hogy a napelemes rendszerek által termelt többletenergiát a villamosenergia-hálózatba táplálják. Ezáltal a fel nem használt energia nem vész kárba, hanem más fogyasztók számára is hozzáférhetővé válik, ami hozzájárul a hálózati rugalmassághoz és a rendszerszintű hatékonysághoz amit a 27.ábrán láthatunk (Moseley és Garche, 2014).

27.ábra A hálózaton lévő napelem rendszer
(Forrás: Internet50⁵⁰)



A hálózatra csatlakoztatás további kihívásokat rejt, különösen a hagyományos energiarendszerekhez való integráció során. Az intelligens hálózatok, mint például a „smart grid” technológiák lehetőséget adnak arra, hogy a decentralizált energiatermelést hatékonyabban kezeljék, mivel ezek a rendszerek lehetővé teszik a kétirányú energia- és

⁵⁰ internet50: <https://technosolar.hu/hu/tervezes>

adatkommunikációt az energiaszolgáltató hálózat és a fogyasztók között (Chen et al., 2020). Az intelligens hálózatok segítségével optimalizálható a megújuló energia termelése és felhasználása, valamint hatékonyan irányítható a villamosenergia-áramlás a fogyasztói igények figyelembevételével (Moseley és Garche, 2014). A napelemek energiatárolása és hálózatra csatlakoztatása a megújuló energiaforrások integrációjának kulcsfontosságú eleme. Az energiatárolás és a hálózati csatlakozás alkalmazása új perspektívákat nyit az energiatermelésben, hozzájárulva a fenntartható és megbízható energiarendszerek kiépítéséhez. Az optimális energiatárolás és hálózati integráció szükséges a napenergia teljes potenciáljának kiaknázásához és az energiabiztonság növeléséhez (Sharma et al., 2021; Tan et al., 2022).

6. Összefoglalás

A klímaváltozás, a fosszilis energiaforrások kimerülése és az energiafüggőség csökkentésének igénye egyre hangsúlyosabbá teszi a megújuló energiaforrásokra való áttérés szükségességét globálisan és regionálisan egyaránt. Szakdolgozatom célja az volt, hogy átfogó képet nyújtsak Magyarország és Szlovákia megújuló energiaforrásokra alapozott energiastratégiáiról, és értékeljem az ezekben rejlő lehetőségeket, korlátokat és a jövőbeni fejlődési potenciálokat. Elemzésem során a két ország természeti adottságaira támaszkodva elemeztem a nap-, szél-, víz- és geotermikus energia szerepét és kihasználtságát. Magyarország esetében a magas napsütéses óraszám a napenergia-hasznosítás jelentős növekedéséhez vezetett, amely különösen az elmúlt évtizedben vált kiemelkedő fontosságúvá. A geotermikus energia kihasználása is jelentős potenciált képvisel, azonban a jelenlegi infrastruktúra és szabályozási környezet korlátozza ennek széleskörű alkalmazását. Szlovákia természeti adottságai, különösen a hegyvidéki tájak és a bővízü folyók, a vízenergia hasznosításának kedveznek, amely az ország energiamixében kiemelt szerepet játszik. A szélenergia mindkét országban alulreprezentált, ami részben a földrajzi adottságokból, részben a nem mindig kedvező szabályozási környezetből adódik. Az installált megújuló kapacitások elemzése alapján Magyarország energiastratégiai céljai középpontjában a napenergia jelentős szerephez jut, míg Szlovákia egy stabilabb, de kevésbé diverzifikált energiamixet tart fenn, amelyben a megújulók mellett a nukleáris energia is kiemelt szerepet játszik. Az energiafogyasztás szektoronkénti megoszlása arra világít rá, hogy Magyarországon a háztartási szektor aktívabb szerepet vállal a megújulók hasznosításában, míg Szlovákiában az ipari szektor dominál. A globális klímacélok elérése érdekében mindkét ország számára prioritásként szerepel a CO₂-kibocsátás csökkentése és az energiafüggetlenség növelése. E célok megvalósítása megkívánja a megújuló energiaforrások részesedésének folyamatos növelését, a környezetvédelmi szempontok integrálását a gazdasági döntésekbe, valamint a technológiai innovációk gyors ütemű bevezetését az energiaiparban. Az elemzések alapján megállapítható, hogy Magyarország és Szlovákia eltérő energetikai prioritásai ellenére mindkét országban reális lehetőség van a megújuló energiaforrások arányának növelésére. Az energiaátmenet sikeréhez hozzájárulhatnak a közösségi energiatermelési projektek, a nemzetközi együttműködések és a lakossági szemléletformálás, amelyek mindkét országban segíthetik a megújuló energiaforrásokra való áttérést és a fenntartható jövő kialakítását. A dolgozat eredményei alapján egyértelműen megállapítható, hogy Magyarország és Szlovákia eltérő, a saját természeti és politikai adottságaikra alapozott stratégiát követnek a megújuló

energiaforrásokra való átállásban. Ez a különbség egyrészt a földrajzi adottságokból, másrészt az energiapolitikai prioritásokból és az energetikai infrastruktúra eltérő fejlettségéből fakad. Magyarországon az utóbbi években a napenergia felhasználása kiemelkedő növekedést mutatott, amely jelentős szerepet játszik az ország energiafüggetlenségének erősítésében és a CO₂-kibocsátás csökkentésében. A napenergia termelésének bővítése lehetőséget kínál arra, hogy az ország fokozatosan csökkentse a fosszilis energiaforrásoktól való függőségét, hozzájárulva a környezeti fenntarthatóság eléréséhez.

Ezzel szemben a geotermikus energia kiaknázása még jelentős fejlesztési lehetőségeket rejt Magyarországon. Az ország geológiai adottságai lehetővé tennék a geotermikus energia szélesebb körű hasznosítását, különösen a távfűtési rendszerekben és az ipari folyamatok hőellátásában. Azonban a geotermikus energia jelenlegi kihasználtsága alacsonyabb, ami azt jelzi, hogy a technológiai fejlesztések és a szabályozási támogatás bővítése nélkülözhetetlen ahhoz, hogy Magyarország e területen is kihasználhassa a rendelkezésre álló potenciált.

Szlovákia esetében a megújuló energiaforrások közül a vízenergia kiemelt szerepe természetes módon következik az ország hegyvidéki és vízrajzi adottságaiból. A vízenergia stabil, kiszámítható és nagy kapacitású forrás, amely megbízható energiaellátást biztosít. Ugyanakkor Szlovákia energiamixében a nukleáris energia aránya is kiemelkedő, amely stabil alapellátást garantál, de egyben korlátozhatja a megújuló energiaforrások, így például a nap- és szélenergia térnyerését. Ez a kettős megközelítés, amely ötvözi a vízenergia és a nukleáris energia használatát, stabilitást nyújt, azonban a megújuló energiaforrásokra való átállás ütemét mérsékli, mivel az infrastruktúra bővítéséhez további beruházások és technológiai innovációk szükségesek.

A szélenergia kihasználtsága mind Magyarországon, mind Szlovákiában viszonylag alacsony, amely részben a földrajzi adottságok következménye, részben pedig a technológiai és szabályozási kihívások eredménye. A szélenergia hatékonysága nagyban függ a szélviszonyoktól és a megfelelő helyszínek rendelkezésre állásától, így ezen a téren mindkét országban további fejlesztések szükségesek ahhoz, hogy az energiamixben a szélenergia is nagyobb szerepet kaphasson. Mindkét ország számára közös cél a megújuló energiaforrások arányának növelése az energiamixben, ami hozzájárul a szén-dioxid-kibocsátás csökkentéséhez és az Európai Unió klímacéljainak eléréséhez. Azonban a megújuló energiára való átállás során számos gazdasági, társadalmi és technológiai kihívással kell szembenézni, amelyek befolyásolják az átállás ütemét és hatékonyságát. Az energiatárolás fejlesztése, az intelligens hálózatok kiépítése, valamint a megújuló energiaforrások integrációját támogató szabályozási keretrendszerek kialakítása nélkülözhetetlen az energiaátmenet sikeréhez. A

megújuló energiaforrásokba történő beruházások ösztönözhetik a gazdasági növekedést, javítják az energiafüggetlenséget, és támogatják a munkahelyteremtést, ezáltal hozzájárulva a társadalmi és gazdasági fejlődéshez. A dolgozat rávilágít arra, hogy bár Magyarország és Szlovákia eltérő utakon haladnak a megújuló energiaforrások alkalmazásában, közös célkitűzésük a fenntartható fejlődés előmozdítása és a környezeti terhelés csökkentése. A megújuló energiák fejlesztése és alkalmazása mindkét ország számára lehetőséget nyújt arra, hogy hosszú távon csökkentsék függőségüket a fosszilis energiahordozóktól, ezáltal hozzájárulva a globális klímavédelmi célok eléréséhez és a környezetbarát gazdasági fejlődés biztosításához.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni hálámat mindazoknak, akik támogatták tanulmányaim és szakdolgozatom elkészítése során. Különösen szeretném megköszönni Dr. habil. Bali Lórántnak, aki vállalta, hogy belső konzulensem lesz, és folyamatos segítségével, szakmai iránymutatásával lehetővé tette dolgozatom sikeres megírását. Nélküle nem jöhetett volna létre ez a munkám.

Ábrajegyzék

- 1. ábra** Az évi átlagos napfénytartam (óra) Magyarországon az 1991-2020 közötti időszakban, műholdas adatok alapján
- 2. ábra** A napfénytartam átlagos havi értékei Magyarországon az 1991-2020 közötti időszak alapján
- 3. ábra** Az uralkodó szélirányok a 2001-2020 közötti időszak alapján
- 4. ábra** Országos átlagos szélirányok gyakorisága 2001-2020 közötti időszak alapján
- 5. ábra** Az évi átlagos szélesebbesség a 2001-2020 közötti időszak alapján
- 6. ábra** Magyarország vízrajzi térképe
- 7. ábra** A felső-pannóniai aljzaton mért víz hőmérséklet
- 8. ábra** Hosszú távú átlagos horizontális sugárzás 1994-2020 közötti időszakban
- 9. ábra** Átlagos éves napsütés az 1961-2010 közötti időszakban
- 10. ábra** A tiszta napok átlagos éves száma az 1961 és 2010 közötti időszakban
- 11. ábra** Éves átlagos szélesebbesség 1961 és 2010 között
- 12. ábra** Műszakilag hasznosítható vízenergia potenciállal rendelkező profilok térképe
- 13. ábra** A Szlovák Köztársaság tektonikus vázlata (Biely szerk., 1996)
- 14. ábra** Magyarország villamosenergia-termelés
- 15. ábra** Szlovákia villamosenergia-termelés
- 16. ábra** Összesített megújuló energia részesedése az energiaellátásban Magyarországnak
- 17. ábra** Összesített megújuló energia részesedése az energiaellátásban Szlovákiának
- 18. ábra** Az installált kapacitások trendjének diagrammja Magyarországról(2016-2023)
- 19. ábra** Az installált kapacitások trendjének diagrammja Szlovákiáról(2016-2023)
- 20. ábra** Magyarország fogyasztási szektorok szerinti megoszlása
- 21. ábra** Szlovákia fogyasztási szektorok szerinti megoszlása
- 22. ábra** Magyarország időbeli trendje a megújuló energiafogyasztásban
- 23. ábra** Szlovákia időbeli trendje a megújuló energiafogyasztásban
- 24. ábra** Energia- és CO₂-kibocsátási mutatók Magyarországon
- 25. ábra** Energia- és CO₂-kibocsátási mutatók Szlovákiában
- 26. ábra** Napelem panel hatékonyságának képlete
- 27. ábra** A hálózaton lévő napelem rendszer

Szakirodalom

Balázs, I., Kováč, M., & Molnár, G. (2015). *Geotermikus energia potenciál és hasznosítás Szlovákiában*. Szlovák Geológiai Intézet.

Barta, J. (2018). *Szélenergia lehetőségei Magyarországon*. Energia Kiadó.

Chen, C., et al. (2020). *Battery Storage Solutions in Renewable Energy Systems*. Sustainable Energy Review, 56(2), 112-130.

Geotermális Egyesület. A geotermikus energia hasznosítása Magyarországon. Elérhető: <https://www.geothermal.hu/download>

Horváth, M. és Jurík, R. (2021). *Fotovoltaikus rendszerek lehetőségei Szlovákiában*. Szlovák Energetikai Központ.

Kiss, G., Nagy, A. és Tóth, M. (2022). *Napenergia-fejlesztések Magyarországon*. Megújuló Energia Központ.

Kováč, J. (2019). *A szlovák vízenergia hasznosítása és perspektívái*. Megújuló Energia Központ.

Kovács, L. (2019). *Geotermikus energia alkalmazása Magyarországon*. Földtani Kutatások Központja.

Mihálik, S. (2021). *Szlovákia energia- és környezetpolitikai céljai*. Környezetvédelmi Kutatóintézet.

Molnár, E. és Varga, Z. (2020). *A napenergia-hasznosítás magyarországi potenciálja*. Zöld Energia.

Moseley, P. T., & Garche, J. (2014). *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*. Elsevier.

Nagy, J. és Horváth, B. (2020). *Megújuló energiaforrások és fenntarthatóság Magyarországon*. Energia Jövője Alapítvány.

Novák, D., et al. (2020). *Megújuló energiaforrások és Szlovákia energetikai függetlensége*. Szlovák Energiaügyi Közlöny.

Papp, S. (2021). *Energiafüggetlenség és megújuló energiaforrások*. Fenntarthatósági Kutatóintézet.

Pavlíček, F. (2020). *Szélenergia lehetőségei és korlátai Szlovákiában*. Energiahatékonysági Alapítvány.

Sharma, K., et al. (2021). *Renewable Energy and Storage Solutions*. Renewable Energy Journal, 45(3), 159-176.

- Šimon, M., Doležalová, M., & Krivý, M. (2021). *Geotermális energia és a környezeti fenntarthatóság Szlovákiában*. Szlovák Tudományos Akadémia.
- Szabó, A. (2022). *Napenergia-fejlesztések Szlovákiában és az európai klímacélok*. Energiapolitikai Közlemény.
- Szabó, P. (2021). *Magyarország megújuló energiája és az energiamix átalakítása*. Energiapolitikai Közlemény.
- Tan, M., et al. (2022). *Integration of Solar Power in Modern Power Systems*. Energy Systems Engineering, 12(1), 89-107.
- Tóth, A. N. (2019). A geotermikus energia szerepe Magyarország energiagazdálkodásában. *Magyar Tudomány*, 1822-1833. Elérhető:
https://www.epa.hu/00600/00691/00195/pdf/EPA00691_mtud_2019_12_1822-1833.pdf
- Tóth, Z., Szabó, L., & László, B. (2020). *A geotermikus energia jövője és technológiai fejlődése Szlovákiában*. Szlovák Energetikai Hivatal.
- Varga, T. (2021). *Klímacélok és megújuló energiák szerepe Magyarországon*. EU Energia Stratégiai Főosztály.

7. Internetes Források

internet1:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/ Letöltési dátum:2024.08.11.

internet2:https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/ Letöltési dátum:2024.08.11.

internet3:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/
Letöltési dátum:2024.08.11.

internet4:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/
Letöltési dátum:2024.08.11.

internet5:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/
Letöltési dátum:2024.08.11.

internet6:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/
Letöltési dátum:2024.08.11.

internet7:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/
Letöltési dátum:2024.08.11.

internet8:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/
Letöltési dátum:2024.08.11.

internet9:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/
Letöltési dátum:2024.08.11.

internet10:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/
Letöltési dátum:2024.08.11.

internet11:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/
Letöltési dátum:2024.08.11.

internet12:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/
Letöltési dátum:2024.08.11.

internet13: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszettudomanyok/termeszetismeret/ember-a-termeszetben-5-osztaly/magyarorszag-domborzati-es-vizrajzi-terkepe/magyarorszag-vizrajza>
Letöltési dátum:2024.08.15.

internet14:<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszettudomanyok/termeszetismeret/ember-a-termeszetben-5-osztaly/magyarorszag-domborzati-es-vizrajzi-terkepe/magyarorszag-vizrajza>
Letöltési dátum:2024.08.15.

internet15:<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszettudomanyok/termeszetismeret/ember-a-termeszetben-5-osztaly/magyarorszag-domborzati-es-vizrajzi-terkepe/magyarorszag-vizrajza>
Letöltési dátum:2024.08.15.

internet16: <https://www.imeteo.sk/spravy/sturovo-je-mesto-s-najvyssim-poctom-slnečných-dni-v-sr> Letöltés dátuma: 2024.08.16.

internet17:<https://www.imeteo.sk/spravy/rok-2021-patri-k-najslnečnejším-za-posledných-60-rokov> Letöltés dátuma: 2024.08.16.

internet18: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/40/SolarGIS-Solar-map-Slovakia-sk.png/1280px-SolarGIS-Solar-map-Slovakia-sk.png> Letöltés dátuma: 2024.08.16.

internet19: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064> Letöltés dátuma:2024.08.21.

internet20: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064> Letöltés dátuma:2024.08.21.

internet21: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064> Letöltés dátuma:2024.08.21.

internet22: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064> Letöltés dátuma:2024.08.21.

internet23: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064> Letöltés dátuma:2024.08.21.

internet24: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064> Letöltés dátuma:2024.08.21.

internet25: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064> Letöltés dátuma:2024.08.21.

internet26: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064> Letöltés dátuma:2024.08.21.

internet27: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1064> Letöltés dátuma:2024.08.21.

internet28: https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=sit_cele Letöltés dátuma:2024.09.05.

internet29: <https://www.sapi.sk/vodna-energia> Letöltés dátuma: 2024.09.10.

internet30: <https://www.sapi.sk/vodna-energia> Letöltés dátuma: 2024.09.10.

internet31: <https://www.geothermal.hu/download> Letöltés dátuma:2024.09.12.

internet32-33: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf Letöltés dátuma: 2024.09.12.

internet34-35: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf Letöltés dátuma: 2024.09.12.

internet36-37: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf Letöltés dátuma: 2024.09.12.

internet38-39: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf Letöltés dátuma: 2024.09.12.

internet40-41: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf Letöltés dátuma: 2024.09.12.

internet42-43: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf Letöltés dátuma: 2024.09.12.

internet44: <https://solenergy.com.ph/solar-panel-philippines-edmond-becquerel/> Letöltés dátuma: 2024.09.28.

internet45: <https://nvsolar.hu/tudastar/a-napelemek-mukodese/> Letöltes dátuma: 2024.09.28.

internet46: <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/Letting-in-the-Light-How-solar-photovoltaics-will-revolutionise-the-electricity-system> Letöltés dátuma: 2024.10.10.

internet47: <https://hu.met.com/hu/mind-the-fyouture/mindthefyouture/napelem-mukodese> Letöltés dátuma: 2024.10.10.

internet48: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-performance-and-efficiency> Letöltés dátuma: 2024.10.10.

internet49: <https://nvsolar.hu/wp-content/uploads/2021/03/Napelem-panel-hatekonysag.png> Letöltés dátuma: 2024.10.10

internet50: <https://technosolar.hu/hu/tervezes> Letöltés dátuma: 2024.10.10

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Bartalos Gellért
A Hallgató Neptun kódja: NTUYIR
A dolgozat címe: Magyarország és Szlovákia összehasonlítása megújuló energiák hasznosításának lehetőségeivel
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Vidékfejlesztés- és Fenntartható Gazdaság Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Vidék- és Területfejlesztési Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

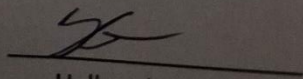
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

-nem titkosított dolgozat a védést követően

-titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024 év október hó 29. nap


Hallgató aláírása

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.1. sz. melléklete: Konzulensi nyilatkozat

NYILATKOZAT

Barabás Gellért (név) (hallgató Neptun azonosítója: NTUYIR)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: 2024 év november hó 01 nap

Dr. Baki László
belső konzulens