

37. Országos Tudományos Diákköri Konferencia
Had- és Rendészettudományi Szekció
Budapest, 2025. április 22–24.
Nemzeti Köszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

Energiabiztonság
– energetikai célú hidrogénfelhasználás – Magyarországon

Jelige: *Akvamarin*

Pályamunka lezárásának időpontja: 2024. 11.

2025.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
1. Elméleti háttér – Az energiabiztonság	7
1.1. Az Antant hatalmak olajfölénye.....	9
1.1.1. Energia és Magyarország fegyveres ereje.....	11
1.2. Németország és a szintetikus üzemanyaggyártás.....	12
1.2.1. Az alternatív üzemanyagok gyártása és Magyarország energiabiztonsága	14
1.3. Az olajfegyver.....	15
1.3.1. Az olajfegyver Magyarországon	18
1.4. Részösszefoglalás.....	19
2. Magyarország energetikai mutatói.....	20
2.1. Az energiafüggőség kérdése	20
2.1.1. Az energiafüggőség alternatív meghatározása.....	21
2.2. Fosszilis energiahordozók hazai termelése és behozatala.....	23
2.3. Az energiaintenzitás kérdése.....	24
2.4. A villamosenergia-termelés összetétele és a teljes villamosenergia-felhasználás.....	26
2.5. A végső energiafelhasználás legjelentősebb tényezői Magyarországon	28
2.5.1. A közúti közlekedés energiafelhasználása	29
2.5.2. Az ipar energiafelhasználása.....	30
2.5.3. A lakossági fűtés energiafelhasználása	31
2.6. Részösszefoglalás.....	32
3. A hidrogénfelhasználás lehetőségei a magyar energetikában.....	33
3.1. Hidrogén üzemanyagcellák.....	34
3.2. Hidrogén bekeverése a földgázrendszerbe.....	36
3.3. Alternatív üzemanyagok előállítása	38
3.4. Energiatárolás.....	42
3.5. Részösszefoglalás.....	44

Záró gondolatok, összegzés	45
Felhasznált Források	48
Mellékletek.....	55

Bevezetés

Témaválasztás indoklása

Magyarországon az energiaárak az elmúlt öt évben rendkívül volatilisek voltak. A 2019 végén elindult koronavírus-járvány hatására az árak először szélsőségesen lecsökkentek, majd a pandémiát követően ugyanolyan gyorsasággal meg is emelkedtek. Ezután, alighogy vége lett a járványnak és a vele járó korlátozásoknak, 2022-ben Oroszország megindította Ukrajna elleni háborúját, melynek hatására az energiaárak újabb, robbanásszerű növekedésen mentek keresztül világszerte, de mindenekelőtt Európában. Magyarországon az egymást követő energiaár-növekedések a rendszerváltoztatás óta jelentős pénzromlást eredményeztek és annak érdekében, hogy a jövőben ez ne történhessen meg újra, Magyarország energetikai rezilienciáját növelnünk szükséges és az erről való gondolkodást elő kell segítenünk. Dolgozatommal ehhez a folyamathoz szeretnék hozzájárulni.

Hipotézis

Hipotézisem az Európai Bizottság azon központi gondolatára építettem, mely szerint a hidrogén lehet a kulcsa az Európai Unió dekarbonizációjának, illetve az energetikai átállás elérésének.¹ Ennek megvalósulását a megújuló-, illetve karbonszegény hidrogén előállító technológiák és a hidrogénfelhasználás lehetőségeinek kiterjesztésében látja megvalósíthatónak a Bizottság.² Kutatásom célja, hogy bemutassam, a hidrogén alkalmazása nemcsak a klíma- és környezetvédelmi célok elérésében lehet Hazánk segítségére, de Magyarország energiabiztonságát érintő kihívásokra is adekvát választ nyújthat.

Aktualitás

A dolgozat elkészítésekor (2024 ősze) Magyarországon több hidrogéntekológiákat érintő pilot-projekt került nemrég átadásra vagy váltotta valóra a hozzáfűzött reményeket. 2024 első és második negyedében kettő új zöldhidrogén-előállító üzem került átadásra, valamint a Magyar Földgáztároló Zrt. gondozásában a hidrogén földgázrendszerbe keverhetőségével foglalkozó Akvamarin projekt is sikeresnek bizonyult. Az újból elszigetelődőnek tűnő világban az energetikai kapcsolatok alapvető fontosságúnak számítanak és Magyarország

¹ Az Európai Bizottság 2020. július 8.-i COM/2020/301 final közleménye AZ EURÓPAI PARLAMENTNEK, A TANÁCSNAK, AZ EURÓPAI GAZDASÁGI ÉS SZOCIÁLIS BIZOTTSÁGNAK ÉS A RÉGIÓK BIZOTTSÁGÁNAK Hidrogénstratégia a klímasemleges Európáért

² Az Európai Bizottság COM/2020/301 final közleménye

Oroszországgal folytatott energiahordozó kereskedelme, illetve a nyugati szövetségi rendszerbe való beágyazottsága több kérdést is felvet a jövő energiaellátás-biztonságát illetően.

Források és szerzők

Magyar nyelvű szakirodalom a hidrogén és az energiabiztonság vonatkozásában nem igazán áll rendelkezésre és elsődlegesen csak a hidrogén vegyi- fizikai- és mérnöki szempontokból releváns aspektusait érinti, mindazonáltal, az energiabiztonsággal foglalkozó szakirodalom igen bőséges. Szeretném itt külön kiemelni Dr. Deák András György munkásságát, amely az energiabiztonsággal való mélyebb megismerkedésre motivált és nagyban inspirálta a témaválasztásomat is. Ami a külföldi szakirodalmat illeti, elsősorban Daniel Yerginnek a kőolaj történetével foglalkozó *A Zsákmány*³ című kötetét emelném ki. Az egyes számadatok vonatkozásában az Eurostat és a Központi Statisztikai Hivatal, valamint az amerikai Energiaügyi Minisztérium adataira támaszkodtam.

Kutatási módszertan

A dolgozat elkészítése során kombinált módszertant alkalmazok, vegyesen kvalitatív és kvantitatív módszereket ötvözve, amely elsősorban szekunder adatgyűjtésre és statisztikai elemzésekre épít. A választott módszerek lehetővé teszik a témában korábban készült tanulmányok és statisztikák elemzését, valamint a témával foglalkozó kutatók irodalmi munkájának szintézisét.

A dolgozat felépítése

A dolgozat első fejezetében történelmi példákon keresztül teszek kísérletet az energiabiztonság kiemelt mivoltának alátámasztására, valamint a történelmi tapasztalatot a jelenkori Magyarország kihívásaival helyezem párhuzamba. A második fejezetben Magyarország energetikai jelenét mutatom be, rámutatva a magyar energiamix és a hazai fosszilis energiaforrások termelésében rejlő kockázatokra, valamint a hazai energiafogyasztás legjelentősebb tényezőire. A harmadik fejezetben a különböző hidrogénfelhasználási technológiákat mutatom be, szem előtt tartva azok alkalmazhatóságát Magyarországon, továbbá megvizsgálom azt is, hogy ezek a technológiák mennyiben járulhatnak hozzá Magyarország energetikai szuverenítéséhez.

³ Daniel YERGIN (1991): *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*. New York, Simon & Schuster. Ónodi-Szabó Lenke fordításában, Antall József Tudásközpont (2018)

A dolgozat végén egy összegzés keretében megállapítom, mely alkalmazása(i) lehet a hidrogénnek Magyarország energiabiztonságának támogatásában a legjobb, továbbá kijelölöm a lehetséges jövőbeli kutatásaim irányait.

1. Elméleti háttér – Az energiabiztonság

Napjaink Magyarország számára a biztonság sokkal több mindent jelent, mint a száz évvel ezelőtti Magyarország számára, mégis, több a hasonlóság, mint elsőre gondolnánk. Az első világháború lezárását követő években Magyarország egy teljesen megújult biztonsági környezetben találta magát, akárcsak a bipoláris világrend kialakulásakor vagy a Varsói Szerződés és a Szovjetunió szétesésekor (egyben az unipoláris pillanat hajnalán). Száz éve a legnagyobb fenyegetést a Kis-Antant országainak barátságtalan, fojtogató katonai szorítása jelentette és az oly friss élménye a bel- és külpolitikai válságoknak. A második világháborút mind szimbolikusan, mind gyakorlatilag is lezáró atombomba megszületésével ismét teljesen új realitások fogadták Hazánkat és a katonai biztonság azelőtt példátlan módon felértékelődött. Ezt követően, előbb az olajválságokkal, majd a század utolsó évtizedében a keleti blokk felbomlásával, illetve a globális terrorizmus megjelenésével a szerepe némileg háttérbe szorult – a biztonság egyéb szektorainak a szerepe azonban előtérbe került. Így például a gazdaságé is és a megváltozott környezetben újszerű, komplex értelmezés vált szükségessé. A 2020-as Nemzeti Biztonsági Stratégia (továbbiakban NBS) több pontja is foglalkozik az energiaellátás-biztonságát érintő kérdésekkel, célokkal, kihívásokkal és kockázatokkal, ami ugyancsak bizonyítja a téma relevanciáját.

2022-ben, addigra már közel nyolcvan éve példátlan módon, két nemzetközileg elismert, szuverén európai ország konfliktusa vált éles fegyveres küzdelemmé. Emiatt a biztonság katonai szektora megújult érdeklődésnek „örvendhetett”, viszont az a változás, ami a Keleti-blokk felbomlásakor megvalósult nem vált semmissé. Hazánk számára újfent megváltozott a globális világ értelmezésének tartománya és a korábban elképzelhetetlen háborúk jelentette fenyegetés ismét központi kérdéssé vált. Ugyanakkor, a szomszédban zajló háborúnak nem csak katonai értelemben keletkeztek hatásai, hanem a gazdasági élet területein is, az Oroszországra kivetett nyugati szankciók nyomán.⁴ Magyarország, akinek legtöbb szövetségesével ellentétben az Oroszországgal való gazdasági kapcsolata az energiaimport miatt elsődleges létkérdés, vonakodva fogadta csak el ezeknek a szankcióknak a hatályát, sőt, több alól ideiglenes

⁴ Európai Tanács – Az Európai Unió Tanácsa (2024): *Időrendi áttekintés – Uniós szankciók Oroszországgal szemben*. Forrás: <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/sanctions-against-russia/timeline-sanctions-against-russia/>. (2024. 11. 10.)

mentességet is élvez.⁵ A legszembetűnőbb ilyen mentessége Magyarországnak az orosz fosszilis energiahordozók importjára vonatkozik⁶ – és nem véletlenül.

Ahogy az a dolgozat egy későbbi szakaszában részletesebben is bemutatásra kerül, Magyarország a fosszilis energiahordozók terén importra szorul és ennek az elsődleges forrása – már a hatvanas évek óta – Oroszország. Ez egy olyan hagyománya a magyar energetikának, amit a rendszerváltoztatás óta eltelt több, mint harminc év politikusai rendre tovább adtak az őket követő generáció számára. Kisebb-nagyobb projektek megvalósultak az oroszok szerepének csökkentése és a diverzifikáció érdekében (például a villamos- vagy a gázhálózat interkonnektorainak kiépítése a környező országokkal), viszont a legnagyobb jelentőségű partner Oroszország maradt. Lévén az energia centrális szerepet tölt be minden ország működésében, amennyiben egy országot sikerül tőle megfosztani vagy ellátását bizonytalanná tenni (amit egy kvázi monopol helyzetben lévő szereplő könnyen megtehet), úgy az az ország sebezhetővé tehető, befolyásolási kísérletekre fogékonyabb lesz, az interdependencia elmélet szerint.

Az Oroszországból származó olcsó energia más, a nyugati szövetségi rendszerhez tartozó országok gazdasága és versenyképessége számára is rendkívül vonzó volt és kiemelt fontossággal bír(t), viszont a háború kezdetével és az unipoláris pillanat mindenki számára nyilvánvaló végeztével újból megkezdődött a világ blokkosodása.⁷ Ezen logika alapján az Európai Unió országai és Oroszország között fennálló gazdasági- és kifejezetten az energetikai kapcsolatok már nem fenntarthatóak, sőt, egyenesen biztonsági kockázatot jelentenek. Az Oroszország szankcionálását támogató országok Kína vonatkozásában „de-risking”-et⁸ szeretnének, ami ugyanannak a blokkosodási logikának az egyik első – visszafogottan kommunikált, de – nyilvánvaló jele.

A fosszilis energiahordozók piacán is megfigyelhető ugyanez a jelenség. Az Egyesült Államok az orosz invázió előtt az európai gázpiacon csekély jelenlétet tudhatott magáénak, azonban a háború kezdete óta (és kifejezetten az Északi-Áramlatot ért támadás óta) az amerikai

⁵ KERNER Zsolt (2024): *Szijjártó: A paksi bővítés teljes mentességet kapott a szankciós intézkedések alól.* Forrás: <https://24.hu/fn/gazdasag/2024/06/24/paksi-bovites-szankciok-europai-unio-teljes-mentesseg-magyarorszag/> (2024.11.10.)

⁶ KECSŐ Richárd (2024): *Szijjártó Péter: Magyarország továbbra is a Lukoiltól kapja a kőolajat.* Forrás: <https://index.hu/kulfold/2024/07/22/szijjarto-peter-kulugyminiszter-sajtotajekoztato-koolaj-lukoil-ukrajna-brusszel-europai-unio-eu/> (2024.11.10.)

⁷ VÖRÖS Zoltán – TARRÓSY István (2024): *Az átalakuló világrend és a pólusok elmélete.* In KILIÁN Zsolt szerk.: *Átalakuló világrend Az unipoláris pillanat vége?* Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó. 28-33.

⁸ Az amerikaiak által használt „decoupling” kifejezés EU-s megfelelője, a lényege a kínaiak felé való, elsősorban gazdasági kitettség csökkentése és az ipari termelés egy részének hazahozatala, a saját ipar védelme.

LNG hódít Nyugat-Európa földgázpiacán.⁹ A kőolaj esetében árnyaltabb a kép, több beszállítóval és bár Oroszországtól már csak kevés EU-s tagország vásárol nyersolajat (közvetlenül), India a semmiből jelent meg, mint üzemanyag exportőr az Európai Unióban.¹⁰

Az energiaellátás biztonsága a második ipari forradalom, azaz a kőolaj világhódító hadjárata óta vált az iparosodott országok kormányai számára kiemelt stratégiai kérdéssé. Az Antant csapatait földön-vízen-levegőben győzelemre vitte az első világháborúban, a német vegyipar legnagyobb teljesítményeit inspirálta és az arab-országok huszadik századi és mai befolyását biztosítja a bámulatos és egyedülálló természeti kincs, a kőolaj. Társa, a földgáz, fiatalabb történelmet tud magáénak, de a modern társadalmak elengedhetetlen részévé vált, legyen szó ipari felhasználásról vagy energetikáról egyaránt. A világ energiafogyasztásának 53,3%-át¹¹ adta ez a két forrás 2022-ben, ha a szén is hozzávesszük ehhez, már 70,9%¹² ez az arány. Röviden tehát, a fosszilis energiahordozók megkerülhetetlenek világunk működtetésében.

Az alábbiakban Daniel Yergin átfogó munkássága alapján, egyes kiválasztott példákon keresztül kívánom iménti állításaimat alátámasztani és párhuzamot vonni napjaink Magyarországnak energetikai biztonsága és a példákban szereplő országok történetei között.

1.1. Az Antant hatalmak olajfölénye¹³

Az első világháború kiváltó okai közül az egyik legerőteljesebb a gyarmatok egyenlőtlen eloszlása az európai nagyhatalmak közt. A frissen elsőszámú nehézipari kibocsátóvá avanzsáló Németország későn tudott csak becsatlakozni a világ „szabad” területeinek gyarmatosításába – a versenyfutásba Afrikaért és a megmaradt Csendes-óceán környéki területekért – és lényegesen kisebb gyarmatbirodalmat tudhatott magáénak a nagy rivális, Egyesült Királysággal szemben. A kiterjedt gyarmatbirodalom igényelte egy hatalmas tengeri haderő fenntartását is a globális jelenlét biztosítása érdekében, amit a britek mindig is komolyan vettek. Így a tengeri haderő fejlesztése és a tengerek uralása elsőszámú prioritás volt.

⁹ U.S. Energy Information Administration (EIA) (2024): *The United States remained the largest liquefied natural gas supplier to Europe in 2023*. Forrás: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=61483> (2024.11.10.)

¹⁰ Európai Bizottság Kereskedelmi Főigazgatóság (2024): *European Union, Trade in goods with India*. Forrás: https://webgate.ec.europa.eu/isdb_results/factsheets/country/details_india_en.pdf (2024.11.10.) 5.

¹¹ International Energy Agency (IEA) (2024): *World energy mix*. Forrás: <https://www.iea.org/world/energy-mix> (2024.11.01.)

¹² IEA 2024: *World energy mix*

¹³ Ez az alfejezet Daniel Yergin *A Zsákmány* c. munkájának 9. fejezetének (193-211.) az általam történt elolvasása alapján készült szintézis.

A közismert brit politikus, – aki akkor éppen haditengerészeti miniszerként szolgált – Winston Churchill nevéhez kötődik a brit haditengerészet kőolaj-felhasználásra való áttérése az első világháborút megelőző néhány évben. Churchill és az ő döntését támogató körök helyesen ismerték fel a kőolaj alkalmazásában rejlő hadászati és harcászati előnyöket. A korban elsősorban használt szénhez képest a kőolaj kimagasló teljesítményt nyújtott a hadihajók maximális hatósugara, sebessége és az üzemanyag-újratöltés sebességének terén. A rivális német flotta ekkor még zömében éppen szénrel hajtotta saját járműveit, ami sokkal rugalmatlanabbá tette alkalmazását a britekével szemben és hozzájárult a tengerekért (és a globális piaci hozzáférésért) vívott küzdelemben való német vereséghez.

Voltak opponensei is az áttérésnek, akik szerint hibás döntés az átállás, ugyanis a szénrel ellentétben az olaj importkitettséget, importfüggőséget eredményez. Ekkor a világ olajpiacának csaknem kétharmadát az Egyesült Államok birtokolta, a közel-keleti és a világ más részein található mezők még nagyrészt feltáratlanok és kiaknázatlanok voltak. Az ellenzők aggodalmait némileg be is igazolódtak a német tengeralattjárók szállítóhajókkal szembeni hadjárata során. 1917-ben a németek kimondták a korlátlan tengeralattjáró-háború doktrínáját, ami éppen a kőolajszállítások elvágását célozta, viszont végső soron az Egyesült Államok hadba lépését hozta el és ezáltal az utolsó szöveget is beleverte a Központi Hatalmak háborús erőfeszítéseinek koporsójába.¹⁴

Franciaország és az Egyesült Királyság Németországgal szembeni relatív olajbőségük révén képesek voltak az új technológiák és a gépesítés nyújtotta minden előnyt maximálisan hasznosítani a nyugat-európai hadszíntéren. A kőolajszármazékokat fogyasztó belsőégésű motorok korábban nem látott hasznos teljesítményt tudtak leadni és rugalmasságuknak köszönhetően a szárazföldi haderőnemen belül rengeteg területen lehetett őket használni – szemben a németek által favorizált vasúttal, ami földrajzilag kötött és sokkal sebezhetőbb volt. A távolságok és az időtartamok lerövidültek, a szállítható eszközök, fegyverek mennyisége megsokszorozódott és a harckocsik megjelenése forradalmasította a szárazföldi harcászatot. Megjelent továbbá egy új műveleti terület és a hozzá tartozó új haderőnem, a légierő is, ami, mint az majd a második világháború során bebizonyosodik, a katonai stratégiai gondolkodás megújulását hozta magával.

Tömören, a kőolajtermékek energiájának katonai célú hasznosításával valóságos forradalom ment végbe a hadviselésben és az egész világ – áldozatok tízmillióinak példája

¹⁴ YERGIN 2018: 203.

alapján – megismerhette az *energia erejét*. Azok az országok, melyek képesek voltak olajzabáló gépeiket kitartóan etetni hatalmas előnyre tettek szert. A kőolajkitermelés zöme fölött örökődő Egyesült Államok szerepvállalása ezért is bizonyult döntőnek az első világháború során.

1.1.1. Energia és Magyarország fegyveres ereje

A Magyar Honvédség haditechnikai eszközparkjának zöme – akárcsak az száz évvel ezelőtt is szokás volt – olajszármazékokkal üzemeltethető. A jellemző üzemanyaga a szárazföldi haditechnikának a dízel, ami belföldön is előállítható, a MOL csoport hazai finomító tevékenységének köszönhetően. Az üzemanyag előállításához használt olaj közel egésze viszont importból származik,¹⁵ melynek nagy része nem szövetséges országokon át érkezik. A két irány, amely elsősorban szóba jöhet Magyarország olajellátásában a Barátság kőolajvezeték Oroszországból és az Adria Horvátország felől. Éles háborús konfliktus esetén méltán feltételezhetjük, hogy az Oroszország felől érkező szállítások elapadnának, melynek kiesését az Adria vezeték – illetve a krk-i kikötő – kapacitása nem lenne képes fedezni. Továbbá, az „új” kőolaj pontos vegyi összetétele is befolyásolná a termelés újraindításához szükséges időt. Régióink orosz olajra utalt országai számára rövid távon nem volna alternatívája az olajszükségleteik fedezésének stratégiai tartalékaik felélése nélkül.

Az ország olaj- és üzemanyag tartalékai elméletileg 90 napig ki kell tartsanak,¹⁶ viszont célzott stratégiai csapásokkal a tárolókat hamar el lehet pusztítani, arról nem is beszélve, hogy egy valódi fegyveres konfliktus esetén aligha lenne elegendő kilencven nap tartaléka. A krk-i kikötő, a csővezeték és a dunai olajfinomító hasonlóan sérülékeny, melyek védelméhez elengedhetetlen a megfelelő légvédelmi lefedettség biztosítása. A legnagyobb baj talán, hogy a csővezetékek földrajzi elhelyezkedése nyilvános és a dolog természeténél fogva nehezen módosítható. A csővezetékek teljes hosszának lefedéséhez több ország közös légvédelmi együttműködése és számtalan légvédelmi berendezése szükséges, melyek rendelkezésre állása kérdéses.

Régiókban a háborús erőfeszítések fenntartásához szükséges üzemanyag rendelkezésre állása adott esetben jelentős kihívást jelenthet, ami, ha nem valósul meg, az a Magyar Honvédség harcképességét hamar megbéníthatja. Földrajzi adottságainkból kiindulva muszáj felkészülnünk a megfelelő tartalékok létrehozatalával, illetve az alternatív forrásból előállított,

¹⁵ Lásd a második fejezet második alfejezetét.

¹⁶ Magyar Szénhidrogén Készletező Szövetség (2024): *Az energiahordozók tárolásáról*. Forrás: <https://www.husa.hu/biztonsagi-keszletek/> (2024.11.10.)

legalább a fegyveres erők szükségleteit kielégíteni képes, szuverén üzemanyag-termelés létrehozatalával.

1.2. Németország és a szintetikus üzemanyaggyártás¹⁷

A németek számára az egyik legfontosabb tanulság az első világháborús vereség után az volt, hogy amennyiben a következő háborúban győzedelmeskedni szeretnének, úgy muszáj lesznek hamar elérni annak befejezését. A német stratégiák felismerték a harckocsik és a gépesített haderő kínálta sebességben és átütőképességben rejlő lehetőségeket és megalkották a hadviselés legújabb formáját, a mozgáscentrikus blitzkrieg-et. Az új típusú hadviselés olyan eszközökre, gépekre és harcjárművekre támaszkodott, melyek túlnyomó többsége olajszármazékokkal volt működtethető – tehát, ha a németek ezeket hosszantartóan használni akarták, valahogyan üzemanyaghoz kellett jussanak.¹⁸

A német vegyipar a kor élvárosa volt. A klórgáz, a műtrágya és megannyi találmány mellett az első szintetikus üzemanyagokat is német vegyészmérnökök munkájának köszönhetjük. Először 1913-ban Friedrich Bergius-nak sikerült hidrogénezés útján folyadékot kinyernie szénből. Az eljárás végterméke kiváló üzemanyagnak bizonyult.¹⁹ Bergius és Carl Bosch 1931-ben kémiai Nobel-díjat kaptak a magas nyomású kémiai eljárások tanulmányozásáért.²⁰ Nem sokkal később, 1926-ban Franz Fischer és Hans Tropsch kidolgoztak egy hasonló eljárást, mellyel szintetikus olajat tudtak előállítani. A kettő eljárás közül a döntéshozók Bergius módszerét favorizálták, többek között azért, mert jó minőségű repülőgép-üzemanyag előállítására is tudták használni.²¹

Az 1930-as évek elején az olaj ára éppen alacsonyan volt az újonnan felfedezett készleteknek hála, emiatt Németországban már nem volt gazdaságos a szintetikusolaj-ipar működése. A vállalat mely az eljárás szabadalmát birtokolta (I.G. Farben, német vegyipari óriásvállalat) állami segítséget várt a szintetikusolaj-termelésének fenntartásához. Az akkoriban erősödő, majd nem sokkal később hatalomra jutó nemzetiszocialista párt politikusai céljaik elérése szempontjából kulcsfontosságúnak találták a termelés fenntartását és hajlandóak voltak

¹⁷ Ez az alfejezet Daniel Yergin *A Zsákmány* c. munkájának 17. fejezetének (373-398.) az általam történt elolvasása alapján készült szintézis.

¹⁸ FORGÁCS Balázs (2017): *Hadelmélet. A magyar katonai gondolkodás története és a hadikultúrák*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó. 36-46.

¹⁹ YERGIN 2018: 375.

²⁰ Anthony N. STRANGES (1984): Friedrich Bergius and the Rise of the German Synthetic Fuel Industry. *Isis*, 75. évfolyam, 4. szám. 643-667.

²¹ YERGIN 2018: 375.

megadni a kért támogatást, cserébe a termelés további fokozását várták a cégtől. A hadsereg részéről is széleskörű támogatásnak örvendett az I.G. Farben üzemanyaggyártó tevékenysége.

A németek ezért nagyon is központi kérdésként kezdték el kezelni a szintetikusüzemanyaggyártást és Adolf Hitler személyesen is nagyon elszánt volt a termelés fokozása iránt. Az évtized végére az I.G. Farben-t tulajdonképpen beolvasztották az állam szövetébe, valamint a termelést egészen napi 72 000 hordóra tornázták fel, ami akkor a teljes német olajkészlet 46%-át jelentette.²² Kifejezetten a légierő számára volt meghatározó ez a mennyiség, ahol a felhasznált repülőbenzin 95%-át állították elő hidrogénezőüzemekben.²³ Az új hidrogénező létesítmények és maga az eljárás természetesen lényegesen költségesebb volt, mint a hagyományos módszer, viszont ahogy Hitler megfogalmazta:

„[...] Ezt a feladatot ugyanazzal az elszántsággal kell kezelni és végrehajtani, mint egy háborút, mivel ennek a megoldásától függ, hogy milyen lesz a jövő háborúja. A nyersanyagok kitermelésének költsége nem számít.”²⁴

Mindazonáltal, nem tettek le teljesen a kőolaj-beszerzésről sem és a román, valamint a szovjet olajmezőket is kiszemelték, mint meghódítandó területeket. A románok esetében relatív könnyedséggel ez sikerült is, viszont a Szovjetunió elleni hadjárat sosem érte el igazán ezt a célját. A szovjetek ugyanis, mire a németek megérkeztek, már elpusztítottak minden eszközt a megszállt mezőkön. A főnyereményt, Bakut, sosem érték el a német csapatok, nagyrészt éppen az üzemanyaghiány miatt.

1942-re a szintetikusüzemanyaggyártás már jóval fejlettebb volt, mint az 1930-as években, jobb minőségű termékeket állítottak elő, sokkal többféle szén voltak képesek alapanyagul használni és új termelési technológiákat is alkalmaztak. A totális háború szellemiségének megfelelően, óriási hadiipari beruházások valósultak meg Németországban, melynek eredményeként 1943-ra a szintetikus üzemanyag-termelés kis híján megkétszereződött az 1940-es szinthez képest, már a napi 124 000 hordót elérte.²⁵ A szintetikus üzemanyagok Németország teljes termelésének felét tették ki a második világháború alatt.²⁶

1944-re, ahogy egyre szorult a hurok a náci rezsim nyaka körül, a hidrogénező üzemeket egyre több légitámadás érte, melyek pusztítóerejével már nem voltak képesek a németek tartani

²² YERGIN 2018: 379.

²³ YERGIN 2018: 379.

²⁴ YERGIN 2018: 378.

²⁵ YERGIN 2018: 392.

²⁶ YERGIN 2018: 392.

a lépést. 1944 szeptemberére már csak 5000 hordó volt a hidrogénező üzemek összesített hozama.²⁷ A bombázásokkal párhuzamosan a kőolajforrásokat is elragadták a németek kezéből az előretörő szovjet csapatok. Az akut üzemanyaghiány következtében a Luftwaffe gépei nem tudtak kellő számú küldetést végrehajtani, ami az ellátási hiány továbbgyűrűzését eredményezte és végső soron a hadigépezet teljes leállítását hozta magával, ezáltal erőteljesen hozzájárult a háborús vereséghez.

A második világháborús Németország esete nagyon jó példája annak, hogy a kőolajfüggőséget hogyan lehet kezelni, a hatékonysága ennek a megoldásnak ugyanakkor hagy kivetni valót. Bár kétségtávol sikerült a németeknek olyan ipari csúcspontokat megdöntenie, melyeket a legtöbb ország ma sem lenne képes, ennek hatalmas ára volt – olyan, amit a koncentrációs táborokban raboskodók kényszermunkája nélkül nem lehetett volna kigazdálkodni. A totális állam, totális háborúja érdekében, az ország minden erőforrását képes volt mozgósítani az üzemek létrehozása és a bombázásokat követő újjáépítésük során, de a gazdaságossági szempontok ekkor nem játszottak szerepet. Mi történne akkor, ha ezek a szempontok mégis fókuszba kerülnének?

1.2.1. Az alternatív üzemanyagok gyártása és Magyarország energiabiztonsága

A mai Magyarország számára az üzemanyag-ellátás biztonsága nem csak a Magyar Honvédség tevékenysége szempontjából fontos. Ahogy arra a fejezet bevezetőjében már kitértem, a biztonsági környezet a kor és a technológia viszonyainak megfelelően egyre komplexebbé vált. A gazdasági élet elsőszámú meghatározó tényezőjévé vált az energia hozzáférhetősége és ára, ugyanis az élet minden területén szükség van rá. A német példa megmutatta, hogy már közel száz éve is lehetséges volt a nagymennyiségű szintetikus üzemanyag-gyártás, viszont azt is tudjuk, hogy nem volt versenyképes a hagyományos módszerrel szemben. Manapság viszont, amikor már tényleg *mindenhol* használjuk a kőolajat, érdemes átértékelnünk a történelmi tapasztalatot és a legújabb tudományos eredmények kínálta lehetőségeket.

Az alternatív üzemanyagok gyártásának örök problémája a befektetett energia nagy mennyisége szemben a kimeneti energia alacsony mennyiségével. Mindig is ez volt az alapvető korlátja a szintetikus üzemanyagok szélesebbkörű elterjedésének. Mégis, mikor a legrosszabb válik valóra és valamilyen oknál fogva nem lehet máshogy hozzájutni a gazdaság véréhez, olyankor még a sokkal alacsonyabb hatékonysággal előállított üzemanyagok is értékesek. A

²⁷ YERGIN 2018: 395.

szuverenitásvédelmi szempontok (melyeket a NBS is kiemel) egyértelműen azt diktálják, hogy az alternatív termelési módoknak meg kell honosulniuk Hazánkban, a rövid távú gazdasági szempontok viszont egyértelműen ellenük szólnak. Ahogy azt majd a harmadik fejezetben bővebben is bemutatom, a legújabb eljárások alkalmazásával és támogató szabályozói környezettel megvalósítható legalább a részleges áttérés. Az alternatív üzemanyag-gyártó kapacitások fokozatos kiépítésével az olajár-ingadozásokkal szemben ellenállóbbá válhat Hazánk, amely közvetlen hatásai mellett a pénzügyi spekulációval szembeni rezilienciáját is növelné Magyarországnak. Egy ilyen „biztonsági kapacitás” kialakítása és fokozatos növelése a NBS-ben felvetett több kiemelt biztonsági kihívás kezelésére is adekvát megoldást kínálhat.²⁸ Az alternatív üzemanyagok jelenkori technológiája már sokkal korszerűbb és környezetkímélőbb, mint a német példában bemutatott szintetikus üzemanyagoké, viszont erről bővebben majd ugyancsak a harmadik fejezetben fogok értekezni.

1.3. Az olajfegyver²⁹

Az előző két példa, mellyel szemléltetni kívántam a kőolaj és az energiabiztonság szerepét az országok életében főként a kőolaj-származékok katonai felhasználását és a háborúkra gyakorolt hatását szemléltette. Ennek oka, hogy az új technológiák tömeges elterjedését jellemzően éppen a katonai alkalmazásokban való tömeges elterjedés előzi meg, mely után fokozatosan a civil életbe is átszivárognak az újítások – amennyiben persze van rájuk igény.

A kőolajszármazékok térnyerése éppen ilyesmi volt. A második világháború lezárását követő valamivel több, mint két évtizedben az olaj elképesztő olcsóvá vált és a benne rejlő ipari lehetőségek pedig hatalmasak voltak. Az iparosodott világ hamar rá is kapott a fekete arany ízére és az energiamixek egyre növekvő részét adták kőolajtermékek. Az Egyesült Államok, Nyugat-Európa és Japán számára ez az időszak a végtelennek tűnő növekedésről szólt. Az életszínvonal emelkedését erőteljesen fűtötte a személyes mobilitás, a személygépjárművek sokak számára elérhetővé válása. 1949 és 1972 között a világ gépkocsijainak száma 280 millióra nőtt az 1949-es 63,9 millióról.³⁰

A legnagyobb fogyasztásbeli növekedés az Egyesült Államokban realizálódott, ahol az 1948-as 5,8 millió hordóról 1972-re 16,4 millió hordóra nőtt a napi fogyasztás.³¹ Az emberek

²⁸ 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról VII. /124/ c, d, f, h, i, j, n

²⁹ Ez az alfejezet Daniel Yergin *A Zsákmány* c. munkájának 27., 29. és 30. fejezetének (618-642., 673-725.) az általam történt elolvasása alapján készült szintézis.

³⁰ YERGIN 2018: 619.

³¹ YERGIN 2018: 618.

egyre többet utaztak, ezáltal egyre többet fogyasztottak és az így megnövekedett kibocsátási igényeket az olaj ipari felhasználása révén hatékonyabban tudták kielégíteni, mint szénnel tudták volna. Az olaj tisztább, kényelmesebb és nem utolsósorban olcsóbb is volt már, mint a szén valaha. Azok az országok, melyek áttértek a használatára nagy versenyelőnyre tettek szert azokkal szemben, amelyek nem. Ironikus módon, az olajtermékek melletti érvelés része volt még ekkor a környezetvédelem is, amiért égése sokkal tisztább volt, illetve füstje kevésbé bizonyult sűrűnek vagy mérgezőnek, mint az akkor elsődlegesen használt széné. Az alacsony árak és a megnyerő tulajdonságainak köszönhetően a fejlett világ fogyasztói hamar rászoktak a különböző szénhidrogén-vegyületek használatára.

Azonban semmi sem tarthatott örökké. A hetvenes évek elejére a világ olajának egyre nagyobb része származott már a Közel-Kelet országaiból és 1973-ra csak Szaúd-Arábia 21%-át adta a világpiacnak.³² A térség országaiban már az ötvenes évek során megfogalmazódott az olajfegyver bevetésének lehetősége, sőt, már az 1956-os szuezi válság idején is alkalmazták azt, viszont ekkor még kevés sikerrel, mert felkészületlenül és koordinálatlanul próbálták érvényesíteni. 1973-ban viszont már létezett a Kőolaj-exportáló Országok Szervezete (rövid nevén OPEC) és a piaci szabályozások, illetve körülmények révén nagyon előnyös pozícióba kerültek a tagjai. Ezek az okok, illetve a szuperhatalmak fennálló érdekellentétei hamarosan a nyomásgyakorlás új korát hozták el.

A Közel-Kelet 1973-ra már több arab-izraeli háborún túl volt, viszont ekkor még kevesen sejtették, hogy már közeledik a következő. Egyiptom vezetésével 1973. október 6-án megkezdődött a konfliktus legújabb fejezete, a Jóm kippúri háború. Anvar Szadat, egyiptom akkori vezetője Szaúd-Arábia királyára, Fejszál ibn Abdul-Aziz Al Szaúdra pár hónappal korábban meggyőzően hatott az olajfegyver bevetése kapcsán, és a király megfogadta, hogy nem fogja cserben hagyni Egyiptomot az olajfegyver alkalmazásában, ha annak eljön az ideje.³³ Bár a szaúdi király nem szívesen kezdett volna bele az embargóba, az Egyesült Államok kitartó támogatása Izrael oldalán végül az embargó bevezetése mellé állította őt is és több más arab olajexportáló országot – október 17-én bevezetésre került a korlátozások első köre.

Az embargó hatásai szinte az egész világon érezhetőek voltak. A szankciók célpontját jelentő nyugati világ számára korábban az amerikai olajtermelés többletkapacitásai nyújtották a fedezetet, arra az esetre, ha valami történt volna az energiaellátással (akárcsak a világháborúk

³² YERGIN 2018: 680.

³³ Anwar SADAT (1978): *In Search of Identity: An Autobiography*. New York, Harper & Row.

idején), viszont ez a többletkapacitás már eltűnt. Emiatt az akut hiány rémképe – másoknál a mértéktelen arbitrázs lehetősége – sejlett fel a gazdasági szereplők és az érintett országok lakosságának szeme előtt. Az iráni olaj például október 16-án még hordónként 5,4 dollár volt, novemberben már a 17 dolláros árat is megütötte az árfolyam.³⁴

Az iparosodott országok társadalmát sokkolta a hirtelen áremelkedés: a töltőállomások előtt hosszú sorok kígyóztak, az infláció megemelkedett és a nyugati ember számára eljött a sötét felismerése annak, hogy a korlátlan növekedés nem fenntartható. Az eltűnő növekedéstől és a recessziótól való félelmek felerősödtek, ami pszichológiai hatása révén tovább erősítette a negatív gazdasági kilátások képét. Egész iparágak kerültek veszélybe a sokszorosára drágult olaj miatt, melyeket sok esetben kormányaik beavatkozása tudott csak megóvni a pusztulástól. Az amerikai lakosság először szembesült pár hónap alatt 40%-kal emelkedő üzemanyagárakkal,³⁵ vagy napokon át tartó hiánnyal. Az autósok emiatt igyekeztek mindig a maximumon tartani a tankok töltöttségét, járó motorral sorban állva és vesztegelve, ami ugyancsak hozzájárult az árak növekedéséhez és a kapacitások elégtelenségéhez.

A kaotikus, kietlen állapotok az amerikai lelkületet igen mélyen érintették és a vietnámi háborús tapasztalattal kombinálva megsemmisítették az amerikai sebezhetetlenségbe vetett hitét a társadalomnak. Nixon elnök változásokat sürgetett és egyebek mellett arra kérte a lakosságot, hogy osszák meg egymással autóikat és csak 18 fokra fűtsék otthonaikat. A szén kizorítása ellen szóló környezetvédelmi szigort is enyhítette, és egy új energiakutató hivatal felállítását is kezdeményezte.

A hirtelen sokkot követően a nyugati világ országai is igyekeztek egy közös választ találni az arab olajfegyver kezelésére és megalakították a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet (OECD) égisze alatt a Nemzetközi Energiaügynökséget (IEA). Az IEA megalakításának célja az volt, hogy a következő válság esetén meg tudják szervezni az energia elosztását, az elosztás irányítását, valamint, hogy a részes országok energiapolitikáját egyeztessék és összehangolják. A szervezet egyik kiemelt célja volt – és az mindmáig – hogy megteremtse a kereteit a közös válaszadásnak mind politikai, mind pedig gyakorlati értelemben.

Az olajfegyver alkalmazása révén az olajmezőket birtokló országok nemzetközi politikai hatalma felerősödött és megszüntette az olajcégek túlhatalmát. Az olajat az iparosodott világban ezentúl már nem csak egyszerű nyersanyagként kezelték, hanem mint stratégiai fontosságú

³⁴ YERGIN 2018: 704.

³⁵ YERGIN 2018: 706.

erőforrást. Az olaj vált a nemzetközi kereskedelem és a globalizáció elsőszámú motorjává, valamint meghatározó szereplőjévé lépett elő a kormányközi kapcsolatok alakulásának világszerte. Az olajválság hatására a gazdasági biztonság dimenziója sokkal nagyobb figyelmet kapott és ezentúl a geopolitika kiemelt tárgykörévé vált.

1.3.1. Az olajfegyver Magyarországon

Hazánkra nézve az olajválság némileg másképp csapódott le, mint a nyugati világ országaira nézve. A keleti blokk országaiban az olajár-emelkedés csak megkésve érkezett és elsődleges elszenvedői nem a lakosság, hanem az államok, illetve az állami büdzsék voltak. Magyarországon ekkor a „gulyáskommunizmus” kellős közepén jártunk, amikor is nem engedhette meg magának a politikai vezetés az életszínvonalat ilyen erőteljesen romboló hatások mindennapi életbe való szivárgását. Ezért, míg az olajár-emelkedés miatt a cserearányok romlottak, a Kádár-rendszer üzemeltetői nem voltak hajlandók a szükséges kiigazításokat (megszorításokat) eszközölni és inkább az egyszerűbbnek tűnő megoldást választották és külföldi hitelekhez nyúltak.³⁶ A hitelekben rejlő árfolyamkockázat és a magyar ipari termelés – lévén nem volt ösztönözve az energiafelhasználása csökkentésére – mélyülő relatív elmaradottsága következményeként az ország egyre markánsabb adósságspirálba zuhant, ráadásul blokkon kívüli kitettséggel.³⁷

A rendszerváltoztatás után szinte azonnal záporoztak az újabb és újabb sokkok. Irak Kuvait elleni inváziója az érzékeny olajpiaci árakat egy időre gyakorlatilag megkétszerezte, ráadásul a széteső félben lévő Szovjetunió politikai válsága hátráltatta a Magyarországra irányuló import teljesülését is. Ennek a többletényező sokkhatásnak az eredményeként az Antall-kormány a hatóságilag árszabályzott benzinárak (sokáig cáfolt) több, mint másfélszeresére emelésével reagált, ami nagymértékű társadalmi elégedetlenségben, a „taxisblokádként” elhíresült eseménysorozatban kulminálódott.³⁸ Bár a kialakult politikai válságot – hathatós nyugat-európai segítséggel – sikerült rövid idő alatt feloldani, egy azóta is fennálló fontos problémára nagyon jól rávilágított az esemény: olcsó és hozzáférhető (orosz) olaj nélkül oda a társadalmi rend és stabilitás.

Az olajfegyver bevetése Magyarország biztonságára nézve kiemelt kockázatot hordoz, ugyanis az egyoldalúan kialakított energetikai infrastruktúra és a világpiacra való önálló kijutási

³⁶ SZABÓ Gergely (2016): *A magyar államadósság keletkezése (1973–1989)*. Forrás: http://www.penzriport.hu/letoltes/Magyar_allamadossag_keletkezese_1973_1989.pdf (2024.11.10.) 10.

³⁷ SZABÓ (2016): 29-36.

³⁸ KÓSA László (2005): *A közúti közlekedési blokádok kialakulásának körülményei, rendvédelmi tapasztalatai és kezelésének lehetőségei, különös tekintettel a "taxisblokádra"*. Disszertáció, Budapest.

lehetőség hiánya miatt nagyon kevés potenciális beszállítója van Magyarországnak. A problémát tetézi, hogy napjainkban már nem „csak” az olajra kell odafigyelni, hanem megjelent a földgáz is, mely a magyar piacon (az olajhoz hasonlóan) egyoldalú forrásszerkezetet mutat. A rendszerváltoztatás óta eltelt több, mint harminc év energiapolitikája adós maradt egy átfogó és tartós megoldás kialakításával és ennek közvetlenül érződtek a következményei az ukrajnai háború kitörésekor.³⁹

A piacok ugyanis nem haboztak beárazni Magyarország függelmét és a Kormány is kénytelen volt beavatkozni szabályozói tevékenységével. Az energiaárak emelkedésével a villany- és gázárak hatósági árszabályozását módosítani kellett, továbbá a még a háború előtt életbe léptetett üzemanyagárstoppot is kénytelen volt először módosítani, majd teljesen felszámolni a Kormány. Mindeközben számos más szakpolitikai területen is megszorításokat kellett eszközölni, továbbá megemelt adóterheket rótt a társadalomra. Ezzel párhuzamosan az infláció elszállt,⁴⁰ és a megdrágult energiahordozók költségei miatt nemcsak, hogy sok pénz áramlott ki az országból, de még a nagymennyiségű pénzváltás miatt a devizapiaci spekulánsok is közvetve támadhatták a magyar gazdaságot.⁴¹ Külön kutatást érdemelne csak annak a vizsgálata, hogy a 2022-ben és 2023-ban tapasztalt magas inflációs környezet és rossz hangulat mennyire messzemenően megkárosította a pénzügyileg már így is óvatosságra kondicionált magyar társadalom gazdasági optimizmusát, kalandvágját és jövőbe vetett hitét.

Összességében tehát elmondható, hogy Hazánkkal szemben az olajfegyver (illetve a földgáz jelentősége miatt átfogóan az energiafegyver) alkalmazása révén jelentős előnyökre tehet szert egy potenciálisan ellenérdekelte hatalom. Ennél fogva, úgy gondolom, érdemes volna nagyobb szerepet adnunk a forrásdiverzifikációnak és a szuverén energiatermelés fokozásának, melyek a hidrogén magasabb fokú alkalmazása révén még sikeresebbnek bizonyulhatnak.

1.4. Részösszefoglalás

A huszadik század eseményei szorosan kötődnek az energia és kifejezetten az olaj történetéhez. Ahogy az egyes országok először katonai erejük növeléséért, majd ipari fejlődésük érdekében biztosítani igyekeztek az energiaellátásukat, a fizikai és a politikai erőszak széles palettáját hajlandóak voltak bevetni a fűtőanyag biztosítása érdekében. Az olajmezők földrajzilag determinált mivolta minden addiginál jobban felértékelte a világtengerek feletti

³⁹ DEÁK András – SZABÓ John, WEINER Csaba (2023): „Baráti tűz” Közép- és Kelet-Európára – Hogyan működik az orosz gázfegyver a nyugati szövetségi rendszer periferiáin? *Nemzet és Biztonság*, 2023/4. szám. 84-107.

⁴⁰ lásd az 5. sz. mellékletben.

⁴¹ lásd a 6. sz. mellékletben.

uralom értékét és katalizátorként hatott a kialakulóban lévő globalizációra. Az energetikai forradalom a nyomásgyakorlás új eszközeit teremtette meg, melyekkel már a fegyveres erők alkalmazása nélkül is romba lehet dönteni egyes országok teljes gazdaságát, amely legrosszabb esetben a teljes államhatalmat kikezdhetheti.

Az imént ismertetett három példa a huszadik század három legnagyobb, globális befolyással bíró eseményein keresztül volt hivatott érzékeltetni az energiabiztonság fokozatosan egyre meghatározóbb szerepét az országok stratégiai gondolkodásában. Bízom benne, hogy sikerült a kedves Olvasó számára is érzékelhetővé tennem azt, hogy Hazánk számára miért is olyan tanulságosak ezek a példák.

2. Magyarország energetikai mutatói

A hidegháborút, illetve a keleti-blokk felbomlását követő időszak gazdaságilag legsikeresebb szakasza Magyarországon a 2010-es évtized volt. Ekkor a piacok példátlan szabadsága, a pénzügyi válságot követő gazdasági talpra állás és konjunktúra, az energia hozzáférhetősége és az általános jó hangulat majd' tíz éven át repítette a magyar gazdaságot egyre magasabbra, száz éve nem látott ütemben. A koronavírus-válság, majd Oroszország Ukrajna elleni inváziója ennek véget vetett: a piacok szabadságát a bezárkózás,⁴² a koronavírus-járvány utáni gazdasági talpra állást az infláció, az energia hozzáférhetőségét a szankciók, az általános jó hangulatot pedig az újabb hidegháború szemünk sarkában már látható, fenyegető sziluettje szüntette meg.

Ebben az új helyzetben Hazánk egy rendkívül előnytelen helyzetben találta magát. Ezek az új, elsősorban gazdasági jellegű kihívások, mindenekelőtt az energetika terén éreztették hatásukat, melynek nyomon követéséhez elsősorban az Eurostat és a Központi Statisztikai Hivatal (továbbiakban KSH) adatbázisait használtam fel forrásként. Az alábbiakban a témához kapcsolódó legfontosabb adatok ismertetésével és értelmezésével foglalkozom, törekedve a tények minél szemléletesebb bemutatására. Előre is elnézést kérek a kedves Olvasótól, intenzív „számháború” következik.

2.1. Az energiafüggőség kérdése

Magyarország energiahordozók tekintetében – sok más régiós országhoz hasonlóan – egyoldalú képet mutat. Hazánk földgáz- és kőolajvagyonra szegényes, viszont kőszén

⁴² DEÁK András György (2022): Gazdasági nyomásgyakorlás a nemzetközi politikában – Néhány gyakorlatias szempont a gazdasági szankciók értékeléséhez. *Nemzet és Biztonság*, 2022/1. szám. 86-115.

vagyonunk igen gazdag.⁴³ Energiafelhasználásunkban – lehetőségeinkkel szemben – éppen a kőolaj és a földgáz kapják a legnagyobb szerepet. Nem elhanyagolható továbbá a nukleáris és megújuló energia sem, viszont ezek hazai termelése más elvek mentén számítandó. Az atomenergia esetében a KSH az erőműben megtermelt nukleáris energiát veszi figyelembe, ami természeténél fogva hazainak minősül, viszont az erőmű üzemeltetéséhez használt fűtőanyag nem Magyarországon kerül előállításra.⁴⁴ A megújuló forrásokról pedig általánosságban elmondható, hogy ha egy beruházás egyszer termőre fordul, a termék már hazai, viszont az ehhez szükséges eszközpark megteremtése túlnyomóan importhoz kötött. Ez alól elméleti kivételt képvisel a biomassza, viszont itt sem elhanyagolható tény, hogy az üzemanyagként használatos biomassza előállításához szükséges gépek és szerszámok jelentős része ugyancsak külföldi forrásokból származik.

Tekintettel a megújuló- és a nukleáris energia nehezen meghatározható „önerő-faktorára” és arra, hogy a magyar energiahordozó-import 89%-a fosszilis forrásokat jelent⁴⁵, a magyar energiafüggőséget elsődlegesen a fosszilis energiahordozók szempontjából veszem górcső alá a továbbiakban és a KSH, illetve a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (továbbiakban SZTFH) által közölt statisztika alapján igyekszem szemléltetni Hazánk kiszolgáltatottságát energiaügyekben.

2.1.1. Az energiafüggőség alternatív meghatározása

Magyarország energetikai függelme óriási kockázatot jelent az ország biztonságára nézve. Miként arra már korábban utaltam, a nukleáris energia és a nem éghető megújulók egy az egyben hazai termelésüként való elszámolása – álláspontom szerint – nem feltétlen tekinthető helytálló módszertannak. Mindazonáltal, a nem éghető megújulók tekintetében nyomomonkövethetetlen, hogy milyen hányadban lehet hazainak, vagy éppen külföldinek elkönyvelni az általuk termelt energiát, ezért az egyszerűség kedvéért esetükben – a KSH álláspontjának megfelelően – hazainak tekintem az így előállított energiát. Az éghető megújulók esetében a teljes felhasználás csupán ~12%-a származott külső forrásból 2023-ban,⁴⁶ ami a teljes primer energiafelhasználás szempontjából elenyészőnek tekinthető. Az

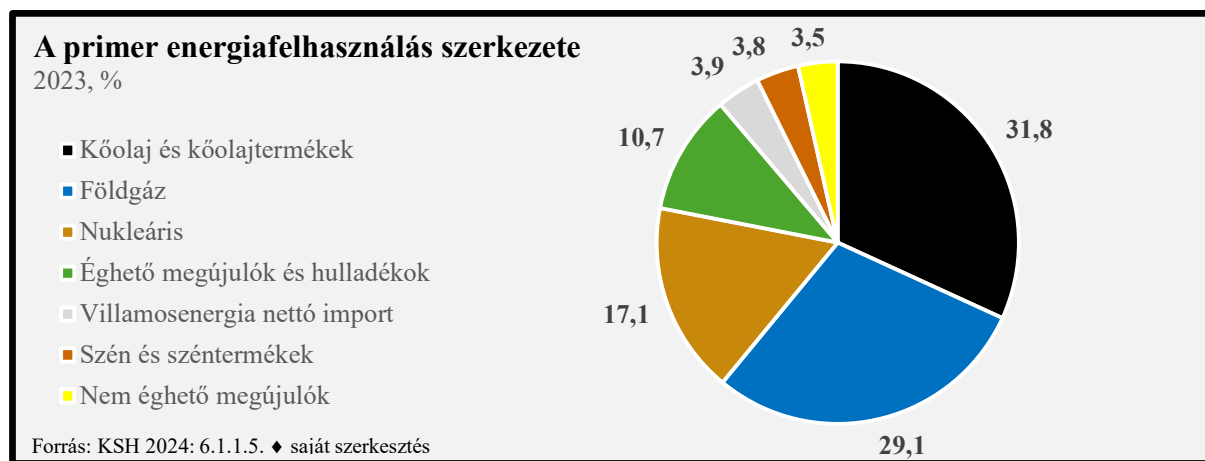
⁴³ Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (2024): *Magyarország ásványvagya* 2023. Forrás: https://sztfh.hu/downloads/banyaszat/nyilvantartasok/asvanyvagyon-nyilvantartas/magyarorszag_asvanyvagya_2023.pdf (2024.11.10.) 2.

⁴⁴ World Nuclear Association (2024): *Nuclear Power in Hungary*. Forrás: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/hungary> (2024.11.10.)

⁴⁵ Központi Statisztikai Hivatal (KSH) (2024): *6.1.1.4. Energiahordozók behozatala hőértékben (2000–2023)* Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0004.html (2024.11.10.)

⁴⁶ A 6.1.1.3. és a 6.1.1.4. KSH adattáblák összevetéséből

energiafüggőség jelenségének mélyebb megértéséhez tisztában kell lennünk, a hazai primer energiafelhasználás szerkezetével. Szerencsére a Statisztikai Hivatal erről is vezet nyilvántartást, melyben egyben meghatározzák az importfüggőség százalékos arányát is. 2023-ban ez az arány a KSH mérése szerint 61,7% volt.⁴⁷



1. ábra: A primer energiafelhasználás szerkezete

Miként az a diagrammon is látható, a földgáz, a kőolaj, a szén (és származékaik), illetve a nukleáris energia együttesen 81,8%-át adják a teljes energiafelhasználásunknak. A teljes primer energiafelhasználása az országnak 1015,6 PJ volt 2023-ban⁴⁸ és amennyiben a nukleáris energiát teljes egészében külföldi eredetűnek tekintjük az így kapott energiafüggőségi arány már 78,84%(!).⁴⁹

Összességében tehát elmondható, hogy Magyarország energiaellátását önállóan nem tudja megvalósítani, emiatt szomszédaira és külkereskedelmi partnereire kell hagyatkozzon. A problémát tovább tetézi – miként azt a NBS is leszögezi⁵⁰ – az ország földrajzi fekvése (körben hegyláncolatok) és egy saját, a világóceánhoz csatlakozó, tengeri kikötő hiánya. A fosszilis energiahordozók, bár részarányuk igencsak jelentős, hazai termelésük sajnos minimális. A következő alfejezetben ezt mutatom be.

⁴⁷ KSH (2024): 6.1.1.5. A primer energiafelhasználás szerkezete [%]. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0005.html (2024.11.10.)

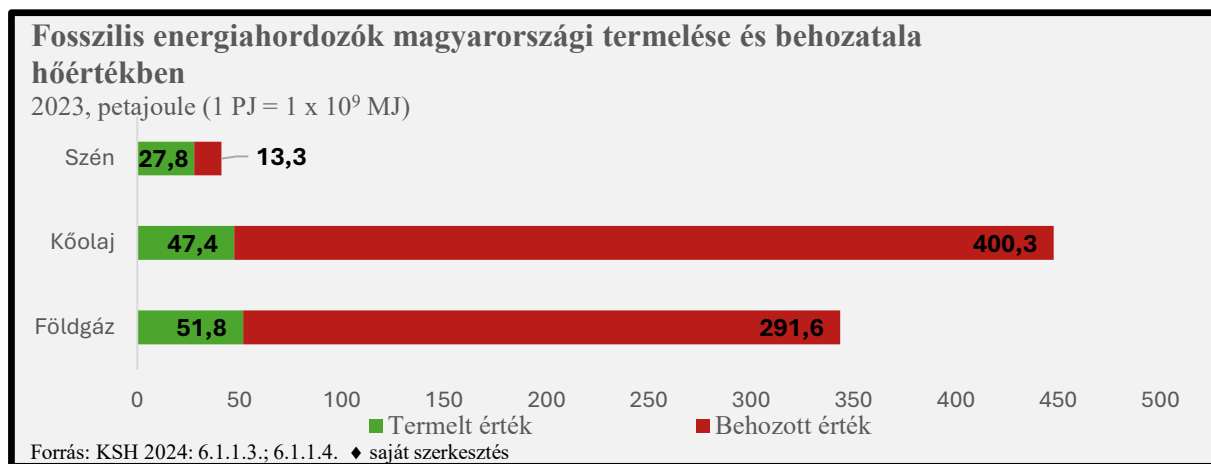
⁴⁸ KSH (2024): 6.1.1.2. Primer energiamérleg. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0002.html (2024.11.10.)

⁴⁹ A KSH által használt metodikával számolva, viszont a nukleáris energiát behozottnak tekintve. KSH 6.1.1.4. és 6.1.1.3. összevetésével.

⁵⁰ 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról, 40. pont

2.2. Fosszilis energiahordozók hazai termelése és behozatala

Magyarországon az SZTFH az a szervezet, amely az ország ásványvagyonának nyilvántartását vezeti, illetve az SZTFH minden évben közzé is teszi az aktuális nyilvántartását. Jelen írás készültekor a legfrissebb ilyen kimutatás 2023-ban készült el (és 2024 júniusában publikálták), mely alapján Magyarország teljes, kitermelhető szénvagyon 8 375 682 kt (beleértve a lignitet, barnakőszént és feketekőszént)⁵¹, kitermelhető kőolajvagyon 70 483,33 kt (beleértve a konvencionális és a nem konvencionális kőolajat)⁵², illetve kitermelhető földgázvagyon 1 649 630,19 Mm³ (beleértve a konvencionális és a nem konvencionális földgázt).⁵³ A szénfajták átlagos hőértéke 10-25 MJ/kg között⁵⁴, a kőolajé 42-47 MJ/kg között⁵⁵, a földgázé pedig 42-55 MJ/kg között⁵⁶ változik. Többek között az eltérő energiasűrűség is közrejátszik abban, hogy a szénfajtákat sok helyen kiszorította a földgáz és a kőolaj az energetikában világszerte.



2. ábra: Fosszilis energiahordozók magyarországi termelése és behozatala hőértékben

A fenti ábra tanúsága alapján láthatjuk, hogy a fosszilis energiahordozók hazai termelése messze elmarad a behozataltól, emiatt óriási az importkitettsége a magyar gazdaságnak az energetika ezen terén. Az ország primer energiafelhasználásában 64,7%-os súllyal vannak jelen a fosszilis energiahordozók.⁵⁷ Eközben a szén ~32,4%-a, kőolaj ~89,4%-a és a földgáz ~85%-a származik külföldről. Elmondható ugyanakkor, hogy az importkitettség mértéke csökkenthető volna a hazai készletek magasabb fokú használata révén, mert a kitermelhető

⁵¹ SZTFH 2024 2.

⁵² SZTFH 2024 2.

⁵³ SZTFH 2024 2.

⁵⁴ World Nuclear Association (2024): *Heat Values of Various Fuels*. Forrás: <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels> (2024.11.10.)

⁵⁵ World Nuclear Association 2024

⁵⁶ World Nuclear Association 2024

⁵⁷ KSH 2024: 6.1.1.5.

földgázkészleteink mindössze ~0,001%-a, illetve szénkészleteink ~0,0006%-a került kitermelésre 2022-ben.⁵⁸ Az ország földtani vagyonának kitermelése kapcsán a lakosság elfogadó készsége jellemzően alacsony, ugyanakkor energiabiztonsági szempontból mindenképp üdvös döntés volna. Kifejezetten a palagáz vonatkozásában van lehetőség a termelés érdemi növelésére, ugyanakkor a Magyar Természetvédők Szövetsége szerint ennek a kitermelése „ökológiai katasztrófával” járna⁵⁹, amire a hazai közélet kifejezetten érzékennyé vált az utóbbi években. A hazai szénkészletek kitermelésének lehetőségét a NBS is számba veszi, mely a megfelelő technológiák alkalmazása révén hozzájárulhat a diverzifikált energiaellátáshoz.⁶⁰ Mindazonáltal, ennek a lehetőségnek a vizsgálata további kutatások témájául szolgálhat.

2.3. Az energaintenzitás kérdése

Magyarországon 2022-ben 185,4 kg kőolajjal egyenértékű energia felhasználásával sikerült előállítani bruttó 1000 eurónyi hazai terméket.⁶¹ Ennek az elsőre furcsa mutatónak energaintenzitás a meghatározása és az EUROSTAT alkotta meg azzal a céllal, hogy az országok nemzeti termékének előállításához szükséges energia mennyiségét mérje. A mutató korlátozottan képes csak valós képet festeni az egyes országok gazdasági képességeiről, mert a gazdaság szerkezete és a földrajzi adottságok nagyban befolyásolják az energiafogyasztás mértékét, még akkor is, ha a legmodernebb technológiákat alkalmazzák.

⁵⁸ SZTFH 2024 2.

⁵⁹ Magyar Természetvédők Szövetsége (2014): *Palagáz: A nem hagyományos fosszilis gáz dilemmája*. Forrás: <https://mtvsz.hu/palagaz> (2024.11.10.)

⁶⁰ 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról - 35. pont

⁶¹ Eurostat (2024): *Energy Dashboard – Energy intensity*. Forrás: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy_dashboard/endash.html?geo=HU&year=2022&language=EN&detail=1&nrg_bal=&unit=MTOE&chart=chart_four&modal=0 (2024.11.10.)

Bár sok európai országgal összehasonlítva a magyar érték magasnak mondható (Ausztriában például mindössze 102,7kg⁶²), elvitathatatlan, hogy a rendszerváltoztatáskori Magyarország több, mint 370kg/1000 eurójához képest a jelenlegi egy sokkal „jobb” érték. Sajnos ebben a legnagyobb szerepe nem az energetikai korszerűsítésnek, hanem az 1990-es évek iparrombolásának és a szolgáltatószektor egyre növekvő szerepének volt. Az alábbi ábrán látványosan megmutatkozik a rendszerváltoztatás utáni szerkezeti átalakulás.



3. ábra: A magyar gazdaság energaintenzitása az évek során

Az egykori keleti blokk országaihoz viszonyítva a magyar érték viszont nem kimagasló semmilyen irányban. A posztoszocialista országok közül Szlovénia energaintenzitása volt a legalacsonyabb a maga 138,1-es értékével⁶³ és Bosznia-Hercegovináé a legnagyobb 421,7-del.⁶⁴ Az Európai Unió országai közül Bulgária energaintenzitása volt a legmagasabb, 395,0-del⁶⁵, az EU átlag pedig 107,4⁶⁶ volt 2022-ben.

Ami magyar szempontból igazán pikánsá teszi ezt az információt az az, hogy az ország bruttó nemzeti össztermékének előállításához szükséges energia akár kicsivel több, mint 78 %-át is tekinthetjük olyan, másoktól függő forrásból származónak, amit, ha bármilyen bántódás, fennakadás ér, az ország gazdasági élete felborul, rosszabb esetben *megszűnik*. Esetünkben olyan országokon keresztül érkezik a felhasznált energia túlnyomó része, melyek saját érdekeik mentén dönthetnek úgy is, hogy akadályozzák az energiaellátásunkat.

Emlékezetes közelmúltbeli példája ennek a sajtóban csak „Lukoil-ügyként” elhíresült eseménysorozat, amikor is az ukrán fél megtiltotta az orosz Lukoil számára az olajtanzitot Ukrajnán keresztül. A Lukoil által szállított mennyiség a magyar kőolajfelhasználás körülbelül

⁶² Eurostat 2024

⁶³ Eurostat 2024

⁶⁴ Eurostat 2024

⁶⁵ Eurostat 2024

⁶⁶ Eurostat 2024

harmadát jelentette. Hosszas diplomáciai csörte árán ugyan, de sikerült egy köztes megoldást találni (a MOL lett az ukrán határ átlépésétől a kőolaj „gazdája”), ezzel elkerülve az ellátást érintő sokkokat, azonban az ilyen események mindig megbolygatják a piacokat. Összességében tehát hatványozottan nagyobb kockázatot jelent, a magas energiasűrűség a magyar gazdaság számára. A 2023-as Energia és Klímatervben rögzítésre került az energiasűrűség csökkentésének vágya, továbbá a 2021-ben elfogadott Hosszú Távú Felújítási Stratégia kiemelt szándéka a magyarországi épületállomány fenntarthatóbbá, illetve energia- és költséghatékonyabbá tétele 2050-ig.

2.4. A villamosenergia-termelés összetétele és a teljes villamosenergia-felhasználás

A villamosenergia elengedhetetlen a mai Magyarország életében. Nincs olyan vállalkozás, gyár, üzlet, vagy kormányzati funkció, amely képes lenne a jelenlegi termelési szintjét fenntartani áram nélkül. 2023-ban Magyarországon bruttó 35 516 GWh villamosenergia került előállításra.⁶⁷ Ebből a legtöbb (15 918 GWh) nukleáris eredetű⁶⁸, a második legtöbb (7 264 GWh) földgázból⁶⁹, a harmadik legtöbb (6 960 GWh) pedig már napenergiából került előállításra.⁷⁰ Ezek együttesen a hazai termelés majdnem 85%-át tették ki⁷¹, míg a teljes, importtal kalkulált villamosenergia-fogyasztásnak pedig nagyjából 54%-át.⁷²

Az ezredforduló óta (2023-ig) ~24%-kal emelkedett a teljes villamosenergia-felhasználás⁷³, a termelés viszont kevesebb, mint egy százalékkal nőtt csupán.⁷⁴ Ebből következik, hogy míg az import hányada a villamosenergia-felhasználáson belül 2000-ben ~21%-os volt⁷⁵, 2023-ban már ~36%-os.⁷⁶ Ennek a súlyát pozitívan árnyalja, hogy a környező országok mindegyikével vannak kiépített villamosenergia-összeköttetések, amik egy kellően diverzifikált piacot teremtenek. A diverzifikált piacok mellett a technológiai viszonyok is

⁶⁷ KSH (2024): 6.1.1.9. *Bruttó villamosenergia-termelés [gigawattóra]*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0009.html (2024.11.10.)

⁶⁸ KSH 2024: 6.1.1.9.

⁶⁹ KSH 2024: 6.1.1.9.

⁷⁰ KSH 2024: 6.1.1.9.

⁷¹ KSH 6.1.1.9 és 6.1.1.8. összevetéséből

⁷² KSH (2024): 6.1.1.8. *Villamosenergia-mérleg [gigawattóra]*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0008.html (2024.11.10.)

⁷³ KSH 2024: 6.1.1.8.

⁷⁴ KSH 2024: 6.1.1.8.

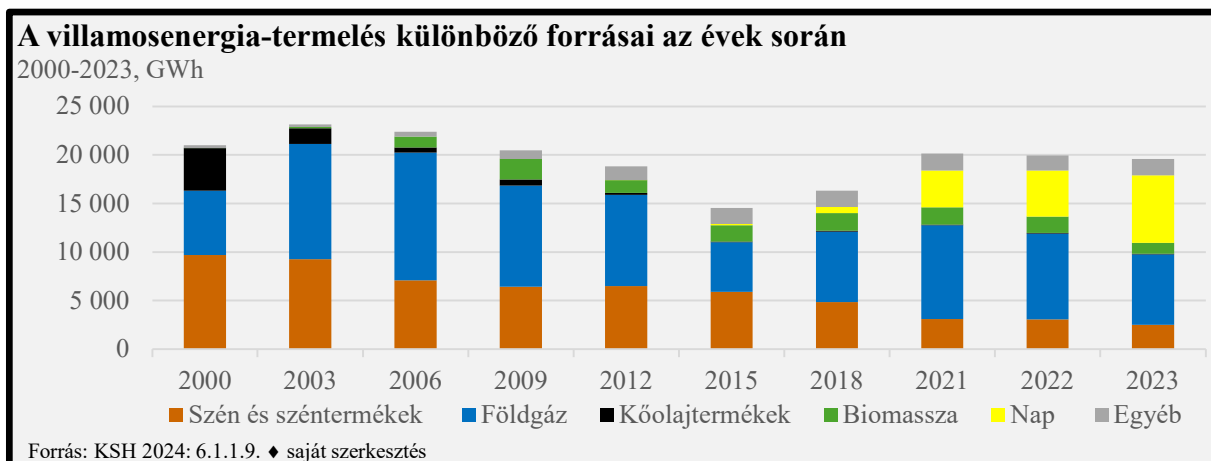
⁷⁵ KSH 2024: 6.1.1.8.

⁷⁶ KSH 2024: 6.1.1.8.

pozitív képet festenek: a MAVIR oldalán szinte valós időben követhetjük az aktuális rendszerterhelést és a külpiacon történő kereskedelem volumenét.⁷⁷

A környező országok piacaival való összeköttetés lehetővé teszi a magyar villamosenergia-ipari társaságok számára, hogy az aktuálisan legjobb körülmények között értékesítsék a megtermelt villanyáramot. Erre egy hipotetikus példa: Előfordulhat, hogy Romániában a jó időjárásnak köszönhetően a naperőművek termelése rendkívül alacsony tartományba löki a villany árát. Ekkor a magyar kereskedő átveszi a felesleget, olcsón és az így felszabadult saját kapacitást pedig értékesíti Ukrajnában, ahol égető szükség van az áramra és még többet is fizetnek érte, mint Magyarországon tennék – és ugyanez igaz lehet fordítva is. Ennek a valóságban a villamosenergia-rendszer sajátos tulajdonságai (veszteség, kapacitásbeli korlátok) kereteket adnak, de a lehetőség adott.⁷⁸

A Paksi Atomerőmű már hosszú évek óta látja el az országot karbonsemleges, olcsó villamosenergiával, ezzel a hazai áramtermelés gerincét képezve. A KSH 2000 óta jegyzi a villamosenergia-termelés adatait és jól látható, hogy az elmúlt huszonhárom évben hogyan formálódott a különböző források részesedése a termelésből. Mint azt már említettem, Magyarország villamosenergia-termelése 2000 óta érdemben nem nőtt és nem is csökkent (egy-két kiugró évtől eltekintve⁷⁹). Paks termelése mindig 11 000-16 000 GWh között alakult, ezért a könnyebb ábrázolhatóság érdekében csak a többi forrást szemléltetem.



4. ábra: A villamosenergia-termelés különböző forrásai az évek során

⁷⁷ Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító (2024): *Áttekintő ábra a magyarországi villamosenergia-rendszerről*. Forrás: <https://mavir.hu/web/mavir/home> (2024.11.10.)

⁷⁸ GORDOS Péter (2004): *Villamos energia határkeresztező kereskedelme az európai unió belső villamosenergia-piacán. Főbb akadályok, továbblépési lehetőségek*. Disszertáció, Budapest.

⁷⁹ A legmagasabb érték 2008-ban, 40 025 GWh; míg a legalacsonyabb 2014-ben 29 403 GWh volt. Az átlag érték 2000 és 2023 közt 34 780 GWh volt a KSH adatai alapján.

A számok tanúsága szerint, az egyik legfontosabb (és legüdvösebb), hogy a kőolajat sikerült szinte teljesen kizárni a rendszerből. Ezt követően a 2010-es évtized második felében megjelent a napenergiával előállított villamosenergia a rendszerben és 2023-ra már a földgáz súlyával egyenértékűvé vált. Mindeközben a szénalapú áramtermelés fokozatosan visszaszorult, amit elsősorban földgázzal, biomasszával és napenergiával pótolnak a rendszerben.

A 4. ábrán megjelenített egyéb források tartalmazzák a szél- és vízenergia termelését, a biogázból, a geotermikus hőből és a megújuló kommunális hulladékból előállított villamosenergiát, illetve a KSH által csak „egyéb” -ként jelölt forrásból származó termelést. Ebben a kategóriában a szélenergia termelése a legjelentékenyebb, viszont a 2016-os „szélenergia-stop” óta részarányuk stagnált. Emlékeztet, hogy 2016-ban a településhatártól számított 12 km-re módosította a Kormány a védősávot, amelyen belül szélenergia nem létesülhetett. Nem lévén ilyen terület Magyarországon ez egy effektív tiltásként érvényesült. Ezt 2023-ban törölte el a Kormány és az uniós normának megfelelően 700 méterben határozta újra.⁸⁰

A három legnagyobb forrása a termelésnek három egyedi karakterisztikával rendelkezik. A nukleáris energia stabil termelést képes biztosítani, jó áron, viszont nehezebben szabályozható vissza, mint a gázenergia. A gázenergia maximális agilitással bír, viszont sokkal drágább így termelni a villamosenergiát, importfüggő a természete, sőt még üvegházhatású mellékterméke is van. A napenergia és a lakossági napelemek nagy mennyiségű zöld villamosenergiát tudnak előállítani, relatíve olcsón, viszont abszolút ki vannak téve a környezeti viszonyoknak. Ez a három forrás egymással nagyon jól harmonizál az ellátásbiztonság tekintetében és az ágazati stratégiai dokumentumok alapján a magyarországi villamosenergia-termelés alapját fogják képezni az elkövetkezendő évtizedekben is.^{81 82}

2.5. A végső energiafelhasználás legjelentősebb tényezői Magyarországon

A korábbiakban már bemutattam a primer energiafelhasználás szerkezetét, ahol egyértelműen megmutatkozott a fosszilis energiahordozók túlsúlya az primer energiamixben.

⁸⁰ 650/2023. (XII. 28.) Korm. Rendelet a szélenergia termelésének engedélyezésével összefüggő egyes kormányrendeletek módosításáról

⁸¹ Nemzeti Energiastratégia 2030 Forrás: <https://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf> (2024.11.10.) 58.

⁸² Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig Forrás: <https://www.banyasz.hu/images/klimapolitika/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030.pdf> (2024.11.10.) 27-34.

Ennek természetesen ezernyi oka van, viszont az egyik legkézzelfoghatóbb magyarázat az éppen a fogyasztás szerkezete. Hazánkban ugyanis a fogyasztás három legnagyobb tényezője 2022-ben sorban a következők voltak: közúti közlekedés (benzin, dízel; kisebb részt elektromos, vagy egyéb), az ipari tevékenység (villany, földgáz, kőolaj) és a háztartások fűtési igénye (földgáz, biomassa, villany).^{83 84} Az alábbiakban az egyes komponenseket és a legfőbb trendeket mutatom be.

2.5.1. A közúti közlekedés energiafelhasználása

A közúti közlekedés elsődleges energiaforrását a kőolajszármazékok adják. 2023-ban a Magyarországon bejegyzett 4 168 651 személygépkocsiból⁸⁵ 3 898 787 db tisztán benzin- vagy dízelüzemű⁸⁶, 198 235 db hibridüzemű⁸⁷ és további 30 417 db egyéb üzemű⁸⁸ (elsősorban hidrogén és LPG). Így összesen 41 212 db marad, mely tisztán elektromos üzemű.⁸⁹ Az összesen 5,08 millió közúti gépjárműből⁹⁰ közel 700 000-et tesznek ki az autóbuszok, tehergépjárművek és vonatok⁹¹, melyek túlnyomó többsége dízelüzemű és további 221 000 motorkerékpár,⁹² amik közt a benzinüzem az uralkodó. A számok magukért beszélnek: Magyarországon a közúti közlekedés és ezáltal az ország vérkeringésének java olajszármazékok elégetésével valósul meg. Ez kiterjed a személy- áru- és egyes szolgáltatások forgalmára egyaránt. A MOL tevékenységének köszönhetően az üzemanyag-igényét az ország ki tudja elégíteni, viszont a szükséges alapanyag zöme továbbra is importköteles.

Alig néhány éve a szakmai konszenzus még abszolút az elektromos üzemű, akkumulátoros közúti személyszállítás mindent elsöprő előretörését jósolta.⁹³ Ez tökéletesen letűkröződött a legnagyobb elektromos autó-gyártók részvényeinek árfolyamában is: 2020 és 2023 között a teljes elektromos járműipar piaci kapitalizációja megtízszereződött.⁹⁴ A lelkesedés mostanra már alábbhagyott. Számos oka van ennek, de az bizonyos, hogy a globális piacok elzárkózása,

⁸³ KSH (2024): 6.1.1.6. *Végső energiafelhasználás [petajoule]*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0006.html (2024.11.10.)

⁸⁴ KSH (2024): 6.1.1.7. *A háztartások végső energiafelhasználása felhasználási célok szerint [petajoule]*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0007.html (2024.11.10.)

⁸⁵ KSH (2024): 24.1.1.25. *A személygépkocsi-állomány gyártmány és üzemanyag-felhasználás szerint*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0025.html (2024.11.10.)

⁸⁶ KSH 2024: 24.1.1.25.

⁸⁷ KSH 2024: 24.1.1.25.

⁸⁸ KSH 2024: 24.1.1.25.

⁸⁹ KSH 2024: 24.1.1.25.

⁹⁰ KSH 2024: 24.1.1.25.

⁹¹ KSH 2024: 24.1.1.25.

⁹² KSH 2024 24.1.1.25.

⁹³ IEA (2024): *Trends in the electric vehicle industry*. Forrás: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-the-electric-vehicle-industry> (2024.11.10.)

⁹⁴ IEA 2024: *Trends in the electric vehicle industry*.

a vámháborúk, és az ellátásbiztonságot érintő kockázatok mind közre játszanak ebben. Az Európai Unió klímacéljai⁹⁵ és elfogadott szakpolitikái, döntései⁹⁶ pozitívan hatnak az európai keresletre és kínálatra egyaránt, viszont potenciálisan versenyképességi hátrányt hordoznak magukban. Az elektromos autók piaci részesedése valószínűleg továbbra is növekedni fog, de a vártnál lassabban, emiatt az olajszármazék-függősége a közlekedésnek még sokáig fennmaradhat.

2.5.2. Az ipar energiafelhasználása

Ebbe a kategóriába több termelő ágazat, illetve gyártó tevékenység beletartozik. Az összes ipari tevékenység között a „vegyipar és gyógyszergyártás” használta a legtöbb energiát 2022-ben, míg a legkevesebbet a „textil- és bőripar”.⁹⁷ Az ipar 1995 óta jegyzett energiafelhasználásának mélypontja 2009-ben volt, ekkor a teljes végső energiafelhasználás megközelítőleg 14,6%-át fogyasztotta.⁹⁸ 2022-ben már 24,1%-ra nőtt ez az érték.⁹⁹

Egyértelműen megfigyelhető 2009 és 2022 között egy növekvő tendencia az ipari tevékenység energiafelhasználására és energiaintenzitására vonatkozólag. Ugyan az orosz-ukrán háború nyomán kialakult energiaválság teljes hatása a gazdaság ezen részére nem teljesen ismert, feltehetően az egységnyi termékre jutó energiafelhasználás csökkenhetett a kényszerű költségmegszorítások és racionalizáció következtében. A Kormány gazdaságpolitikai elképzeléseinek a feldolgozóipar különböző ágai oszlopos elemét képezik, ami legtöbbször nagyon energiaintenzívnek bizonyul.

Az ipari létesítmények széles köre az energiamix teljes egészéből meríthet. Mindazonáltal, a villamosenergia, a földgáz, illetve az olajszármazékok fogyasztása a legnagyobb. Ezen felül, az ipari tevékenységek széles köre alkalmaz fosszilis energiahordozókat a termelési folyamataiban is, ilyenek például a műtrágyagyártás, a kenőolajok gyártása, vagy az acélgyártás is. Pozitív folyamatként megemlítenő, hogy egyre több gazdasági szereplő felismerte a napelemes villamosenergia-termelésben, illetve a napkollektoros hőtermelésben rejlő

⁹⁵ Európai Tanács – Az Európai Unió Tanácsa (2024): *Irány az 55%! Forrás:*

<https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/green-deal/fit-for-55/#0> (2024.11.10.)

⁹⁶ AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2023/851 RENDELETE az 2019/631 rendeletnek az új személygépkocsikra és az új könnyű haszongépjárművekre vonatkozó szén-dioxid-kibocsátási előírásoknak az Unió fokozott éghajlatvédelmi törekvéseivel összhangban való megerősítése tekintetében történő módosításáról.

⁹⁷ KSH 2024: 6.1.1.6.

⁹⁸ KSH 2024: 6.1.1.6.

⁹⁹ KSH 2024: 6.1.1.6.

lehetőségeket, ami (mint az a 4. ábrán is látható) valóságos „napenergia-boom” -ot eredményezett.

2.5.3. A lakossági fűtés energiafelhasználása

A magyar lakásállománnyal kapcsolatban köztudott, hogy a többség rendkívül energiapazarló a hőháztartását tekintve. Ennek a KSH szerint a fűtésben van a leginkább érezhető hatása: a háztartások által fogyasztott energia nagyjából 72%-a került fűtési célú felhasználásra 2022-ben.¹⁰⁰ A fűtési célú energiafelhasználásnak két nagy csoportja van: a távhő és az egyedi fűtés. Fontos megjegyezni, hogy mind a távhő, mind az egyedi fűtés esetében nem csak kizárólag a komfortos hőmérséklet megteremtéséért, de a melegvíz előállításáért is felel az alkalmazott hőelőállító technológia.

A távhő esetében 2022-ben a földgáz volt a domináns forrása az előállított hőnek, az energiafelhasználás 66%-át adva.¹⁰¹ A maradék 34%-on belül a geotermikus energia és a biomassza voltak a legnagyobb tényezők.¹⁰² A távhő esetében tehát megállapítható, hogy a termelés kétharmadát kitevő földgáz „fogságában” van. A Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal (továbbiakban MEKH) elképzelése szerint a földgáz szerepe fokozatosan csökkenni fog a hőtermelésben, viszont még a 2050-re vetített jóslatukban is 22,1%-ra becsülik a részarányát.¹⁰³

Az egyedi fűtés esetében nehezebb a pontos számok megállapítása. A KSH statisztikái alapján 2020-ban a lakások 83,2%-át ilyen formában fűtötték és a biomassza, illetve a földgáz voltak az elsődleges üzemanyagai ennek.¹⁰⁴ Az utóbbi években (és kifejezetten az orosz-ukrán háború kezdete óta) a villamosenergiát hasznosító hőcserélők és klimatizáló berendezések is egyre nagyobb szerepet kaptak, viszont az áttörés még várat magára. A 2020-as statisztika alapján az egyedi fűtésű lakások 42%-a használt földgázt.¹⁰⁵

A lakossági fűtés vonatkozásában tehát látható, hogy elsősorban a földgázhoz és ezáltal a földgázpiachoz kötődik szorosan a megvalósíthatósága. Emlékeztet, hogy a Kormány 2022-ben kénytelen volt az addigi „rezsicsökkentési” modellt feladni és egy új rendszert kidolgozni

¹⁰⁰ KSH 2024 6.1.1.7.

¹⁰¹ Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal (2023): *A MAGYAR TÁVHŐSZÉKTOR 2022. ÉVI ADATAI*. Forrás: https://tavho.org/uploads/statisztika/MEKH_statisztikai_kiadvany_tavho_2023_A4_web.pdf (2024.11.10.). 30.

¹⁰² MEKH 2023: 30.

¹⁰³ MEKH 2023: 33.

¹⁰⁴ KSH (2024): 14.1.2.8. *A háztartások és lakások megoszlása, a lakások mennyiségi és minőségi mutatói régió és településtípus szerint*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/jov/hu/jov0048.html (2024.11.10.)

¹⁰⁵ KSH 2024: 14.1.2.8.

az elszálló árak miatt. A MEKH kiadványa alapján, míg 2020-ban a távhőtermeléshez használt gáz GJ-onkénti ára 2 147 Ft volt, 2022-ben ez a szám már 17 462 Ft volt.¹⁰⁶ A nyolcszoros ár kigazdálkodása már jócskán megviselte a költségvetést és rámutatott a nagy problémára: a diverzifikáció hiánya és a túlzott energiafüggőség hatalmas biztonsági kockázatot jelentenek. Érdemes visszaemlékezni, hogy 2022 nyarán milyen rémhírek terjedtek a közelgő télre vonatkozólag, illetve arra, hogy Oroszország kész azonnal elvágni a gázszállításait, ha úgy akarja. Ez az általánosan negatív szentiment jócskán feltornázta az európai gázárakat és mindezidáig nem sikerült az ennek nyomán kialakult inflációs- és növekedési válságot teljességgel magunk mögött hagynunk.

2.6. Részösszefoglalás

A fentiek ismeretében láthatjuk, hogy a jelen Magyarországa számára milyen nélkülözhetetlenül fontosak a fosszilis energiahordozók a mindennapi életben. Legyen szó a villamosenergia-termelésről, a termőföldek trágyázásáról, vagy a legalapvetőbb közlekedési szükségleteinkről a kőolaj és a földgáz mindenhol „felbukkannak”. Ha ezzel szembe állítjuk a hazai termelését ezeknek az energiahordozóknak rémisztő képet kapunk arról, milyen nagyon kiszolgáltatottak vagyunk néhány csővezeték és azon országok számára, ahol ezek a csővezetékek áthaladnak. Elsődleges fontosságú tehát, hogy ezt a kiszolgáltatottságot kezeljük.

Magyarország előtt több út is áll az energiafüggőség kezelésében, viszont egyik út sem könnyen járható. Lehetne a hazai fosszilis energiakészletek megemelt kitermelése révén kezelni az importkitettséget, viszont a környezetvédelmi aggályok ennek erőteljesen ellenhatnak. Egy másik megoldás a forrásdiverzifikáció lehet, viszont ehhez nem csak partnereket kell találni, de az infrastruktúra tökeigényét is szükséges finanszírozni valakinek. Egy harmadik út az energiahatékonyság növelése, ezáltal a gazdaság energaintenzitásának a csökkentése lehet, viszont ebben az esetben sem oldódna meg a fennálló függőség, csupán a hatásai volnának mérsékelhetőek.

Az energiafüggőség mellett akut problémát jelent a megújuló forrásokból származó felesleges villamosenergia-termelés is, amely miatt a zöld átállás megtorpanhat, ráadásul a kiegyensúlyozatlan piaci viszonyok miatt a gazdaságosság is elmarad a kívánalmaktól. A gazdaság elektrifikációjának sürgetése révén egyszerre lehetne a felesleget, illetve a fosszilis

¹⁰⁶ MEKH 2023: 30.

energiahordozók szerepét csökkenteni, viszont éppen a legenergiaigényesebb közlekedésen belül továbbra is nehezen látszik megvalósulni a széleskörű elektrifikáció.

3. A hidrogénfelhasználás lehetőségei a magyar energetikában

A második fejezetben láthattuk, hogy Magyarországon a kőolaj és a földgáz megkerülhetetlenek az energiaigényünk kiszolgálása terén. Láthattuk azt is, hogy ezek az energiahordozók Magyarországon csak korlátozottan kerülnek előállításra. Az importszükséglet (ezáltal az energiaellátás-biztonsági kockázat) tehát magas és bár a forrásdiverzifikáció egy elengedhetetlen és helyes eszköz, a nap végén mégis csak más országok döntéseitől függő tünetkezelés. Na de mi lehet a „gyógyír”?

A legtöbb koncepció Európa-szerte a karbonsemleges forrásból származó villamosenergia valamilyen formában való hasznosítása mellett érvel. Egyesek ezt az áram az élet minél több területén való felhasználásával képzelik (például a földgáz kiváltásával a lakossági fűtésben, vagy ételkészítésben), mások a közlekedés elektromossá tételével (elsősorban akkumulátorok segítségével), egy harmadik irány pedig az alternatív forrásból származó üzemanyagok és földgáz előállításában látja a megoldást. Ezeken kívül több más egyedi vízió született még, de eddig ezek a leginkább piacérettek. Ezek az ötletek semmiképp sem nevezhetők egymással ellentétesnek, sőt sokkal inkább lehetnek komplementerei egymásnak. Mégis, amennyiben az állami, vagy piaci szereplők figyelme ennyi különböző irányba kell tekintsen, úgy az elvégzett kutatómunka könnyen lehet, nem bizonyul elég hatékornak. A hidrogénben rejlő lehetőségek, viszont képesek lehetnek egyszerre harmonizálni minden, a karbonsemleges energia hasznosítására vonatkozó elképzelést.

Ezt mind az uniós, mind pedig a magyar döntéshozók felismerték már. Az Európai Unió 2020-ban fogadta el a saját hidrogénstratégiáját, amiben több nagyon ambiciózus célt is megfogalmazott, melyek a European Green Deal-ben lefektetett energetikai célok elérését szolgálják.¹⁰⁷ A stratégiai dokumentum becslése szerint az európai energiamixben a hidrogén részaránya 13-14%-os lehet 2050-re.¹⁰⁸ Magyar oldalról a 2021-ben létrejött Nemzeti Hidrogénstratégia fogalmazza meg a hidrogénfelhasználás jövőképét. A dokumentum négy kiemelt célt határozott meg 2030-ig, ezek a:

¹⁰⁷ Az Európai Bizottság 2020. július 8. COM/2020/301 final közleménye

¹⁰⁸ Az Európai Bizottság 2020. július 8. COM/2020/301 final közleménye

- nagyvolumenű karbonszegény és decentralizált karbonmentes hidrogén előállítása,
- az ipari felhasználás dekarbonizációja részben hidrogénnel,
- a közlekedés zöldítése
- és a támogató villamosenergia- és (föld)gáz-infrastruktúra.¹⁰⁹

A dokumentum egyes kiemelt céljai (bár csak mérsékelt ambíciózusak) megvalósíthatóak kell legyenek a 2030-as céldátumig, relatíve kevés extra ráfordítással. A karbonmentes és azon belül is a zöld hidrogén-előállítás terén – ahogy a bevezetőben már említettem – 2024-ben már születtek eredmények: a MOL-csoport áprilisban adta át 10 MW teljesítményű elektrolizálóját¹¹⁰, majd júniusban Bükkábrányban került átadásra egy (nap)energiapark, ahol egy 1 MW teljesítményű elektrolizáló is helyet kapott.¹¹¹ A bükkábrányi projekthez jelentős hazai K+F tevékenység is társult magyar egyetemek bevonásával.

Az alábbiakban bemutatom a hidrogénfelhasználás jelenleg ismert, Magyarország szempontjából potenciálisan releváns módszereit, technológiáit, elsősorban az életszerű alkalmazhatóság lehetőségeit vizsgálva. Az egyes technológiák során használt pontos kémiai és fizikai folyamatok teljeskörű ismertetésére nem teszek kísérletet, ellenben az ellátásbiztonsági, illetve költség- és energiahatékonysági szempontokat igyekszem minél kiterjedtebben demonstrálni. Tekintettel az előző fejezetben megállapított villamosenergia-termelési sajátosságainkra, vizsgálatom során az úgynevezett „power-to-gas” elven, azaz villamosenergiával, elektrolízis útján előállított hidrogén alkalmazását veszem alapul, különös tekintettel a naperőművek tevékenységét kisegítő zöldhidrogén üzemekre. Továbbá, az Európai Unió által lefektetett energetikai és klímacélokkal összhangban, a megújuló, környezetkímélő, illetve karbonsemleges megoldásokat vizsgálom elsődlegesen.

3.1. Hidrogén üzemanyagcellák

Az első üzemanyagcellákat a 19. század első felében találták fel, az első ipari forradalom idején. A technológia hosszú időre feledésbe merült, míg 1932-ben Francis Thomas Bacon meg nem alkotta az első kereskedelmi felhasználású hidrogén-oxigén üzemanyagcellát, majd ezután

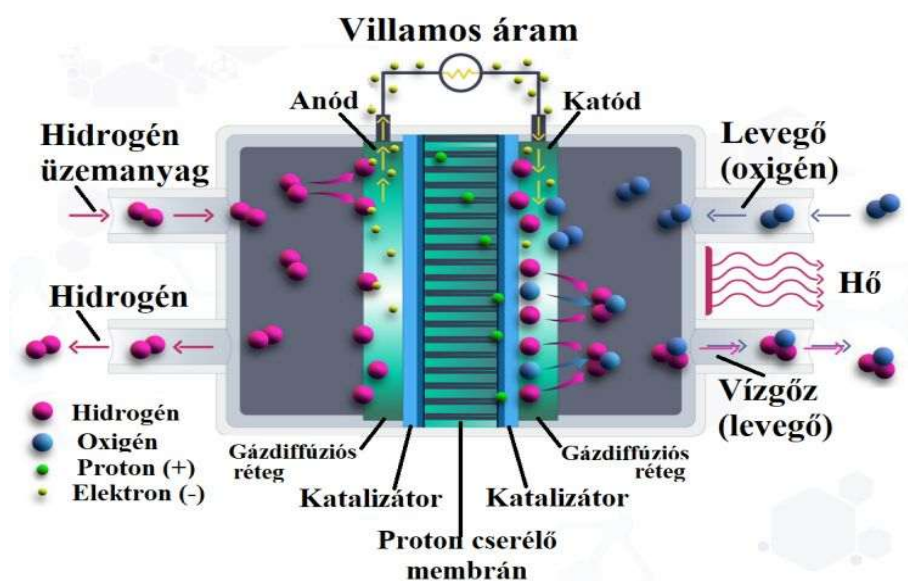
¹⁰⁹ Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája 2021. Forrás: <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/6/61/61a/61aa5f835ccf3e726fb5795f766f3768f7f829c1.pdf> (2024.11.10.) 3.

¹¹⁰ MOLGROUP (2024): *A MOL átadta a régió legnagyobb kapacitású zöld hidrogén üzemét.* Forrás: <https://molgroup.info/hu/media-kozpont/sajtokozlomenyek/a-mol-atadta-a-regio-legnagyobb-kapacitasu-zold-hidrogen-uzemet> (2024.11.10.)

¹¹¹ Index (2024): *Átadták Magyarország első zöldhidrogén üzemét.* Forrás: <https://index.hu/belfold/2024/06/03/zoldhidrogen-uzem-bukkabranyi-energiapark-napelem-megujulo-energia/?token=def71b2e4993a0134c86f22aa489bfde> (2024.11.10.)

az igazi áttörést az űrtechnológia és a holdra jutásért folytatott verseny hozta el. Napjainkban számos alkalmazása létezik – elsősorban a nagyteljesítményű közúti és vasúti gépek, illetve villamosenergia-termelés viszonylatában –, viszont összességében kevésbé elterjedt a technológia, elsősorban a költségei miatt.

Felépítésüket tekintve hasonulnak az akkumulátorokhoz. Itt is szükség van két elektródára, egy anódra és egy katódra, illetve valamilyen közegre elektrolit gyanánt. A „trükk”, amiért olyan nagyon drága egy manapság kereskedelmi forgalomban használatos üzemanyagcella előállítása az az, hogy szükség van egy katalizátor rétegre is, ami platinából készül. Az évek során a szükséges platina mennyiségét sikerült redukálni, viszont eddig nem találtak olcsóbb, könnyebben elérhető alternatívát rá. Az üzemanyagcella egy elektrokémiai folyamat során közvetlenül elektromosságot állít elő (és „felesleges” hőt), akár csak egy elem vagy egy akkumulátor. A különbség az, hogy itt a reakcióhoz szükséges anyag, a hidrogén a reakció során vízzé alakul és távozik a rendszerből, emiatt újratöltésre szorul. A legismertebb üzemanyagcella-típus elvi felépítését az alábbi ábra szemlélteti.¹¹²



5. ábra: A PEM típusú üzemanyagcellák elvi felépítése.

Kereskedelmi felhasználásban a (fent is látható) polimer elektrolit membrán (egyéb nevein: proton-exchange membrane, PEM) típusú üzemanyagcellák terjedtek el. Ezek esetében a teljes – hidrogén előállítása nélkül számított – folyamat hatékonysága az alkalmazott celláktól függően 40-60%¹¹³, ami önmagában magasabb, mint a jelenleg használt belsőégésű motoroké.

¹¹² Dr. VARGA Vilmos (2022): Hidrogén alkalmazása erőgépek hajtására. *Gépmax*, 2022/VI.

¹¹³ U.S. Department of Energy (2015): *Fuel Cells Fact Sheet*. Forrás: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/articles/fuel-cells-fact-sheet>. (2024.11.10.)

A veszteség elsősorban hő formájában keletkezik, aminek a megfelelő felhasználásával a hatásfok tovább növelhető. Az elektrolízises hidrogénelőállítás hatásfoka (Magyarországon a két zöldhidrogén üzemben használt ugyancsak PEM típusú elektrolizáló esetében) 67-82% között alakul jelenleg.¹¹⁴ Ezzel a megoldással tehát, amennyiben a többi részfolyamat során keletkező veszteség 0, a naperőművekben termelt felesleges villamosenergia minimum 26,8%-át maximum 49,2%-át újra lehet használni hidrogén üzemanyagcellák igénybevételével.

A PEM cellák beszerzési és üzemeltetési költségeire vonatkozólag nagyon nehéz konkrét értékeket megadni. Az aktuális tudományos konszenzus alapján sokkal költségesebbek, mint a legtöbb akkumulátor típus, és még sokkal inkább igaz ez a robbanó motorokkal szemben. Egy 2022-ben megjelent tanulmány szerint a PEM cellák előállítási költsége nagy mennyiségekben is körülbelül 75 USD/kW-os áron történik, melynek 40%-a a katalizátor réteg platinaigényének könyvelhető el.¹¹⁵ Erre még rátevéődik az, hogy a cellák rendkívül magas tisztaságú hidrogént igényelnek az üzemszerű működéshez és a legkisebb szennyeződés is képes lerövidíteni a cellák élettartamát. A csekély kiépítettségű töltőhálózat további nehézségeket jelent a technológia szélesebbkörű penetrációja számára. A cellák használatát a Nemzeti Hidrogénstratégia elsősorban a nehézgépjármű forgalomban látja elérhetőnek, ahol 2030-ig húsz hidrogén töltőállomás és negyven töltőpont létrehozását, valamint 4 800 HFC (hidrogén üzemanyagcella) üzemű jármű közlekedését vízionálja.¹¹⁶

3.2. Hidrogén bekeverése a földgázrendszerbe

Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája 2030-ig 2% térfogatarányos hidrogén bekeverés lehetővé tételét irányozta elő, amit már középtávon emelendőnek tart.¹¹⁷ Több kísérlet és pilot projekt zajlik Európa-szerte, amik kifejezetten a meglévő földgázinfrastruktúrába próbálják a hidrogént integrálni.¹¹⁸ Ezek közül az egyik leghíresebb – és legsikeresebb – az egyesült királyságbeli HyDeploy, ami 2019 és 2023 között zajlott. A projekt keretében az egyesült királyságbeli meglévő földgázhálózat erre a célra elkülönített részeit egyre magasabb hidrogén térfogatszázalékú földgázkeverékkel látták el. A projekt első ütemében az angliai Keele University kampuszának gázellátását támogatta bekevert hidrogén,

¹¹⁴ Tongzhou WANG – Xuejie CAO, Lifang JIAO (2022): PEM water electrolysis for hydrogen production: fundamentals, advances, and prospects. *Carbon Neutrality*, első évfolyam, 21. szám. 3.

¹¹⁵ Yun WANG et al. (2022): PEM Fuel cell and electrolysis cell technologies and hydrogen infrastructure development – a review. *Energy & Environmental Science*, 2022/6.szám. 1.

¹¹⁶ Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája 2021 3.

¹¹⁷ Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája 2021 3.

¹¹⁸ DOBI-SZAKÁL Gyöngy (2021): Elosztóhálózatok hidrogén-tűrésének nemzetközi tapasztalatai. *Multidiszciplináris tudományok*, 11. kötet, 1. szám. 130-136

majd a második ütemben egy falu ellátását oldották meg hasonló módon.¹¹⁹ A második ütem során a szintén angliai Winlaton földgázhálózatát tették próbára, összességében pozitív eredménnyel. Winlaton 668 háztartását, egy iskolát, több üzlethelyiséget és egy templomot láttak el tíz hónapon át a maximálisan 20% hidrogéntartalmú gázkeverékkel.¹²⁰ A helyi lakosság számára nem okozott problémát a kísérlet a mindennapi életükben és a földgázinfrastruktúra számára sem okozott gondot sem hálózati sem pedig felhasználói oldalon.¹²¹ A HyDeploy projekt sikere a londoni kormányzat támogatását eredményezte, aminek köszönhetően megszületett a 20%-os hidrogén bekeverést támogató kormányzati stratégiai döntés.¹²² Ez még nem jelenti azt, hogy jóváhagyásra került a bekeverés, viszont egy egyértelmű állásfoglalás a jövőbeli kivitelezése mellett. Az Egyesült Királyság földgázhálózata tehát a kutatók és a döntéshozók szerint is alkalmas lehet a hidrogén bekeverésére. Mi a helyzet Magyarországgal? Hazai szinten sajnos még nem zajlottak olyan kiterjedt projektek, mint a HyDeploy, viszont több izgalmas kezdeményezés is folyamatban van. Ilyen az Akvamarin projekt, ami 2021-ben indult útnak. Az eredeti célkitűzés a Magyar Földgáztároló Zrt. saját gázzal működő berendezéseinek hidrogénnel kevert földgázzal való ellátása volt, majd az Akvamarin Plussszal már ez kiterjedt a teljes országos hálózat vizsgálatára is.¹²³

A hidrogén bekeveréssel szemben a legfőbb aggályok a következők: a csővezeték és a gázelosztó-berendezések ellenállóképessége, az üzembiztonság, a gázfogyasztó berendezések toleranciája és a keverék energiasűrűsége. A hidrogén molekulák sokban különböznek a földgáz több, mint 90%-át kitevő metántól. Ugyanazon a nyomáson a hidrogén sokkal kevesebb energiát tartalmaz, viszont magasabb nyomáson az acélötvözetekből készült vezeték anyagát károsíthatja ráadásul a földgáznál sokkal kisebb hidrogénmolekulák hajlamosak a szivárgásra is.¹²⁴ A szivárgás könnyen vezethet gyulladáshoz, esetleg robbanáshoz. A lakossági felhasználók számára a hidrogén jelenléte a leadott energiamennyiséget bekeverési aránytól függően csökkentheti, de a berendezések állapotát és munkáját egészen magas bekeverési

¹¹⁹ HyDeploy (2024): *Project Phases*. Forrás: <https://hydeploy.co.uk/project-phases/>. (2024.11.10.)

¹²⁰ HyDeploy (2020): *HyDeploy2 Project*. Forrás: <https://hydeploy.co.uk/app/uploads/2022/06/HYDEPLOY2-SECOND-OFGEM-PPR.pdf> (2024.11.10.)

¹²¹ HyDeploy (2021): *Project Close Down Report*. Forrás: https://hydeploy.co.uk/app/uploads/2022/06/HyDeploy-Close-Down-Report_Final.pdf (2024.11.10.) 24.

¹²² U.K. Department for Energy Security and Net Zero (2023): *Hydrogen blending in GB distribution networks: strategic decision*. Forrás: <https://www.gov.uk/government/publications/hydrogen-blending-in-gb-distribution-networks-strategic-decision> (2024.11.10.)

¹²³ Magyar Földgáztároló Zrt. (2021): *Hidrogén alapú projektek*. Forrás: <https://mfgt.hu/Hidrogen/Hidrogen-alapu-projektek/AKVAMARIN> (2024.11.11.)

¹²⁴ VADÁSZI Marianna –TOMKÓNYI NYIRI Katalin (2023): Kérdések a hidrogén földgáz infrastruktúrába történő bekeveréséről. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, XVIII. évfolyam, Különszám. 549-558

tartományok (akár 20% térfogatarányosan) sem befolyásolnák.¹²⁵ Az ipari fogyasztók számára (például villanytermelés) viszont már a kisebb változtatások is érzékenyen hathatnak.¹²⁶

Magyarország számára ez a technológia – minden járulékos költségével együtt – kiváló eszközzéül szolgálhat a forrásdiverzifikációnak. Érdekes itt most visszaemlékezni a második fejezetben foglalt primer energiafelhasználás szerkezetére. Amennyiben Hazánk képes volna akár csak a Hidrogénstratégiában foglalt szerény 2%-os térfogatarányos bekeverésre, úgy éves szinten közel 6 PJ fűtőértékű földgázt tudnánk megtakarítani,¹²⁷ ami – a károsanyag-kibocsátás csökkentése és az EU-s klímacélok mellett – hazánk külkereskedelmi mérlegének javításában és energetikai szuverenitásában is fontos szerepet játszana. Hazánk beágyazottsága a nemzetközi energiapiacokban, a földgáztárolói kapacitásai és a csőtávvezetékek szempontjából előnyös földrajzi adottságai kifejezetten indokoltá tennék a hidrogén bekeverésének (és elosztásának) minél szélesebbkörű vizsgálatát és energiatárolási funkciójának kiterjesztését.

A pontos költségek megállapításához rengeteg az elosztóhálózatra és a végfelhasználókra vonatkozó információ ismerete szükséges. A csővezetékek anyaga, az alkalmazott technológiák (szelepek, szerelvények, hegesztések) és a földgázszállításban használt berendezések (kompresszorok, szűrők, tárolók, műszerek, egyebek) hidrogénbefogadó képessége szakaszonként is eltérő lehet, aminek az egységesítése és „hidrogén-állóságának” fejlesztése a beavatkozás mértékétől függően drágulhat. Egy meglévő értékelés egyébként a 10%-ig terjedő arányt a meglévő hálózat érdemi átalakítása nélkül is megvalósíthatónak tartja.¹²⁸ E fölött a költségek nagy mértékben megnövekednek. A felhasználók – céltól függően – 5-20% hidrogént képesek tolerálni.¹²⁹ A lakossági felhasználók részéről lenne a legkisebb szükség átalakításokra, míg az ipar és különösképp az energiaipar igényelné a legtöbb fejlesztést a hidrogén biztonságos és üzemszerű felhasználhatóságához.¹³⁰

3.3. Alternatív üzemanyagok előállítása

Amint azt az első fejezetben már bemutattam, a hidrogént már száz éve is használták szintetikus üzemanyagok előállítására. Ekkor még a kőszén fajtái voltak a meghatározó forrásai az alternatív forrásból származó üzemanyag-termelésnek, viszont már ekkor is ismeretes volt, hogy különböző magas olaj- és zsírtartalmú növényekből is előállítható

¹²⁵ VADÁSZI Marianna –TOMKÓÉ NYIRI Katalin 2023

¹²⁶ VADÁSZI Marianna –TOMKÓÉ NYIRI Katalin 2023

¹²⁷ A KSH által közölt 2023-as primer energiafelhasználás (6.1.1.5.) alapján

¹²⁸ VADÁSZI Marianna –TOMKÓÉ NYIRI Katalin 2023

¹²⁹ VADÁSZI Marianna –TOMKÓÉ NYIRI Katalin 2023

¹³⁰ VADÁSZI Marianna –TOMKÓÉ NYIRI Katalin 2023

belsőégésű motorok hajtására alkalmas üzemanyag. A szintetikus üzemanyag-gyártás a második világháborút követően sokat veszített relevanciájából (nagy részt a közel-keleti olajkészletek felfedezett bősége miatt), és majd csak a hetvenes évek olajválságai idején és a klímaaktivizmus hatására kerül újra napirendre. A klímaváltozással kapcsolatos félelmek hatásaként a biomasszából előállított bioüzemanyagok köntösében az alternatív üzemanyagok „visszatértek” és megújult lendülettel hódítottak piacokat a nyugati világban.

Az első generációs bioüzemanyagok még élelmezésre egyaránt használt növényekből készült, melynek elsődleges hátulütője az volt, hogy az élelmiszer árakat potenciálisan növelhette.¹³¹ A bioüzemanyagok második generációja már képes volt általában véve mindenféle organikus hulladékból (növények szára, száraz levelek, kagylók héja, egyebek) előállítani üzemanyagot, ezáltal sok első generációs problémára megoldást kínálva.¹³² A bioüzemanyagok harmadik, jelenlegi, generációja tovább fejlesztette a biomasszára vonatkozó elvárásait és már használt sütőolajból állati zsiradékokból, de még algából is előállíthatóak.¹³³ Ezek a hulladék típusok nagy mennyiségben hozzáférhetőek és a megfelelő hulladékpolitikával a begyűjtésük is könnyen biztosíthatóvá tehető. Egy, a MOHU-hoz hasonló rendszer segítségével, a lakosság „stakeholder-ré” tételével a biomassza legalább egy részét ekképpen is lehetne biztosítani.

Ezeknek a bioüzemanyagoknak a legelterjedtebb és legismertebb felhasználási módja a töltőállomásokon is árult kevert összetételű dízel és benzin.¹³⁴ A bekeverés fokát benzin esetében „E”-vel (például E10, ami 90% benzin 10% etanol), míg a dízel esetében „B”-vel (például B20, ami 80% dízel 20% biodízel) jelölik.¹³⁵ A kevertség oka, hogy a bioüzemanyagok nem teljesen egyeznek meg a normál üzemben használt benzinnel és dízellel, így egyes tulajdonságaik (például alacsonyabb dermedési hőmérséklet) miatt „feljavításra” szorulnak.¹³⁶¹³⁷

A nem hagyományos úton előállított (azaz alternatív) üzemanyagok legújabb, legígéretesebb ékkövei az úgynevezett „drop-in” üzemanyagok, más néven a megújuló dízel

¹³¹ KOUL Rashi – Naveen KUMAR, R.C SINGH (2019): A review on the production and physicochemical properties of renewable diesel and its comparison with biodiesel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43. évfolyam, 18. szám. 2235 – 2255.

¹³² KOUL Rashi – Naveen KUMAR, R.C SINGH 2019

¹³³ KOUL Rashi – Naveen KUMAR, R.C SINGH 2019

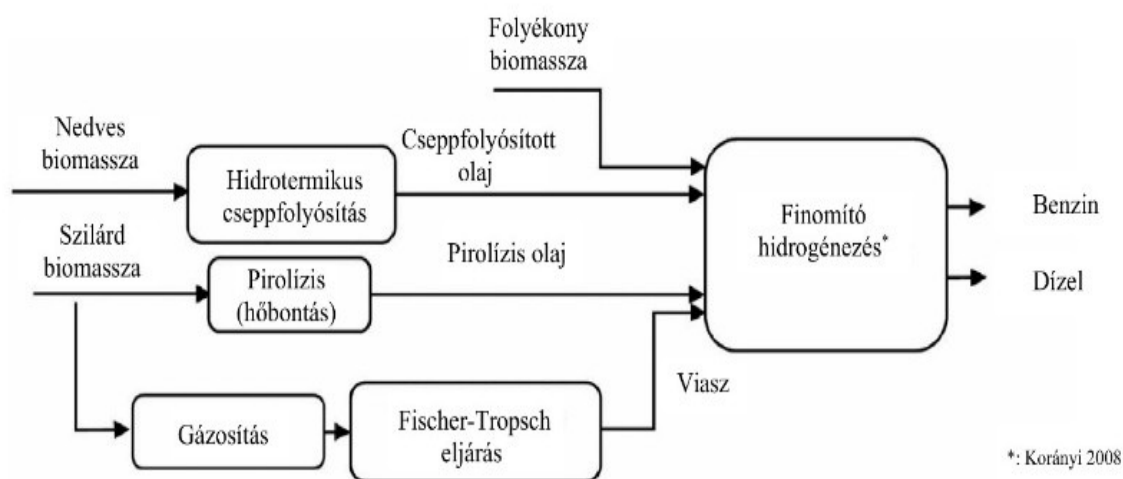
¹³⁴ U.S. Department of Energy (2024): *Biofuel Basics*. Forrás: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/biofuel-basics> (2024.11.11.)

¹³⁵ U.S. Department of Energy 2024: *Biofuel Basics*

¹³⁶ U.S. Department of Energy 2024: *Biofuel Basics*

¹³⁷ KOUL Rashi – Naveen KUMAR, R.C SINGH 2019

(továbbiakban az angol nyelvű szakirodalom szokásainak megfelelően Renewable Diesel, RD), illetve a megújuló benzin. A megújuló üzemanyagok előállításához ugyancsak biomasszát alkalmaznak, viszont a gyártási folyamatnak része még egy sor biológiai, kémiai és hőkezelési procedúra, melyek a szintetikus üzemanyag-gyártás folyamataira sokban hasonlítanak.^{138 139} Ezen folyamatok során egyes (elsősorban nemes-) fémeket alkalmaznak katalizátorként, illetve magas nyomáson és hőmérsékleten hidrogénnel kezelik a biomasszát.¹⁴⁰ Az így kapott üzemanyagok szinte teljesen megfelelnek a fosszilis olajból előállított üzemanyagok kritériumainak. Olyannyira, hogy teljes mértékben helyettesíteni képesek a tradicionális párjaikat anélkül, hogy a felhasználó gépek, eszközök bármekkora módosítást igényelnének.¹⁴¹ Miután nem szükséges bármin is módosítani használatukhoz és elég csak betölteni és használni őket, szokássá vált „drop-in” üzemanyagként hivatkozni rájuk.¹⁴² Az imént bemutatott előállítási folyamatot az alábbi elvi ábra szemlélteti.¹⁴³



5. ábra: A bioüzemanyagok előállításának elvi ábrája.

Kereskedelmi felhasználás szempontjából a RD bizonyult eddig elterjedtebbnek, kifejezetten az Egyesült Államokban nyert teret magának.¹⁴⁴ A RD energiatartalma magas, marginálisan kisebb csak a tradicionális dízelénél; az előállításhoz használt konkrét alapanyagok és eljárás függvényében alakítható a cetánszáma és a hidegbíró képessége; sokkal stabilabb, mint a biodízel (tehát tovább eltartható) és az égése is megfelelőbb, mint a bio-, vagy

¹³⁸ U.S. Department of Energy (2024): *Renewable Gasoline*. Forrás: <https://afdc.energy.gov/fuels/emerging-hydrocarbon> (2024.11.11.)

¹³⁹ U.S. Department of Energy (2024): *Renewable Diesel*. Forrás: <https://afdc.energy.gov/fuels/renewable-diesel> (2024.11.11.)

¹⁴⁰ KOUL Rashi – Naveen KUMAR, R.C SINGH 2019

¹⁴¹ KOUL Rashi – Naveen KUMAR, R.C SINGH 2019

¹⁴² Susan VAN DYK et al. (2019): *'DROP-IN' BIOFUELS: The key role that co-processing will play in its production*. IEA Bioenergy Task 39. 1.o

¹⁴³ KOUL Rashi – Naveen KUMAR, R.C SINGH 2019: 6., saját fordítás,

¹⁴⁴ U.S. Department of Energy 2024: *Renewable Diesel*

a hagyományos dízelé.¹⁴⁵ A sok alkalmazásbéli pozitívum mellett a RD a fenntarthatósági szempontoknak és a károsanyag-kibocsátási követelményeknek is képes megfelelni.

Nem is véletlen, hogy a RD amerikai megjelenése nagyban köszönhető a kaliforniai „Low Carbon Fuel Standard”-nek, amelynek a lényege, hogy a különböző üzemanyagok szén-intenzitását (gCO₂e/MJ) csökkentse.¹⁴⁶ A szabályozás értelmében évente csökkentik azt a szén-intenzitási viszonyítási alapértéket, amit ha az adott üzemanyag meghalad extra adótétel terheli.¹⁴⁷ Emiatt a forgalmazók – meglehetősen agresszíven – rá lettek kényszerítve a minél környezetkímélőbb megoldások alkalmazására. Köszönhetően ennek, amellett, hogy az elektromos autók száma is Kaliforniában a legmagasabb az USA-ban,¹⁴⁸ a megújuló dízel is itt kapott szárnyra. A kaliforniai üzemanyagárak a legmagasabbak az összes állam között, viszont a RD és a hagyományos közötti árres tulajdonképpen megszűnt.¹⁴⁹

Európában a RD termelésében Hollandia az első, ugyanis a legnagyobb világ legnagyobb termelőjének, a Neste-nek az egyik finomítója Rotterdamban helyezkedik el. A Neste-nek továbbá Finnországban és Szingapúrban van még hasonló, megújuló dízelt előállító finomítója és a vállalat az Egyesült Államok elsősorú beszállítója.¹⁵⁰ Globális összevetésben a megújuló üzemanyagok penetrációja még alacsony, viszont a Nemzetközi Energiaügynökség 2023-as évről szóló, kifejezetten a megújuló energiával foglalkozó elemző/előre jelző jelentése szerint 2028-ra az új bioüzemanyag-termelési kapacitások zöme már RD termelést fog folytatni.¹⁵¹ Az IEA anyaga szerint a bioüzemanyagok piacának keresleti oldalán a feltörekvő országok fogják a legnagyobb igényt támasztani, közöttük is Brazília, India, és Indonézia voltak kiemelve, mint a legnagyobb potenciális fogyasztók.¹⁵²

Magyarországon a bioüzemanyagok ezen legújabb generációja még leginkább ismeretlennek *látszik*. A MOL csoport nyilvánosság számára elérhető publikációi alapján, a vállalat a bioüzemanyagoknak fontos szerepet tulajdonít a közúti közlekedésben használt

¹⁴⁵ KOUL Rashi – Naveen KUMAR, R.C SINGH 2019

¹⁴⁶ California Air Resources Board (2024): *Low Carbon Fuel Standard Fuel Prices*. Forrás: [LCFS Fuel FAQ.pdf](https://www.arb.ca.gov/fuels/LCFS_Fuel_FAQ.pdf). (2024.11.11.)

¹⁴⁷ California Air Resources Board 2024

¹⁴⁸ U.S. Department of Energy (2024): *Electric Vehicle Registration by State*. Forrás: <https://afdc.energy.gov/data/10962>. (2024.11.11.)

¹⁴⁹ U.S. Department of Energy (2024): *CLEAN CITIES and COMMUNITIES Alternative Fuel Price Report*. Forrás: https://afdc.energy.gov/files/u/publication/alternative_fuel_price_report_july_2024.pdf. (2024.11.11.) 20.

¹⁵⁰ U.S. Department of Energy 2024: *Renewable Diesel*

¹⁵¹ IEA (2024): *Renewables 2023 Analysis and forecast to 2028*. Forrás: https://iea.blob.core.windows.net/assets/96d66a8b-d502-476b-ba94-54ffda84cf72/Renewables_2023.pdf (2024.11.11.) 95.

¹⁵² IEA 2024: *Renewables 2023 Analysis and forecast to 2028*. 94.

üzemanyagok gyártása során és képes saját maga is előállítani biodízel.¹⁵³ Emellett, (ahogy azt már említettem) a vállalat 2024 áprilisában megkezdte a saját tevékenységéhez felhasznált hidrogén zöldítését is, ugyanis Százhalombattán megnyitotta az ország első zöldhidrogén üzemét.¹⁵⁴ Arra vonatkozólag, hogy milyen eljárással, illetve milyen jellegű bioüzemanyagokat állít elő a MOL nincs sok információ, viszont a MOL tulajdonában lévő Rossi Biofuel Zrt. – Magyarország legnagyobb bioüzemanyaggyártója – a publikusan elérhető információ alapján „csak” biodízel minőségű üzemanyagot gyárt.¹⁵⁵ Mindazonáltal, naivitásnak gondolnám azt feltételezni, hogy a MOL vegyészei nem kísérleteznek a drop-in üzemanyagok előállításával.

A drop-in üzemanyagok előállítási költségeit erőteljesen befolyásolja a felhasznált biomassa, technológia és hidrogén ára.¹⁵⁶ Az amerikai Energy Information Administration szerint a normál közúti közlekedésben használt dízel átlagára 4,21\$/gallon volt 2023-ban¹⁵⁷, ami nagyjából literenként 0,93\$-t jelent. Magyarországon ez az ár ~619 Ft volt¹⁵⁸, ami a 2023-as átlagos HUF/USD árfolyamon¹⁵⁹ átszámolva 1,75\$/literes árat jelent. Kaliforniában a korábban már bemutatott szabályozás mellett 1,179\$/literes áron lehetett kapni a dízelt és a megújuló dízelt is.¹⁶⁰ Természetesen nem lehet egy az egyben egymás mellé állítani a magyar és az amerikai értékeket, de mindenképp jelzésértékkel bírnak ezek a számok. Továbbá, éppen azt bizonyítják ezek az értékek, hogy Magyarország számára kiemelt jelentőséggel bír valamilyen alternatíva felfedezése a közlekedés energiaszükségletének kiszolgálására.

3.4. Energiatárolás

Miként arra már talán sikerült rámutatnom, a hidrogén egy rendkívül sokoldalú kémiai elem. A rengeteg potenciális energetikai célú felhasználási mód mellett viszont érdemes megemlíteni az egyéb iparágakban való felhasználás lehetőségeit is. Ez elsőre talán inkoherencia hatását keltheti, mert a fejezet címében kifejezetten az energetika szektorát

¹⁵³ MOLGROUP (2021): *Megkezdődött a bioüzemanyagok előállítása a Dunai Finomítóban*. Forrás: <https://molgroup.info/hu/media-kozpont/sajtokozlomenyek/megkezdodott-a-biouzemanyagok-elallitasa-a-dunai-finomitoban> (2024.11.11.)

¹⁵⁴ MOLGROUP 2024

¹⁵⁵ Rossi Biofuel (2024): *Biodízel*. Forrás: <https://www.rossibiofuel.hu/hu/termek/biodizel>. (2024.11.11.)

¹⁵⁶ U.S. Department of Energy 2024: *Renewable Diesel*.

¹⁵⁷ U.S. Energy Information Administration (2024): *Diesel fuel explained Diesel prices and outlook*. Forrás: <https://www.eia.gov/energyexplained/diesel-fuel/prices-and-outlook.php>. (2024.11.11.)

¹⁵⁸ KSH (2024): *KSH MONITOR – Árak*. Forrás: <https://www.ksh.hu/heti-monitor/arak.html>. (2024.11.11.) (A kapott átlag saját számítás)

¹⁵⁹ Exchange-Rates (2024): *US Dollar (USD) To Hungarian Forint (HUF) Exchange Rate History for 2023*. Forrás: <https://www.exchange-rates.org/exchange-rate-history/usd-huf-2023>. (2024.11.11.)

¹⁶⁰ U.S. Energy Information Administration (2024): *Weekly California No 2 Diesel Retail Prices*. Forrás: https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=EMD_EPD2D_PTE_SCA_DPG&f=W (2024.11.11.)

határoztam meg vizsgálatom területeként, viszont éppen a hidrogén előállítása az egyik leginkább földgázra utalt tevékenység az iparban. Szerencsére a megújuló villamosenergiával, elektrolízis útján előállított hidrogén tökéletes helyettesítője lehet a jelenlegi, földgázreformálással előállított hidrogénnek.

Ennek a technikának elsősorban az időjárásfüggő, megújuló villamosenergia-termelési kapacitások feleslegének „lefölözésében” és olcsó hazai, illetve import villamosenergia mellett lehet jelenleg valódi haszna. A „lefölözés” mellett szól, hogy Magyarországon már évek óta egyre növekvő számú úgynevezett „negatív óra” van a villany piacán¹⁶¹, sőt idén rekordszámú, 16 egymást követő órában is előfordult a negatív ár.¹⁶² Ez a kifejezés olyan időszakokat jelöl, amikor a rendszerben túltermelés van és gyakorlatilag értékesíthetetlené válik a megtermelt áram. Ilyenre elsősorban akkor akad példa, amikor az időjárásra érzékeny megújuló források termelése megugrik (például erősen szeles időben, vagy felhőtlen nyári napokon). Amellett, hogy ez egy szörnyű, pazarló jelenség, káros is a rendszer stabilitására és állapotára nézve. 2024 októberében a Nemzeti Energia- és Klímatervben rögzített, 2030-ra elérendő célok közül többet is részben éppen azért módosított a Kormány, mert talán már „túl jól is sikerült” a napelemek létesítésének ösztönzése. A módosított célok között (egyebek mellett) szerepel az üvegházhatású gázok kibocsátásának 40% helyett 50%-kal való csökkentése és a megújulók részarányának 21%-ról 30%-ra való emelése.^{163 164}

Érdemes tehát mérlegelni, hogy hogyan tudjuk majd hatékonyan felhasználni a szezonálisan megtermelt villamosenergiát. Mindenképpen szüksége lesz az országnak valamilyen formájára az energiatárolásnak, viszont földrajzi adottságainál fogva Magyarország kevésbé alkalmas a tradicionális energiatárolási módszereket alkalmazni (például a szivattyústározókat), emiatt muszáj más lehetőségeket is megvizsgálnunk. A hidrogéntárolás szempontjából éppen földrajzi adottságainknak köszönhetően lehetnénk némi előnyben. Ennek oka, hogy kutatások már foglalkoznak a hazánkban sok helyütt megtalálható földalatti geológiai formációkban történő hidrogéntárolás lehetőségeivel.¹⁶⁵ Ez a technológia viszont még

¹⁶¹ B. HORVÁTH Lilla (2024): *A háború okozta sokk után most más baj van a magyar árampiacon*. Forrás: <https://www.vg.hu/energia-vgplus/2024/06/nagy-baj-van-a-magyar-aramarakkal>. (2024.11.11.)

¹⁶² WEINHARDT Attila (2024): *Elképesztő: 16 órán keresztül volt nulla, vagy negatív az áramár Magyarországon*. Forrás: <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20241014/elkepesztto-16-oran-keresztul-volt-nulla-vagy-negativ-az-aramar-magyarorszagon-716473>. (2024.11.11.)

¹⁶³ Portfolio (2024): *Megemelte vállalásait Magyarország a végleges Nemzeti Energia- és Klímatervben*. Forrás: <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20241017/megemelte-vallalasait-magyarorszag-a-vegleges-nemzeti-energia-es-klimatervben-717241>. (2024.11.11.)

¹⁶⁴ Nemzeti Energia- és Klímaterv 2024. évi aktualizált változat

¹⁶⁵ Magyar Földgáztároló Zrt. (2021): *Hidrogén alapú projektek*. Forrás: mfgt.hu/Hidrogen/Hidrogen-alapu-projektek/HYUSPRE. (2024.11.11.)

gyerekcipőben jár.¹⁶⁶ A jelenleg meglévő felszíni földgáztárolók is alkalmasak lehetnek a hidrogén tárolására, viszont a hidrogén sajátos tulajdonságai miatt átalakításokra is szükség lehet, amennyiben nagy mennyiséget szeretnénk tárolni. Az ilyen átalakítások költsége nagyban függ a meglévő tárolók állapotától, anyagminőségétől.

A hidrogén segítségével a villamosenergiát kémiai energiává tudjuk alakítani, ami szemben a villamosenergiával, nagy mennyiségben és sokáig eltartható, ráadásul a hidrogént nem csak energetikai célokra lehet felhasználni, azaz önmagában, áruként is forgalomképes. Ez egy olyan előnye a hidrogénnek, amit semelyik más formája az energiatárolásnak nem tudhat magáénak. Az energetikai célú földgázhasználat mellett képes az ipari célú földgázfogyasztást is csökkenteni az, ha hidrogén formájában tároljuk el a felesleges villanyáramot.

3.5. Részösszefoglalás

A zöld energiatermelés minden formájának a megtermelt energia eltárolása jelenti a legnagyobb kihívást. Azok az országok melyek arra az elhatározásra jutnak, hogy az energiaigényük egyre nagyobb részét szeretnék fedezni zöld forrásokból mindenképpen szembe kell nézzenek ezzel a problémával. Az energiatárolás – és kifejezetten ipari léptékekben – viszont éppen az a szegmense az energetikának, mely a legkevésbé mondható fejlettnak. A sok megoldáskísérlet közül pillanatnyilag az egyik legígéretesebbnek a hidrogén segítségével történő „power-to-gas” elven megvalósuló kémiai energiatárolás látszik.

A hidrogén energiasűrűsége magas, több hónapon át eltartható, és ahogy az az imént ismertetett példákban is látható, igen sokoldalúan felhasználható nem csak az energetika, de az ipar számos területén is. Magyarországon a három legenergiaintenzívebb tevékenységi kör (a korábban ismertetett közúti közlekedés, ipari fogyasztás és lakossági fűtés) mindegyikének energiafogyasztását képes lehet legalább részben ellátni, ezáltal a magyar nemzetgazdaság energiaár változásokkal szembeni ellenállóképességét fokozni és az ország ÜHG kibocsátását csökkenteni.

A hidrogénfelhasználás általam bemutatott különböző lehetőségei közül mindegyiknek lehetne megfelelő helyet találni a magyarországi energiellátásban, viszont a jelenlegi kormányzati stratégia alapján kifejezetten a hidrogén földgázhálózatba való bekeverését, az üzemanyagcellák lehetségszerű alkalmazását és a hidrogén energiatárolási funkciót

¹⁶⁶ VADÁSZI Marianna –TOMKÓÉ NYÍRI Katalin (2023): A felszín alatti hidrogéntárolás kihívásai az időszakos megújuló villamosenergia termelés egyensúlyozásában. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, XVIII. évfolyam, különszám. 537-547.

mérlegelték a döntéshozók. Véleményem szerint a megújuló üzemanyagokban rejlő lehetőséget nem szabadna mellőznünk, sőt, megjelenésüket és elterjedésüket legalább annyira (ha nem jobban) kellene támogatnunk, mint az üzemanyagcellákét. A megújuló üzemanyagok piaca a jövőben várhatóan növekedni fog – mindenekelőtt Európában, az EU-s klímacélok megtartása érdekében – és az ebben a szektorban aktív vállalatok számára busás haszonnal kecsegtet.

Bár pillanatnyilag ezeknek a technológiáknak az alkalmazása sokkal inkább hiányt termel, semmint hasznot, érdemes elgondolkodnunk azon, hogy **minden Hazánk biztonságaért tett lépés – így az energiabiztonság fokozásáért tett lépések is – befektetés a szuverén Magyarország jövőjébe.**

Mindemellett, a hidrogéntechológiák kutatásában és alkalmazásában rejlő gazdasági és társadalmi hasznok kiaknázása hosszú távon hozzájárulhat Hazánk jövedelmi helyzetének javításához, nemzetközi presztízsének emeléséhez és a hazai tudományos élet felpezsdítéséhez.

Záró gondolatok, összegzés

A huszadik század során az addig uralkodó energiaforrás, a szén helyére megérkezett a kőolaj és a feje tetejére állította a világot. Az olaj energiája révén új fegyverek, eszközök, sőt egészen új életstílusok is megjelentek a fejlett világban. Az új energiahordozó viszont közel sem volt olyan széleskörben hozzáférhető, mint a szén és emiatt hamarosan elindult a versenyfutás a kitermelhető készletekért. Az energiafölény igazi erejét az első, majd a második világháborúban ismerhette meg a világ: az új harci gépek sebessége, rugalmassága és pusztítóerejének köszönhetően. Az idő és a tér összezsugorodtak, és az emberiség a rendelkezésére álló végtelennek tűnő energiával a kezében példátlan jóléti növekedésnek örvendhetett. A jólét azonban nem tarthatott örökké: az ember megtanulta a gazdasági befolyását is fegyverként forgatni és az energiafegyver a legerősebb gazdasági fegyverré alakult. Az évszázad második felének már meghatározó, közbeszéd tárgyát is képező elemévé vált az energiabiztonság.

Sajnos ez a fegyver a jelenkor Magyarországa ellenében még pusztítóbb az előnytelen földrajzi adottságai miatt. Mégis, Hazánknak vajmi kevés eszköze van az önvédelemre ezen a téren. Az általunk felhasznált energia elsöprő többsége külföldről származik, az ország GDP arányos energiafogyasztása nem mondható kiemelkedően jónak, az önálló energiatermelésünk pedig alacsony. Az energiaellátásunk rezilienciájának növelése érdekében szükség van új válaszokra.

A dolgozat céljának megfelelően, úgy gondolom sikerült bemutatnom, hogy Magyarország energiabiztonsága védelmében a hidrogénnek adódhatna szerep a megfelelő szakpolitikai döntések kíséretében. Ennek megfelelően, több külföldi példa is adódik arra vonatkozólag, hogy az energiaellátás széles spektrumában van helye a hidrogénnek. Kifejezetten a földgázba való bekeverést szeretném kiemelni, mint a legtöbb lehetőséget tartogató energetikai alkalmazása a hidrogénnek, ugyanis a szakértői értékelések szerint már azonnal el lehetne kezdeni alacsony, 2%-os térfogatarány mellett. Ezt a jövőben fejlesztések útján tovább lehet növelni, ezáltal a földgázszükségletet pedig csökkenteni. A másik legígéretesebb módszernek az egyszerűen a rendszerben feleslegesen rendelkezésre álló villany elektrolízis útján történő átalakítását hidrogénné látom. Ezzel elkerülhető lenne a negatív órák jelensége, továbbá a gazdaság több területén is hasznosítható anyagot lehetne létrehozni így.

A hidrogén üzemanyagcellák alkalmazását nem gondolom energiabiztonsági szempontból helyesnek, ugyanis ezek jelenleg erősen dependensek a katalizátorban használt platinán, ami széleskörű kereskedelmi alkalmazásukat nagyon megdrágítja, ráadásul a szükséges töltőhálózat és infrastruktúra is hiányos, ami tovább drágítja a használatukat. Az alternatív forrásból származó üzemanyagok költségességüknél fogva pillanatnyilag nem gondolom, hogy képesek lehetnek az ország energiabiztonságát érdemben elősegíteni, viszont olyan pilot-projektek elindítása, melyek ezeknek az üzemanyagoknak a legújabb generációjának előállításával és fejlesztésével foglalkoznak mindenképp helyes döntés volna, kifejezetten a Magyar Honvédséggel partnerségben.

A jövőre vonatkozólag úgy gondolom, kifejezetten az alternatív üzemanyagok gyártása területén van szerepe a hidrogénfelhasználás biztonságpolitikai jellegű vizsgálatának, elsősorban mintegy biztonsági gyártókapacitásként szolgálva háború esetén. A gazdasági biztonságot szem előtt tartva mindenképp a hidrogénalapú energiatárolás és a földgázszükségletek kielégítését célzó bekeverés azok az irányok, melyek további kutatása célszerű.

Daniel Yergin 2006-ban a Spiegel-nek adott interjújában beszélgetőpartnere azon kérdésére, hogy az olaj- és gázellátás inkább diplomáciai, vagy üzleti kérdés-e így nyilatkozott:

„Az egyre növekvő interdependencia világában az energiaellátás biztonsága nagymértékben attól függ majd, hogyan kezelik az országok egymással való kapcsolataikat. Ezért lesz az energiaellátás biztonsága az elkövetkező években a külpolitika egyik fő kihívása. Az olaj és a

gáz mindig is politikai árucikkek voltak. Most azonban politikai szempontból még jelentősebbek, mint az elmúlt években bármikor”¹⁶⁷

2006 óta ennek a megállapításnak az igazságtartalma aligha csökkent, illetve – ha szabad így fogalmaznom – *politikai szempontból még jelentősebbek, mint az elmúlt években bármikor*. Magyarország, energiaszegény országgént, ennek a politikai szempontnak nem formálója, hanem elszenvedője, amin, ha változtatni szeretnénk, mindenképpen nyitottnak kell lennünk az új technológiák által kínált lehetőségekre.

¹⁶⁷ Daniel YERGIN (2006): *"Energy Security Will Be one of the Main Challenges of Foreign Policy"*. Forrás: <https://www.spiegel.de/international/spiegel/the-war-over-resources-energy-security-will-be-one-of-the-main-challenges-of-foreign-policy-a-427350.html>. (2024.11.15.)

Felhasznált Források

- Az Európai Bizottság 2020. július 8.-i COM/2020/301 final közleménye AZ EURÓPAI PARLAMENTNEK, A TANÁCSNAK, AZ EURÓPAI GAZDASÁGI ÉS SZOCIÁLIS BIZOTTSÁGNAK ÉS A RÉGIÓK BIZOTTSÁGÁNAK Hidrogénstratégia a klímasemleges Európáért
- Daniel YERGIN (1991): *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*. New York, Simon & Schuster. Ónodi-Szabó Lenke fordításában, Antall József Tudásközpont (2018)
- KERNER Zsolt (2024): *Szijjártó: A paksi bővítés teljes mentességet kapott a szankciós intézkedések alól*. Forrás: <https://24.hu/fn/gazdasag/2024/06/24/paksi-bovites-szankciok-europai-unio-teljes-mentesseg-magyarorszag/> (2024.11.10.)
- Európai Tanács – Az Európai Unió Tanácsa (2024): *Időrendi áttekintés – Uniós szankciók Oroszországgal szemben*. Forrás: <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/sanctions-against-russia/timeline-sanctions-against-russia/>. (2024. 11. 10.)
- KECSŐ Richárd (2024): *Szijjártó Péter: Magyarország továbbra is a Lukoiltól kapja a kőolajat*. Forrás: <https://index.hu/kulfold/2024/07/22/szijjarto-peter-kulugyminiszter-sajtotajekoztato-koolaj-lukoil-ukrajna-brusszel-europai-unio-eu/> (2024.11.10.)
- VÖRÖS Zoltán – TARRÓSY István (2024): *Az átalakuló világrend és a pólusok elmélete*. In KILIÁN Zsolt szerk.: *Átalakuló világrend Az unipoláris pillanat vége?* Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó.
- U.S. Energy Information Administration (EIA) (2024): *The United States remained the largest liquefied natural gas supplier to Europe in 2023*. Forrás: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=61483> (2024.11.10.)
- FORGÁCS Balázs (2017): *Hadelmélet. A magyar katonai gondolkodás története és a hadikultúrák*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó. 36-46.
- Anthony N. STRANGES (1984): Friedrich Bergius and the Rise of the German Synthetic Fuel Industry. *Isis*, 75. évfolyam, 4. szám. 643-667.
- Európai Bizottság Kereskedelmi Főigazgatóság (2024): *European Union, Trade in goods with India*. Forrás: https://webgate.ec.europa.eu/isdb_results/factsheets/country/details_india_en.pdf (2024.11.10.)
- International Energy Agency (IEA) (2024): *World energy mix*. Forrás: <https://www.iea.org/world/energy-mix> (2024.11.01.)

- Magyar Szénhidrogén Készletező Szövetség (2024): *Az energiahordozók tárolásáról*. Forrás: <https://www.husa.hu/biztonsagi-keszletek/> (2024.11.10.)
- 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról.
- Anwar SADAT (1978): *In Search of Identity: An Autobiography*. New York, Harper & Row.
- SZABÓ Gergely (2016): *A magyar államadósság keletkezése (1973—1989)*. Forrás: http://www.penzriport.hu/letoltes/Magyar_allamadossag_keletkezese_1973_1989.pdf (2024.11.10.)
- KÓSA László (2005): *A közúti közlekedési blokádok kialakulásának körülményei, rendvédelmi tapasztalatai és kezelésének lehetőségei, különös tekintettel a "taxisblokádra"*. Disszertáció, Budapest.
- DEÁK András – SZABÓ John, WEINER Csaba (2023): „Baráti tűz” Közép- és Kelet-Európára – Hogyan működik az orosz gázfegyver a nyugati szövetségi rendszer periferiáin? *Nemzet és Biztonság*, 2023/4. szám. 84-107.
- DEÁK András György (2022): Gazdasági nyomásgyakorlás a nemzetközi politikában – Néhány gyakorlatias szempont a gazdasági szankciók értékeléséhez. *Nemzet és Biztonság*, 2022/1. szám. 86-115.
- Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (2024): *Magyarország ásványvagyona 2023*. Forrás: https://sztfh.hu/downloads/banyaszat/nyilvantartasok/asvanyvagyon-nyilvantartas/magyarorszag_asvanyvagyona_2023.pdf (2024.11.10.)
- World Nuclear Association (2024): *Nuclear Power in Hungary*. Forrás: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/hungary> (2024.11.10.)
- Központi Statisztikai Hivatal (KSH) (2024): 6.1.1.4. *Energiahordozók behozatala hőértékben*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0004.html (2024.11.10.)
- KSH (2024): 6.1.1.5. *A primer energiafelhasználás szerkezete [%]*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0005.html (2024.11.10.)
- KSH (2024): 6.1.1.2. *Primer energiamérleg*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0002.html (2024.11.10.)
- World Nuclear Association (2024): *Heat Values of Various Fuels*. Forrás: <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels> (2024.11.10.)
- Magyar Természetvédők Szövetsége (2014): *Palagáz: A nem hagyományos fosszilis gáz dilemmája*. Forrás: <https://mtvsz.hu/palagaz> (2024.11.10.)

- Eurostat (2024): *Energy Dashboard – Energy intensity*. Forrás: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy_dashboard/endash.html?geo=HU&year=2022&language=EN&detail=1&nrg_bal=&unit=MTOE&chart=chart_four&modal=0 (2024.11.10.)
- KSH (2024): 6.1.1.9. *Bruttó villamosenergia-termelés [gigawattóra]*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0009.html (2024.11.10.)
- KSH (2024): 6.1.1.8. *Villamosenergia-mérleg [gigawattóra]*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0008.html (2024.11.10.)
- Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító (2024): *Áttekintő ábra a magyarországi villamosenergia-rendszerről*. Forrás: <https://mavir.hu/web/mavir/home> (2024.11.10.)
- GORDOS Péter (2004): *Villamos energia határkeresztező kereskedelme az európai unió belső villamosenergia-piacán. Főbb akadályok, továbblépési lehetőségek*. Disszertáció, Budapest.
- 650/2023. (XII. 28.) Korm. Rendelet a szélerőművek engedélyezésével összefüggő egyes kormányrendeletek módosításáról
- Nemzeti Energiastratégia 2030 Forrás: <https://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf> (2024.11.10.)
- Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig Forrás: <https://www.banyasz.hu/images/klimapolitika/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030.pdf> (2024.11.10.)
- KSH (2024): 6.1.1.6. *Végső energiafelhasználás [petajoule]*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0006.html (2024.11.10.)
- KSH (2024): 6.1.1.7. *A háztartások végső energiafelhasználása felhasználási célok szerint [petajoule]*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0007.html (2024.11.10.)
- KSH (2024): 24.1.1.25. *A személygépkocsi-állomány gyártmány és üzemanyag-felhasználás szerint*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0025.html (2024.11.10.)
- IEA (2024): *Trends in the electric vehicle industry* Forrás: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-the-electric-vehicle-industry> (2024.11.10.)

- Európai Tanács – Az Európai Unió Tanácsa (2024): *Irány az 55%! Forrás: <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/green-deal/fit-for-55/#0> (2024.11.10.)*
- AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2023/851 RENDELETE az (EU) 2019/631 rendeletnek az új személygépkocsikra és az új könnyű haszongépjárművekre vonatkozó szén-dioxid-kibocsátási előírásoknak az Unió fokozott éghajlatvédelmi törekvéseivel összhangban való megerősítése tekintetében történő módosításáról Forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32023R0851> (2024.11.10.)
- Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal (2023): *a magyar távhőszektor 2022. Évi adatai.* Forrás: https://tavho.org/uploads/statisztika/MEKH_statisztikai_kiadvany_tavho_2023_A4_web.pdf (2024.11.10.).
- KSH (2024): *14.1.2.8. A háztartások és lakások megoszlása, a lakások mennyiségi és minőségi mutatói régió és településtípus szerint.* Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/jov/hu/jov0048.html (2024.11.10.)
- Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája 2021. Forrás: <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/6/61/61a/61aa5f835ccf3e726fb5795f766f3768f7f829c1.pdf> (2024.11.10.)
- MOLGROUP (2024): *A MOL átadta a régió legnagyobb kapacitású zöld hidrogén üzemét.* Forrás: <https://molgroup.info/hu/media-kozpont/sajtokozlomenyek/a-mol-atadta-a-regio-legnagyobb-kapacitasu-zold-hidrogen-uzemet> (2024.11.10.)
- Index (2024): *Áadták Magyarország első zöldhidrogén üzemét.* Forrás: <https://index.hu/belfold/2024/06/03/zoldhidrogen-uzem-bukkabranyi-energiapark-napelem-megujulo-energia/?token=def71b2e4993a0134c86f22aa489bfde> (2024.11.10.)
- Dr. VARGA Vilmos (2022): Hidrogén alkalmazása erőgépek hajtására. *Gépmax*, 2022/VI.
- U.S. Department of Energy (2015): *Fuel Cells Fact Sheet.* Forrás: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/articles/fuel-cells-fact-sheet>. (2024.11.10.)
- Tongzhou WANG - Xuejie CAO, Lifang JIAO (2022): PEM water electrolysis for hydrogen production: fundamentals, advances, and prospects. *Carbon Neutrality*, Volume 1, article number 21.
- Yun WANG et al. (2022): PEM Fuel cell and electrolysis cell technologies and hydrogen infrastructure development – a review. *Energy & Environmental Science*, 2022/6.szám.
- HyDeploy (2024): *Project Phases.* Forrás: <https://hydeploy.co.uk/project-phases/>. (2024.11.10.)

- HyDeploy (2020): *HyDeploy2 Project*. Forrás: <https://hydeploy.co.uk/app/uploads/2022/06/HYDEPLOY2-SECOND-OFGEM-PPR.pdf> (2024.11.10.)
- HyDeploy (2021): *Project Close Down Report*. Forrás: https://hydeploy.co.uk/app/uploads/2022/06/HyDeploy-Close-Down-Report_Final.pdf (2024.11.10.) 24.
- Department for Energy Security and Net Zero (2023): *Hydrogen blending in GB distribution networks: strategic decision*. Forrás: <https://www.gov.uk/government/publications/hydrogen-blending-in-gb-distribution-networks-strategic-decision> (2024.11.10.)
- Magyar Földgáztároló Zrt. (2021): *Hidrogén alapú projektek*. Forrás: <https://mfgt.hu/Hidrogen/Hidrogen-alapu-projektek/AKVAMARIN> (2024.11.11.)
- VADÁSZI Marianna –TOMKÓÉ NYÍRI Katalin (2023): Kérdések a hidrogén földgáz infrastruktúrába történő bekeveréséről. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, (2023) XVIII. évfolyam, Különszám. 549-558
- KOUL Rashi – Naveen KUMAR, R.C SINGH. (2019): A review on the production and physicochemical properties of renewable diesel and its comparison with biodiesel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43. évfolyam, 18. szám. 2235 – 2255.
- U.S. Department of Energy (2024): *Biofuel Basics*. Forrás: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/biofuel-basics> (2024.11.11.)
- U.S. Department of Energy (2024): *Renewable Gasoline*. Forrás: <https://afdc.energy.gov/fuels/emerging-hydrocarbon> (2024.11.11.)
- U.S. Department of Energy (2024): *Renewable Diesel*. Forrás: <https://afdc.energy.gov/fuels/renewable-diesel> (2024.11.11.)
- Susan VAN DYK et al. (2019): *'DROP-IN' BIOFUELS: The key role that co-processing will play in its production*. IEA Bioenergy Task 39.
- California Air Resources Board (2024): *Low Carbon Fuel Standard Fuel Prices*. Forrás: [LCFS_Fuel_FAQ.pdf](#). (2024.11.11.)
- U.S. Department of Energy (2024): *Electric Vehicle Registration by State*. Forrás: <https://afdc.energy.gov/data/10962>. (2024.11.11.)
- U.S. Department of Energy (2024): *CLEAN CITIES and COMMUNITIES Alternative Fuel Price Report*. Forrás:

https://afdc.energy.gov/files/u/publication/alternative_fuel_price_report_july_2024.pdf.
(2024.11.11.) 20.

- IEA (2024): *Renewables 2023 Analysis and forecast to 2028*. Forrás: https://iea.blob.core.windows.net/assets/96d66a8b-d502-476b-ba94-54ffda84cf72/Renewables_2023.pdf (2024.11.11.) 95.o
- MOLGROUP (2021): *Megkezdődött a bioüzemanyagok előállítása a Dunai Finomítóban*. Forrás: <https://molgroup.info/hu/media-kozpont/sajtokozlomenyek/megkezdodott-a-biouzemanyagok-elallitasa-a-dunai-finomitoban> (2024.11.11.)
- Rossi Biofuel (2024): *Biodízel*. Forrás: <https://www.rossibiofuel.hu/hu/termek/biodizel>. (2024.11.11.)
- U.S. Energy Information Administration (2024): *Diesel fuel explained Diesel prices and outlook*. Forrás: <https://www.eia.gov/energyexplained/diesel-fuel/prices-and-outlook.php>. (2024.11.11.)
- KSH (2024): *KSH MONITOR – Árak*. Forrás: <https://www.ksh.hu/heti-monitor/arak.html>. (2024.11.11.)
- Exchange-Rates (2024): *US Dollar (USD) To Hungarian Forint (HUF) Exchange Rate History for 2023*. Forrás: <https://www.exchange-rates.org/exchange-rate-history/usd-huf-2023>. (2024.11.11.)
- U.S. Energy Information Administration (2024): *Weekly California No 2 Diesel Retail Prices*. Forrás: https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=EMD_EPD2D_PTE_SC_A_DPG&f=W (2024.11.11.)
- B. HORVÁTH Lilla (2024): *A háború okozta sokk után most más baj van a magyar árampiacon*. Forrás: <https://www.vg.hu/energia-vgplus/2024/06/nagy-baj-van-a-magyar-aramarakkal>. (2024.11.11.)
- WEINHARDT Attila (2024): *Elképesztő: 16 órán keresztül volt nulla, vagy negatív az áramár Magyarországon*. Forrás: <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20241014/elkepeszto-16-oran-keresztul-volt-nulla-vagy-negativ-az-aramar-magyarorszagon-716473>. (2024.11.11.)
- Portfolio (2024): *Megemelte vállalásait Magyarország a végleges Nemzeti Energia- és Klímatervben*. Forrás: <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20241017/megemelte-vallalasai-magyarorszag-a-vegleges-nemzeti-energia-es-klimatervben-717241>. (2024.11.11.)

- Magyar Földgáztároló Zrt. (2021): *Hidrogén alapú projektek*. Forrás: mfgt.hu/Hidrogen/Hidrogen-alapu-projektek/HYUSPRE. (2024.11.11.)
- Daniel YERGIN (2006): *"Energy Security Will Be one of the Main Challenges of Foreign Policy"*. Forrás: <https://www.spiegel.de/international/spiegel/the-war-over-resources-energy-security-will-be-one-of-the-main-challenges-of-foreign-policy-a-427350.html>. (2024.11.15.)

Mellékletek

1. sz. melléklet: 5. ábra: *A Brent típusú kőolaj világpiaci árának alakulása (USD)*
2. sz. melléklet: 6. ábra: *Az Ural típusú kőolaj világpiaci árának alakulása (USD)*
3. sz. melléklet: 7. ábra: *Az európai gáztőzsdén jegyzett gázár alakulása (EUR)*
4. sz. melléklet: 8. ábra: *Az uránium világpiaci árának alakulása (USD)*
5. sz. melléklet: 9. ábra: *A magyarországi fogyasztóiár-index alakulása az elmúlt években (%)*
6. sz. melléklet: 10. ábra: *Az euró-forint árfolyam alakulása 2019.01.01.-2024.11.10. között*
7. sz. melléklet: 1. sz. térkép: *Magyarország és a környező országok földgázvezeték-hálózata*
8. sz. melléklet: 2. sz. térkép: *Magyarország olajvezeték-hálózata*

1. sz. melléklet



5. ábra: A Brent típusú kőolaj világpiaci árának alakulása (USD)

Forrás: Trading Economics, elérhető: <https://tradingeconomics.com/commodity/brent-crude-oil> (2024.11.11.)

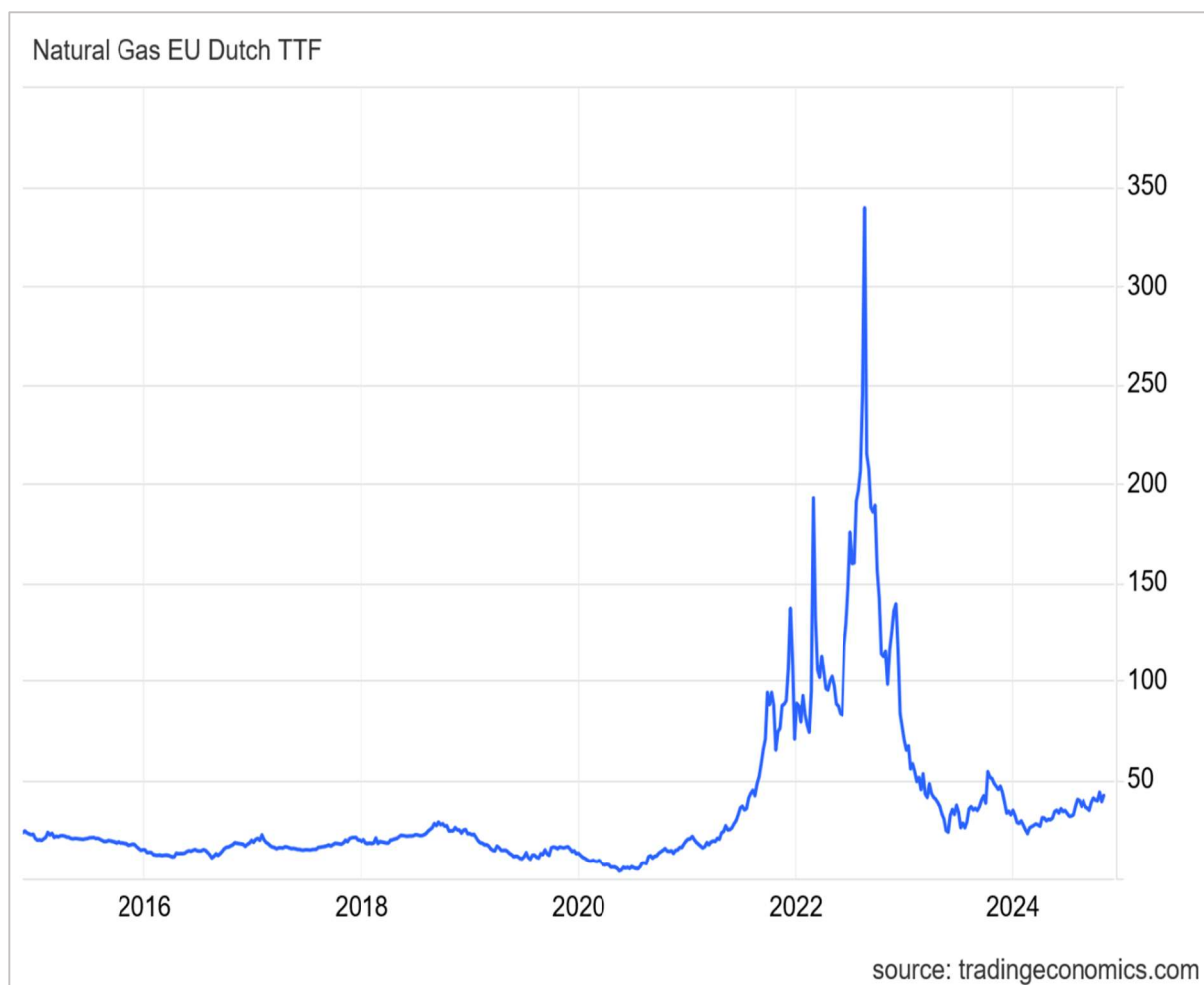
2. sz. melléklet



6. ábra: Az Ural típusú kőolaj világpiaci árának alakulása (USD)

Forrás: Trading Economics, elérhető: <https://tradingeconomics.com/commodity/urals-oil>. (2024.11.11.)

3. sz. melléklet



7. ábra: Az európai gáztőzsdén jegyzett gázár alakulása (EUR)

Forrás: Trading Economics, elérhető: <https://tradingeconomics.com/commodity/eu-natural-gas>. (2024.11.11.)

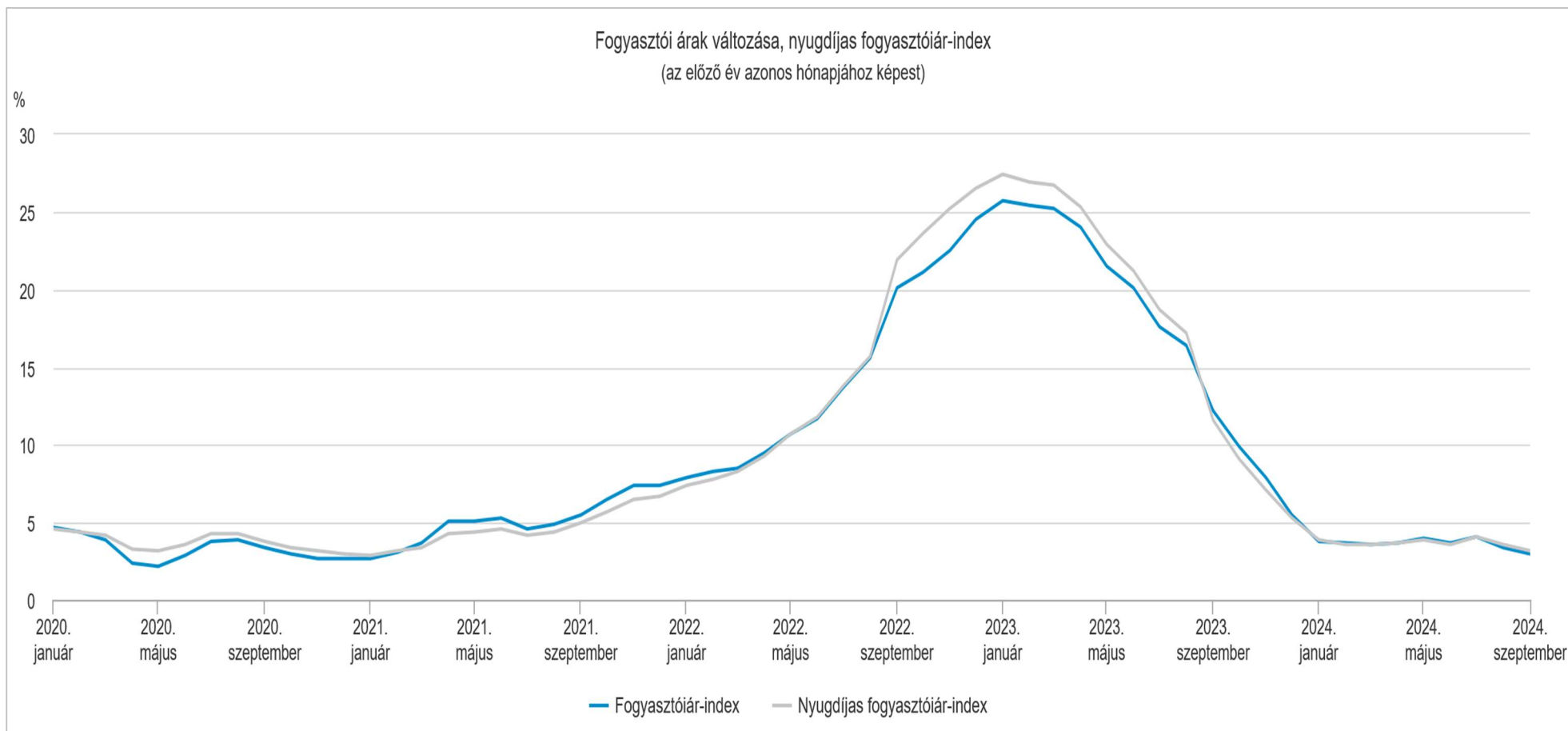
4. sz. melléklet



8. ábra: Az uránium világpiaci árának alakulása (USD)

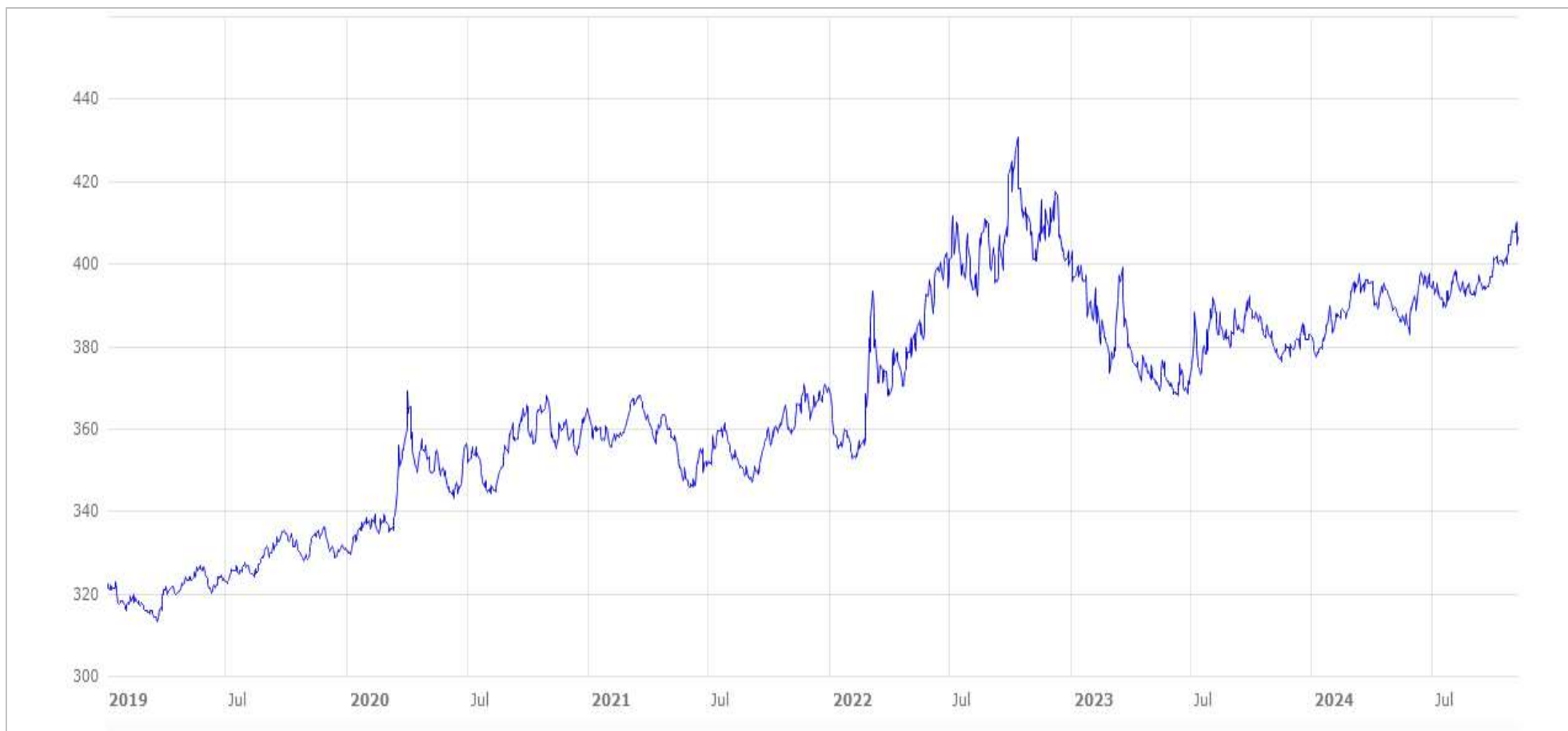
Forrás: Trading Economics, elérhető: <https://tradingeconomics.com/commodity/uranium>. (2024.11.11.)

5. sz. melléklet



9. ábra: A magyarországi fogyasztóiár-index alakulása az elmúlt években (%)
Forrás: Központi Statisztikai Hivatal, elérhető: <https://www.ksh.hu/ksh-monitor/arak.html> (2024.11.11.)

6. sz. melléklet



10. ábra: Az euró-forint árfolyam alakulása 2019.01.01.-2024.11.10. között.

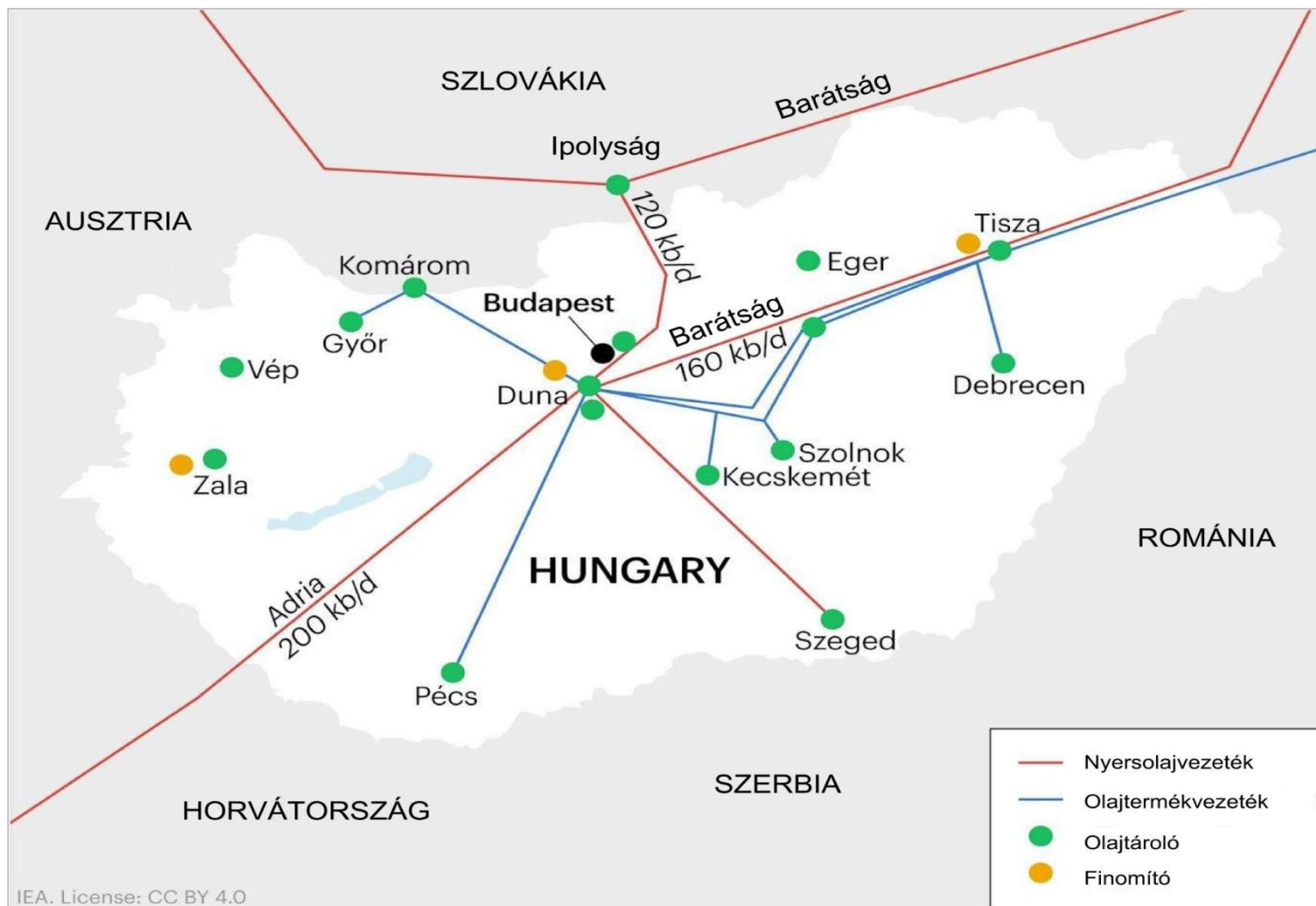
Forrás: Európai Központi Bank, elérhető: https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-huf.en.html (2024.11.11.)

7. sz. melléklet



1. Térkép: Magyarország és a környező országok földgázvezeték-hálózata.
Forrás: Entsog, elérhető: <https://transparency.entsog.eu/#/map>. (2024.11.15.)

8. sz. melléklet



2. Térkép: Magyarország olajvezeték-hálózata.

Forrás: IEA, elérhető: <https://www.iea.org/articles/hungary-oil-security-policy>. Saját fordítás. (2024.11.15.)