

Mennyi? Mi mennyi?

A Professzorok Batthyány Köre energia-munkacsoportjának tanulmánya

Szarka László Csaba, Csernai László, Bérczi István, Bársony István,
Greschik Gyula, Biró Tamás, Kádár György,
Mezey Pál, Szabó Csaba Attila

2023. január 14.

Frissítve: 2023. február 21.

Mennyi? Mi mennyi?

A PBK energia-munkacsoport tanulmányának összefoglalója

Ahhoz, hogy a jövőbeni energiaellátás kérdéseivel érdemben foglalkozni lehessen, mindenekelőtt tisztázatlan definícióktól, valamint a fizikai valóságtól messze elrugaszkodó narratíváktól kell megszabadulni. Látva a drámai európai energiaügyi fejleményeket, és átérezve a hazai energiapolitikáért viselt közös felelősségünket, a Professzorok Batthyány Köre 2022 nyarán létrejött energia-munkacsoportjának tagjai szükségesnek érzik a felmerült alapkérdések összefoglalását.

Civilizációnk alapja az energia. Energiahordozóink természeti energiák átalakításából származnak. Az emberiség, amelynek összömege a teljes földi biomassa mindössze 0,01 százaléka, a természeti energiaáramlás csupán néhány tizedszázalékát használja. A természetből felhasznált energia 1800-tól napjainkig globálisan körülbelül annyi (40 ZJ), amennyi a 2004. december 26-ai indonéziai földrengés teljes energiája volt. A Föld-ember viszony alapkérdéseire, így az energiakérdésre adható válaszok nagyban függenek attól, hogy milyen emberi értékrendből indulunk ki. Többek között attól, hogy elismerjük-e: a természet lehet szebb is az ember által. Különösen kritikus a kérdés megválaszolása akkor, amikor a környezetvédelmet és a klímavédelmet oly sokan összemossák.

A klímacélokra hivatkozó dekarbonizáció (2030-ig 55 % CO₂-kibocsátás-csökkentés, 2050-ig „nettó nulla” kibocsátás) a jelenlegi energiahordozó-felhasználás négyötödét kitevő szénalapú energia megvonását jelenti. Miután a szén (carbon) a világegyetem negyedik leggyakoribb eleme és a földi élet alapja, maga a dekarbonizáció kifejezés a következményeket illetően súlyos félreértésekre ad lehetőséget.

Az erőltetett gyors energia-átmenet szükségességét és lehetőségét alátámasztó megvalósíthatósági- és hatástanulmányok nem léteznek. Mi több, a kiváltó „megújuló” energiafajtákként beharangozott szél- és napenergia-előállítás terén szerzett – elsősorban német – tapasztalatok kiábrándítóak. Másfelől, a szélkerekek és napelemek egyetlen generációjának (20–25 év) előállításához és működtetéséhez szükséges fém-, ritkafém- és grafitigény ugyanis sokkal nagyobb, mint az ismert kitermelhető mennyiségek. Nyersanyag- és területszükségletük óriási, amortizációjuk után a tetemes mennyiségű veszélyes hulladék visszaforgatása megoldatlan. Energiamegtérülési mutatójuk (EROI) csekély, szemben az atom-, a víz-, a fosszilis energia magas (~80, ~50, ~20) EROI-jával.

A dekarbonizáció, mint politikai cél erőltetése gazdasági-szociális hanyatlásba visz. Az állítólagos klímavészhelyeztetel való indoklás sántít. A természeti erőforrások és környezeti hatásaik lelkiismeretes mérlegelése egy lassú, folytonos energia-átmenetet sugall egyre hatékonyabb energiaforrások felé, úgy, ahogyan a történelem folyamán ez idáig is történt.

E tanulmányban – a PBK által képviselt erkölcsi-világnézeti alapokon állva – e rendkívül összetett és egymással kölcsönható témakörökhöz igyekszünk közérthető áttekintést adni, segíteni az eligazodásban és az alkalmazkodásban. A fenntartható fejlődés fogalmára is egzakt definíciót ajánlunk.

Ami a közvetlen kihívásokat illeti: az Északi Áramlat elleni terrorakció fenyegetően bizonytalan jövőt vetít elénk. Az energiabiztonság a hazai fosszilis alapú villamosenergia-termelés fokozását kívánja, megfelelő belbiztonsági védelem mellett. A jelenlegi (energia)termelő egységek termelési kapacitásának rövidtávon megvalósítható növelése érdekében javasoljuk a technikai lehetőségek és költségek felmérését; középtávon megvizsgálni a korábban tervezett, de különböző okokból ejtett kőszén- és szénhidrogén-kutatási és -termelési elképzelések reaktiválásának lehetőségét; valamint új, hazai és regionális földtani példák alapján perspektivikus kőszén- és szénhidrogén-előfordulási helyek, földalatti alakulatok mielőbbi megkutatását. Az ún. megújulóknál terén mutatkozó természeti lehetőségeinket is józanul kell mérlegelni. A vízenergia terén egy teljes, politikamentes újragondolás kínálkozik lehetséges legfontosabb célkitűzésként, az egyéb megújuló energiák terén pedig a helyi felhasználás szorgalmazása. Villamosenergia-hálózatra szél- és naperóművi energiát csak a szivattyús energiátározók kapacitása mértékéig indokolt rákötni.

Tartalom

Összefoglaló	2
Tartalom	3
1. A fenntartható fejlődés és az energia	4
1.1. A fenntartható fejlődés	4
1.2. Az energia, mint természeti kincs	4
1.3. Hiány vagy bőség?	8
1.4. Környezeti megfontolások	7
1.5. Merre tovább?	9
2. Tévút	9
2.1. Gyorsított dekarbonizáció	9
2.2. Klímaváltozás: indok vagy ürügy?	10
2.3. Aggodalmunk	12
3. Visszatérés a józan észhez	12
4. Fenntartható fejlődésre ítelve	13
Irodalom	15
Függelékek listája	17
I. függelék: Néhány energetikai fogalom	18
II. függelék: Néhány energiapolitikai javaslat Magyarország számára	22
III. függelék: Mobilitás	24
IV. függelék: Gondolatok a karbonsemlegességről	25
V. függelék: A szénhidrogének kiváltása	26
VI. függelék: Ásványi nyersanyagszükséglet	27
VII. függelék: Michael Kelly: Energia-utópiák és a mérnöki realitás c. előadásának néhány illusztrációja	28

*A kapitány lekiabál a hajógépházba a fűtőnek: „mennyi?”.
„Harminc” - hangzik a válasz.
„Mi harminc?” - kérdi a kapitány.
„Mi mennyi?” - kérdi a fűtő.*

1. A fenntartható fejlődés és az energia

1.1. A fenntartható fejlődés

A fenntartható fejlődés definíciójaként manapság a közvélemény az ENSZ „Fenntartható Fejlesztési Célkitűzéseket” (SDG, 2015-2030, mai nevén: Agenda 2030) tekinti mérvadónak. 17 célmeghatározása: 1. A szegénység felszámolása; 2. Az éhezés megszüntetése; 3. Jó egészség; 4. Minőségi oktatás; 5. Nemek közötti egyenlőség; 6. Tiszta víz és köztisztaság; 7. Megfizethető és tiszta energia; 8. Jó munkalehetőségek és gazdaságok; 9. Innováció és jó infrastruktúra; 10. Egyenlőtlenség csökkentése; 11. Fenntartható városok és közösségek; 12. A források felelősségteljes használata; 13. Az éghajlatváltozás elleni fellépés; 14. Fenntartható óceánok; 15. Fenntartható földhasználat; 16. Béke és igazság; 17. Partnerség a fenntartható fejlődésért [1]. Az SDG láthatóan rendezetlen, elemei tetszőlegesen értelmezhetők.

Léteznek következetesen priorizált rendszerek is. Ilyen a Nobel-díjas Richard Smalley által ajánlott sorrend: I. Energia (és nyersanyagok); II. Édesvíz; III. Termőföld (élelmiszer); IV. Környezet; V. Társadalmi kérdések (szegénység, terrorizmus és háború, betegségek, oktatás, demokrácia, népesség) [2]. Ez utóbbi rámutat arra a könnyen belátható összefüggésre, hogy a fenntartható társadalmi fejlődés, illetve az ún. „fenntartható” társadalom előfeltételei mind természethez kötöttek. Smalley sorrendjében a legfontosabb az energia, ugyanis, ha elegendő energia áll rendelkezésre, ivóvíz is előállítható (tengervízből), aztán energia és víz segítségével megművelhető a föld, majd – immár, energia, édesvíz és élelem együttes birtokában – egészségesebbé tehető az ember környezete. *Látható, hogy az emberi civilizáció létezésének alapja az energia.*

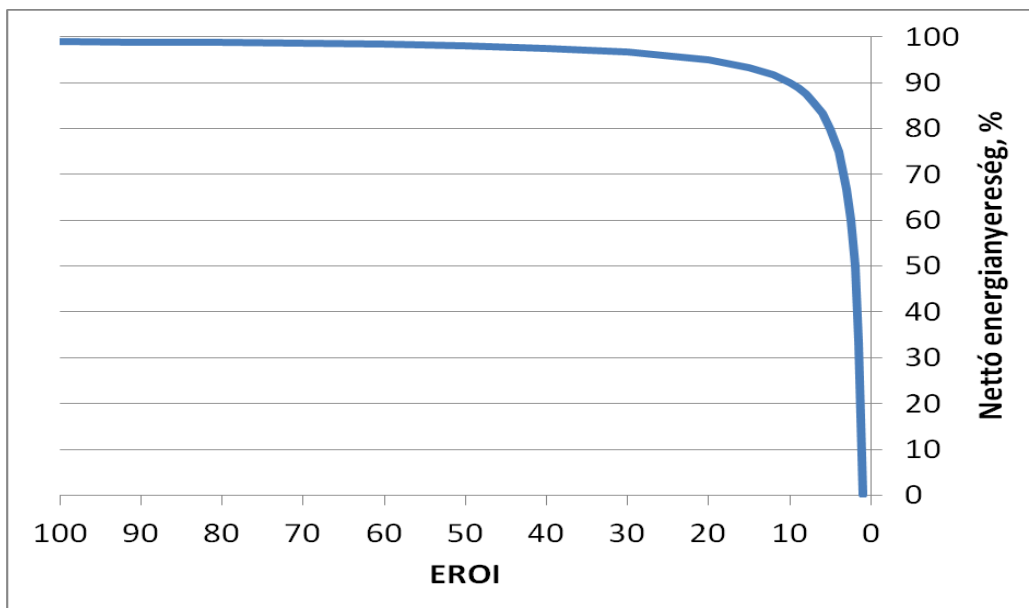
1.2. Az energia, mint természeti kincs

Az „energia” szó az ógörög ἐνέργεια (energeia; „en”: be-; „ergon”: munka) szóból, Arisztotelésztől származik [1]. A fizikai definíció szerint „felhalmozott munkavégző képesség”. A gyakorlatban a munkavégző képességet, a kölcsönható képességet, egy test vagy fizikai mező állapotváltoztató képességét jelenti. (Az eligazodáshoz szükséges legfontosabb alapfogalmakról az I. függelékben olvashatunk.) Lényeges, hogy az energia nem a semmiből, hanem természeti energiák (ún. elsődleges, vagy primer energiák) átalakításából keletkezik.

A természeti energiahordozóhoz való hozzájutás a kincsleléssel egyenértékű. A felfedezett energiahordozót a belőle kinyerhető, az ember szolgálatába állítható energia teszi értékké. Annál értékesebbé, minél nagyobb az ún. energiasűrűsége (egy adott anyagmennyiség minél nagyobb energiamennyiséget tartalmaz) és az ún. teljesítménysűrűsége (az egységnyi területről egységnyi idő alatt kitermelhető energia mennyisége). A felfedezett energia kinyeréséhez kitermelő és energia-átalakító eszközöket kell előállítani, amelyek működtetése maga is energiát igényel. Egy adott mennyiségű energia befektetésével a természetből jellemzően kinyerhető energiát összefoglalóan az EROI (Energy Return Of Investment) mutatóval definiáljuk – a pénzügyi befektetés analógiájára. Az EROI-ból adódó ún. nettó energianyereség – $100 \times (1 - 1/EROI)$ – pedig azt mondja meg, hogy a természetből kinyert energia hány százaléka fordítható az energiakinyerési és -átalakítási rendszer működtetésén túlmenően más (gazdasági, társadalmi, fényűzési stb.) célra [3]. EROI=1 esetén ez 0 (azaz az energiaforrás fenntartásán kívül semmi másra nem jut energia), EROI=2 esetén 50% (azaz a kinyert energia felét már lehet nem energia-

beruházási célra fordítani), EROI=10 esetén már 90%, azaz a kinyert energia 90 százaléka hasznosítható úgy, hogy még előrébb lehet haladni a természeti és társadalmi kérdések logikus sorrendjén. Az 1. ábra az EROI és a nettó energianyereség közötti kapcsolatot tünteti fel. Energiaszirtnek is hívják, ami azt szemlélteti, hogy a gazdaságon belül az energiaszektor csak 10-es EROI értékűnél magasabb energia használata esetén csökkenhet egyszámjegyre. EROI=20 esetén már bőven jut energia olyan igényes társadalmi célkitűzések támogatására is, mint a kultúra és a művészet.

Az EROI számításánál figyelembe veendő az energiatermelés biztonságos kialakítására fordított energiafelhasználás is. Példaként néhány tapasztalati EROI-értéket megadva az egyes energiaforrásokra: szén, kőolaj és földgáz: kb. 20-30, vízenergia: 40-50, atomenergia: kb. 80, fotovoltaikus (PV) napenergia és szélenergia: 6-10. A konkrét értékek inkább felülről, mint alulról behatároltak. A biomassa EROI-ja erősen mennyiségfüggő: az intervallum a háztáji gazdaságra hozzávetőlegesen jellemző 95-től a kontinentális léptékű felhasználás kb. 5-ös értékéig terjed. A lista nem teljes. Létezhetnek olyan ismeretlen vagy már elvileg ismert energiahordozók (mint pl. a fúziós energia), amelyek EROI-ja minden ismert energiahordozóénál magasabb.



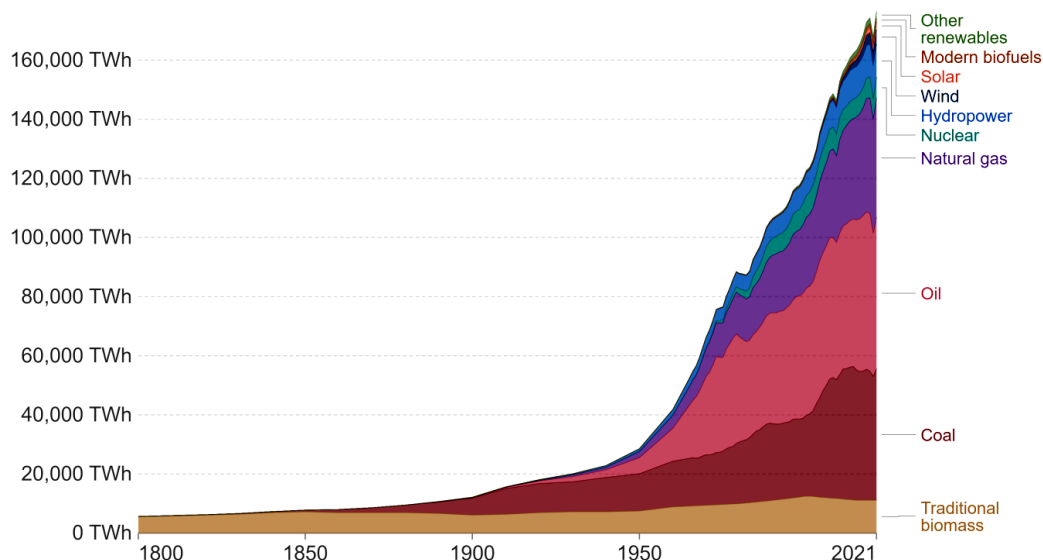
1. ábra: Az EROI és a nettó energianyereség összefüggése.

A primer energiahordozók évenkénti felhasználásának alakulását abszolút értékben a 2. ábra, egymáshoz képesti arányukat pedig a 3. ábra mutatja. Az energiafelhasználás szerkezetében a változások a szén, majd a kőolaj és a földgáz megjelenésének tulajdoníthatók, de ezek térhódítása is viszonylag hosszú – több évtizedes – időtávon ment végbe. A nagy EROI-val jellemzett energiefajtáknak köszönhetően soha nem volt lehetséges ekkora jólét, mint bármikor korábban az emberiség történelme során. Globálisan persze nagy az egyenlőtlenség, de tény, hogy ahol van biztonságos energiaellátás, ott egyre többen emelkednek ki a mélyszegénységből.

Global primary energy consumption by source

Our World in Data

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.



Source: Our World in Data based on Vaclav Smil (2017) and BP Statistical Review of World Energy

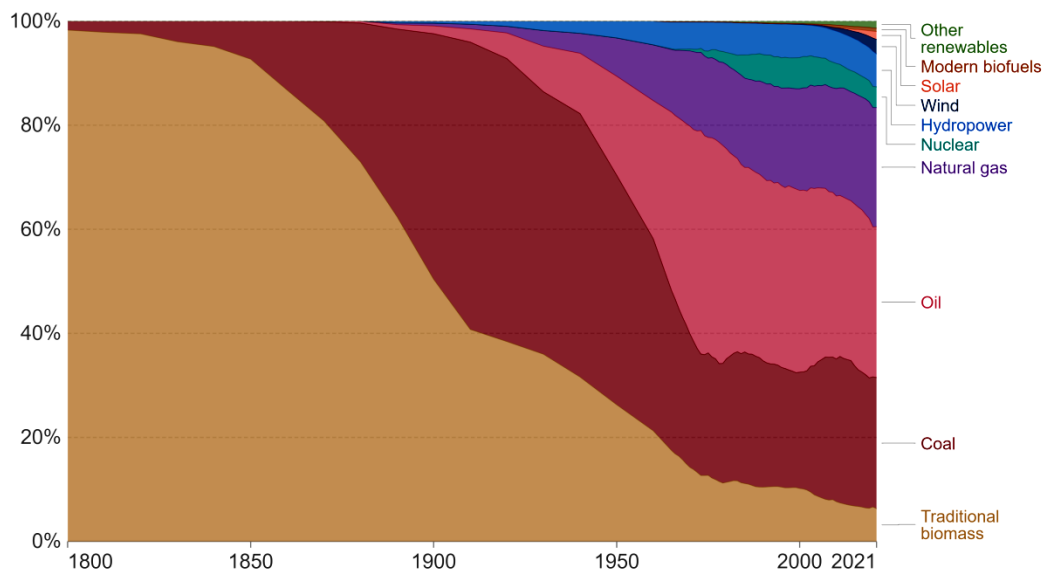
OurWorldInData.org/energy • CC BY

2. ábra: Az elsődleges energiahordozók forrásonkénti megoszlása 1800 és 2021 között [4].
Megjegyzés: a konvencionális energiaforrásokat az összes ábra és adat az ún. helyettesítési módszer alapján veszi figyelembe.

Global primary energy consumption by source

Our World in Data

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.



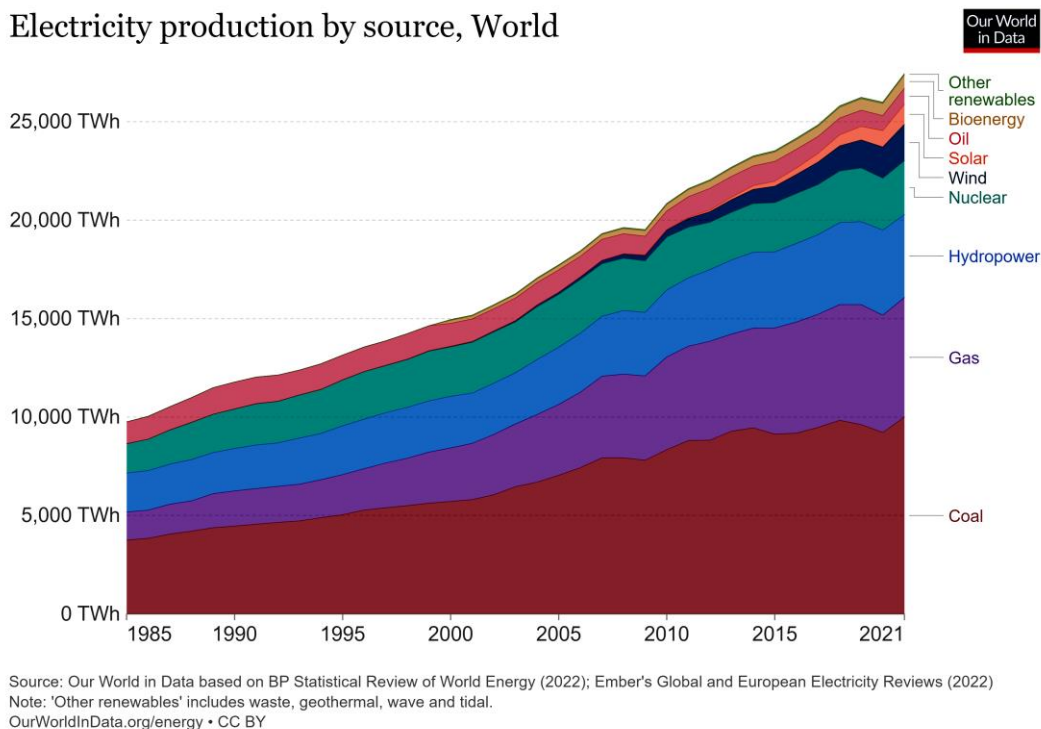
Source: Our World in Data based on Vaclav Smil (2017) and BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/energy • CC BY

3. ábra: Az elsődleges energiahordozók forrásonkénti százalékos megoszlása 1800 és 2021 között [5]. A 2021. évi megoszlás: Egyéb megújuló: 1,35 %, Modern bioüzemanyag: 0,65 %, Nap: 1,53 %, Szél: 2,76 %, Víz: 6,34 %, Nukleáris: 3,99 %, Földgáz: 22,88 %, Kőolaj: 29,00 %, Szén: 25,2 %, Hagyományos biomassza: 6,3 %.

Az ember hagyományosan hőenergiát és mechanikai energiát használt. *A különbségtétel fontos, hiszen a mechanikai energia lényegében teljes mértékben átalakítható hőenergiává, míg a hőenergia csak egy felülről korlátos elméleti hatásfokkal alakítható át mechanikai energiává.* Ilyen értelemben a ma már nélkülözhetetlen villamos energia is „mechanikai energia”. A villamos energia azért nem szerepel a 2. és 3. ábrán, mert az ún. másodlagos- (szekunder) energia, azaz minden esetben valamilyen elsődleges (primer) energiahordozóból kell előállítani.

Az elsődleges energiák globálisan a következő hozzávetőleges arányban kerültek felhasználásra az egyes szektorok között: ipar: 51,7 %, közlekedés: 26,6 %, lakosság: 13,9 %, kereskedelem: 7,8 %. Mindegyik szektorban nélkülözhetetlen a biztonságos villamos energiaellátás, ami nélkül a 21. századi technológia (pl. informatika) egyáltalán nem működne. A villamos energia elsődleges energiahordozóinak globális felhasználását a 4. ábra mutatja. 2021. évi relatív megoszlásuk: szén: 36,4%, földgáz: 22,1%, víz: 15,4%, atom: 10,0%. szél: 6,7%, nap: 3,7%, kőolaj: 3,0%, bioenergia: 2,4%, egyéb megújuló: 0,3%.



4. ábra: A villamosenergia-termelés primer energiahordozóinak megoszlása [6].

Az elmúlt évtizedek során egyrészt a lehetséges energiahordozók (az ún. források) korlátossága, másrészt a természeti erőforrások használatának óhatatlan környezeti következményei (röviden: a nyelők) miatt egyre nőtt az aggodalom: vajon nem ütközünk-e (vagy nem ütköztünk már is bele) valamiféle planetáris korlátokba?

1.3. Hiány vagy bőség?

A legjobb lelkiismerettel adható válasz nagyban függ attól, hogy milyen értékrenddel közelítünk e kérdéshez.

A magunk részéről a Földet ajándéknak tekintő („normális”) ember eszményét elfogadó, a szélsőséges önzést és a szélsőséges altruizmust egyaránt elutasító ember mértéktartó igyekezetét tartjuk mérvadónak. A tudományos megismerésben ezért a tényeket, és nem az uralkodó véleményeket tekintjük döntőnek. A tálcán kínált válaszok ellenére a Föld-ember viszony legalapvetőbb kérdései tisztázatlanok, válaszaink bizonytalanok. Ennek alapvetően az az oka, hogy ami az ember számára nagynak látszik, az a természet felől nézve: kicsiny. A „túlnépesedés” kérdéséről például tényszerűen annyit mondhatunk, hogy az emberiség összömege mintegy 500 millió tonna, a teljes földi biomassa 0,01 százaléka [7]. A természetből felhasznált energia 1800-tól napjainkig globálisan valahol 40 zettajoule ($1 \text{ ZJ} = 10^{21} \text{ J}$) körüli értékre tehető, ami emberi mércével mérve óriási energia, de természeti léptékben mérve csak egy elenyésző mennyiség. Egyetlen nagyobb földrengés teljes energiája is elérheti ezt a nagyságrendet. (A 2004. december 26-ai cunamit okozó csendes-óceáni rengés teljes energiája volt kb. 40 ZJ.) Az emberi felhasználás a természeti energiaáram mindössze ezrelékében mérhető [8, 9]. A természeti erőforrások esetleges kimerülése miatti örökös aggodalom mindenkor erkölcsös és helyénvaló volt, de ugyanilyen erkölcsös és helyénvaló volt a mindenkori bizakodás is. Ugyanis a természet erőforrásai mindig sokkal nagyobbak bizonyultak, mint a mindenkori mérlegelési időpontokban vélni lehetett [10].

A Földön elérhető fosszilis (kőolaj-, földgáz- és szén) és fisszilis (hasadóanyag) készlet („stock”) nyilvánvalóan korlátos mennyiségű, hiszen maga a Föld mérete is az. Alsó becslések szerint a mai felhasználás szintjén a szénhidrogének kitermelése legalább néhány évtizedre, a szén legalább másfél száz évre elegendő, a hasadóanyagok (nagyreszt az elmúlt évtizedek technikai fejlődése következtében) legalább ezer éven át képesek biztosítani az emberiség biztonságos energiaellátását. Ugyanakkor a természeti folyamatok megcsapolásából származó („megújulónak” nevezett, de valójában ún. „flow” jellegű) energifajták is korlátosak. Használatuk ugyanis óhatatlanul visszahat magára a természeti rendszerre.

Lehet-e bízni a jövőben? Bővíthet-e meglepetésszerűen az eddigi jólétet megteremtő energiahordozókészlet? Reménykedhetünk-e új (eddig ismeretlen, vagy csak elviekben ismert) természeti energiahordozókban? Mekkora a lehetőségeink a „flow” jellegű természeti folyamatok megcsapolásában?

Fontos, hogy a mai lehetőségek várható alakulását a tényekből kiindulva, racionálisan mérlegeljük, és szüntelen kutassuk az összes mai és jövőbeli esetleges energiahordozóval kapcsolatos lehetőségeket, valamint korlátokat.

1.4. Környezeti megfontolások

Az ún. környezeti hatás fogalma a mai emberben annak ellenére kelt negatív asszociációt, hogy a létesítmények (templom, iskola, kórház, termőföld, gyár, utak stb.) kifejezetten és kitüntetetten az embert szolgálják. Roger Scruton szerint a természet válhat szebbé is az ember által [11]. *Természetbefolyásoló képességünket (a jót és a rosszat is) kétségtelenül az energiafelhasználás mértéke és fajtája határozza meg.*

Az egyes energifajták következményeiről általánosan kijelenthető, hogy végül minden energia munkává és hővé alakul. Mindegyik energifajtának sokféle specifikus természetbefolyásoló következménye van. Egyenként valamennyi környezeti hatás elég jól kvantifikálható, de a sokféle következmény egymással nehezen mérhető össze. Általános következtetésként kimondható, hogy a nagy energia- és teljesítménysűrűségű (gyakorlatilag a nagy EROI-val jellemezhető) energiahordozókat kis energia- és teljesítménysűrűségű energiahordozókkal helyettesítve az energiatermelésre szükséges terület drámaian

megnö. Ugyanannyi energiaforrást kis EROI-jű elsődleges energiahordozóból előállítani nagyobb környezeti terhelést jelent, mint a koncentráltabb energiahordozókból. A kutatásnak és a felhasználásnak ezért a minél nagyobb EROI-jű energiaforrások felhasználására kell törekednie. A környezeti következmény helybéli energiaforrások helyi felhasználására törekedve is csökkenthető.

1.5 Szakmai mérlegelés

A legnagyobb EROI-jű lehetőségeket áttekintve azt látjuk, hogy míg a vízerőművek természeti adottságai korlátozottak, az atomenergia-felhasználásé lényegében korlátlanok. A fúziós energia terén még jelentős és bizonytalan kimenetelű kutatási-fejlesztési feladatok vannak, mint ahogyan számos más lehetséges energiahordozó terén is. *A világot mindeddig biztonságosan ellátó hagyományos energiahordozó-alapú energiahálózat szerkezetét érdemben megváltoztatni ésszerűen csak kis lépésekben és fokozatosan (évtizedek alatt) lehet.*

Mindent mérlegre téve, logikus a legszűkösebbnek tűnő (bár globálisan a fogyás legcsekélyebb jelét sem mutató) fosszilis energiatípusokról a sokkal kevésbé korlátos, nagy EROI-jű energiahordozókra áttérés fokozatos megvalósítása. Szakemberek szerint a fosszilis energiahordozók fokozatos kiváltása célszerűen atomenergiával lenne elkezdhető. *A döntéshozók viszont a kis EROI-val jellemzett nap- és szélenergiáról állítják ugyanezt, sőt az általuk zöldátmenetnek mondott elképzelést nem csak lehetségesnek, hanem egyenesen sürgetőnek tartják!*

Hogyan alakulhatott ki ez az ellentmondás?

2. Tévút

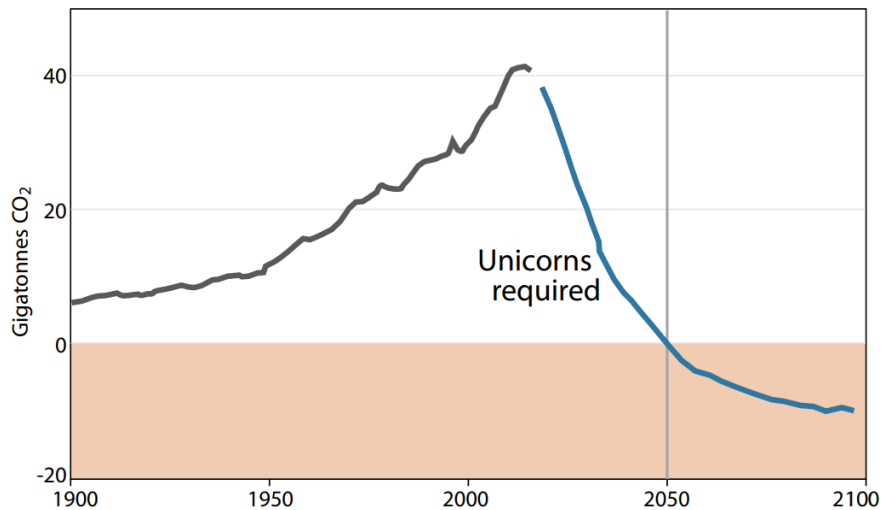
2.1. Gyorsított dekarbonizáció

Az energiatípusok és környezeti hatásaik objektív és komplex értékelése helyett az uralkodó nézet az elmúlt évtizedekben az ún. CO₂-kibocsátás elleni küzdelem lett. Még az ún. ökológiai lábnyomnak elnevezett mérőszám csaknem felét is az antropogén CO₂-kibocsátás számlájára írják. A CO₂-lábnyomot nem csak számszerűsítették, hanem szankcionálják is. A kitüntetett figyelem indokaként azt hangoztatják, hogy a CO₂-kibocsátás már eddig is példátlan éghajlatváltozást okozott. Az éghajlatváltozást a légköri CO₂-koncentráció visszacsökkentésével, azaz az ún. dekarbonizációval: a jelenlegi energiaforrások kb. 80%-át jelentő szén, kőolaj és földgáz záros határidőn belüli megvonásával javasolják megállítani.

Az ENSZ SDG 13. célja („fellépni az éghajlatváltozás ellen”) tehát mindenképp felettébe vált. Az ENSZ és a WEF (World Economic Forum) ösztönzésére a gyorsított dekarbonizációs energia-átmenetbe (2030-ig 55%-os kibocsátás-mérséklés, 2050-ig teljes nettó klímasemlegesség) abban a hitben kényszerül bele a világ, hogy a 80%-nyi kieső energia ún. „megújuló energiával” (nap- és szélenergiával) pótolható lesz. Erre vonatkozóan azonban sem megvalósíthatósági, sem hatástanulmány nem létezik. A tervezett új, teljesen megújuló alapú energiarendszer kiépítéséhez, működtetéséhez globális szinten 586 000 új, átlagos méretű, nem fosszilis tüzelésű erőmű szükséges. Jelenleg mindössze 46 000 van, ami azt jelenti, hogy a jelenlegiek tízszeresét kell felépíteni. Ebből lehet következtetni az átállás időigényére [12, 13]. Mindezek ismeretében fel kell tenni két kérdést: 1. Miért kell, hogy a „dekarbonizáció” (értelmezhetetlen) jelszava alatt egy még sehol ki nem próbált, kis hatékonyságú elemekből összeállított, (ennél fogva) törekeny, mérhetetlenül költséges, új rendszert építsen ki a világ drágán, példátlan adósságokba verve szuverén országokat? 2. Miért kell megvalósíthatatlanul rövid határidőn belül lemondani a fosszilis energiahordozókra alapuló, hosszú évtizedek óta megbízhatóan működő, kiegyensúlyozott ipari ökoszisztémáról, amelynek felépítése több mint egy évszázadba telt, és csak a világ valaha ismert legmagasabb fűtőanyag-sűrűségű és olcsó energiaforrása (kőolaj- és földgáz) segítségével volt lehetséges?

A divatos nap- (PV) és szélenergiák EROI-ja eleve elégtelen. Speciális anyagigényük az ásványi nyersanyagtermelést kritikus mértékűre fokozza, üzemeltetésük időjárásfüggő szeszélyessége folytán alkalmazásuk folyamatos energiaellátásra csak energiátárolással lenne megoldható, viszont annak a lehetőségei igen korlátozottak [14, 15, 16, 17, 18, 19].

Egyre szélesebb körben válik nyilvánvalóvá, hogy a dekarbonizáció gyorsítása nem szakmai mérlegelés eredményeként született meg. A szakmaiatlanság már abból is kiderül, hogy ekkora fordulatot ilyen gyorsan (2030-ig, illetve 2050-ig) kivitelezni irreális és lehetetlen. Az 5. ábra a párizsi klímacélok megvalósításának lehetetlenségét illusztrálja [20, 21].



5. ábra: A globális széndioxid-kibocsátás éves mennyiségének eddigi alakulása (feketével) és a „karbonsemlegességi” klímacélok teljesítésének menetrendje 2050-ig és azon túl (kézzel). A feladat nagyságrendje akkora, hogy csodatevő egyszarvúak kellenének hozzá („unicorns required”) [20, 21].

Az energia összetett kérdésköréből egyetlenegy kiragadott elemre fókuszálva csak rossz politikai döntést lehet hozni. Ez az egyetlen kiragadott érv jelen esetben a dekarbonizáció hivatkozási alapjaként a „fenyegető éghajlatváltozás”. A következőben e szempontól pillantunk bele a dekarbonizáció megalapozottságába, de csak az elkerülhetetlenül szükséges mértékig [22].

2.2. Klímaváltozás: indok vagy ürügy?

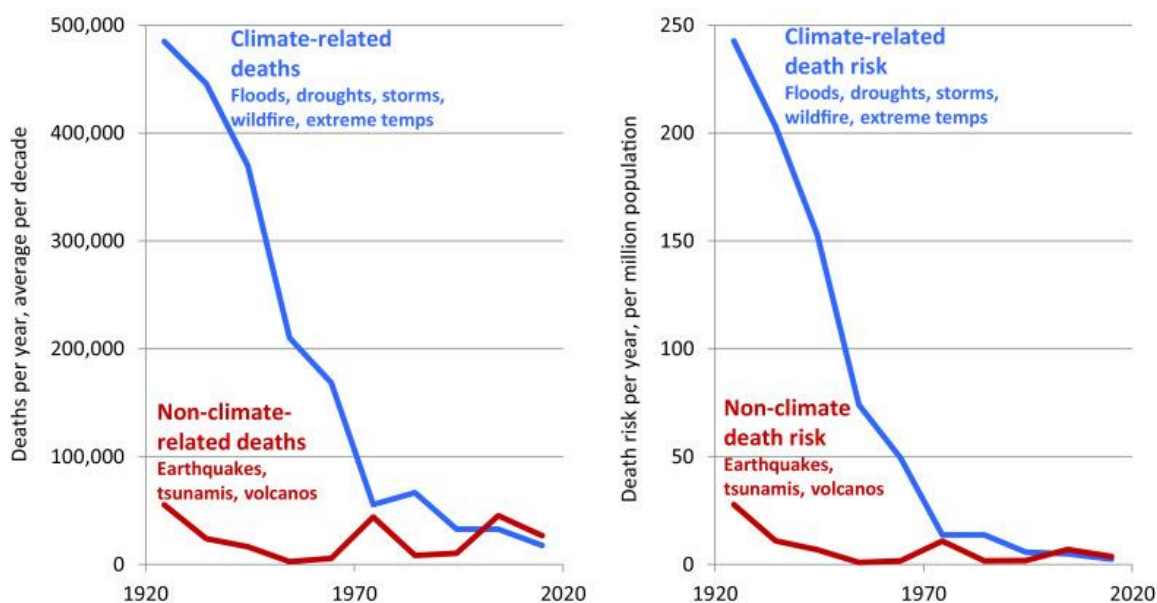
A Nap körül keringő, saját tengelye körül forgó, és döntően mindhárom halmazállapotú víz által borított felszínű Földünk éghajlatát alapvetően a beeső napsugárzás és a kimenő hősugárzás mérlege, a légköri és óceáni energiaátadások dinamikája határozzák meg. A kozmosztól a Föld belső szerkezetéig számos más hatótényezője is van. A legkülönbélebb tér- és időbeli tartományban örökösen változik minden. Az időjárási szélsőségek, de a néhány évtizedre érvényes trendek is teljesen természetesek. A jelenlegi éghajlatváltozás egyáltalán nem példátlan az emberi történelem időskáláján belül sem. A természet ennél sokkal nagyobb ingadozásokat is képes produkálni.

A dekarbonizációs törekvések hivatkozási alapjának kikiáltott *éghajlatváltozásban se a paleoéghajlati tényeket, se a ma megfigyelhető földfizikai- és óceáni folyamatokat nem veszik figyelembe*, amelyekről pedig az utóbbi években exponenciálisan növekvő adattömeg válik megismerhetővé.

Nem segíti a megértést, hogy az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye a *klímaváltozás definíciójából kizárta a természetes okokat, a természeti változékonyságot jelentéktelennek igyekszik beállítani*. (Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény kihirdetéséről szóló 1995. évi LXXXII. törvény 1. cikkelye

szerint „Éghajlatváltozás jelenti az éghajlat megváltozását, ami közvetlenül vagy közvetve a globális légkör összetételét módosító **emberi tevékenységnek tudható be**, és ami az összehasonlítható időtartamokon belül megfigyelt természetes éghajlati változékonyságon túli járulékos változásként jelentkezik.”) Ez nyitotta meg annak a lehetőségét, hogy mindenféle éghajlatváltozást pusztán antropogén hatásnak lehessen tulajdonítani.

A tudományon kívülről érkező efféle befolyásolást látva nincs mit csodálkozni azon, hogy az idézett definíciónak megfelelően a klímaváltozást eleve egy nyomgáznak, a légkör 0,04 százalékát kitevő széndioxidnak tulajdonítják, amely egyáltalán nem „károsanyag”, hanem az élet egyik alap-összetevője. Az éghajlatváltozásra hivatkozó energiapolitikai döntések (az ún. klímacélok) pedig olyan modellek alapján születnek, amelyek a visszamenőlegesen ismert tényadatokkal nem egyeznek. A 6. ábra adatai szerint nem helytálló az az állítás sem, hogy a klímaváltozás egyre több halálesetet okozna [23].



6. ábra: A klímaváltozással kapcsolatba hozható és a klímaváltozástól bizonyosan független természeti katasztrófákból eredő halálesetek száma 1920 óta [23].

Kék: áradás+aszály+vihar+erdőtűz+szélsőséges időjárás.

Piros: földrengés+cunami+vulkanizmus. Bal oldalon: évenkénti halálesetek száma, évtizedes átlagban.

Jobb oldalon: Az egymillió emberre jutó halálesetek évenkénti száma.

Az újabb és újabb megfigyelések alapján a tudományban bármilyen korábbi hipotézis megkérdőjelezhető. A tudományba kívülről érkező egyoldalú beavatkozások és a felhalmozódott ellentmondások miatt *a klímaváltozás kérdésköre tudományos értelemben lezáratlan*. A földi energiarendszerek alapos és egyértelmű ismerete nélkül ábrándos elképzelés a klímaváltozást ez emberi CO₂-kibocsátás erőltetett csökkentésével megakadályozni. *Inkább alkalmazkodni kellene a mindenkori klímaváltozáshoz, mint ahogy azt az ember az elmúlt kétszázézer évben mindig is tette, hiszen más választása nem is lehetett.*

Összefoglalva: a jelenkori éghajlatváltozás nem példátlan, a földi éghajlati rendszer semmilyen értelemben nem omlott össze, a jövőbeni változásnak pedig még az előjelét sem ismerjük. *A dekarbonizáció szükségességét éghajlati fenyegetettséggel indokolni tudományosan alaptalan.*

2.3. Aggodalmunk

Az erőltetett dekarbonizáció energetikailag szakszerűtlen, tudományos hivatkozási alapját illetően vitatható, emberileg elviselhetetlen, mindezek ellenére mégis elkezdődött. Belelátva a folyamat haszonélvezőinek körébe, joggal feltételezhető, *hogy a klímaváltozás jövőnkét fenyegető globális veszélyként való propagandisztikus tálalása és a dekarbonizáció siettetése nem más, mint a Great Reset (Nagy Világátalakítás) konkrét megvalósításának pszichológiai előkészítése.* Gondoljunk vissza a Smalley-féle prioritási listára: *a fenntartható fejlődés legfontosabb természeti előfeltételének megvonása alkalmas az emberek kiszolgáltatottá tételére.* Tény, hogy a nagy befektetési alapok ún. ESG (Environmental, Social and Governance) irányelvekkel kényszerítik bele a cégeket az általuk összehangoltan kidolgozott dekarbonizációs elvárások teljesítésébe, egyúttal megvonva a forrásokat a stabil és biztonságos villamosenergia-ellátáshoz esedékes energetikai beruházásoktól [24, 25]. Mintha az *energiahordozók áremelkedésének az elsődleges oka is alapvetően a dekarbonizációs energiapolitika lenne.* Legnagyobb aggodalmunk, hogy a dekarbonizáció erőltetése mögött pusztán politikai szándék van.

3. Visszatérés a józan észhez

Tény, hogy a fejlett világ óriási pazarláshoz vezető energiabőségig jutott el, miközben a legszegényebb országokban nélkülözik a biztonságos energiaellátást. Az emberiség a helyben való segítség leghatékonyabb formájaként magától értendő természetességgel kínálja egyik oldalról a mértékletességet (amit épp a most világmegmentőnek mutatkozó globalista elit vetett el az elmúlt évtizedekben a globális fogyasztói társadalom megvalósításával), a másik oldalról pedig azt, hogy a legszegényebb országok természeti energiakincseiket saját javukra is használhassák. Amint a 2022. december 31-én elhunyt XVI. Benedek emeritus pápa Caritas in Veritate c. pápai enciklikájában írta: *„Ami a környezetért érzett aggodalmat és a környezetvédelmet illeti: az ezzel összefüggő kérdésekkel kapcsolatban ma megfelelő figyelmet kell szentelni az energetikai problémáknak. A szegény országok fejlődésében jelentős akadálynak bizonyul a nem megújuló energiaforrások felvásárlása egyes államok, befolyásos csoportok és vállalkozások által.”* [26]

Fokozatos energia-átmenetre a jövő érdekében mindenképpen szükség lesz. Kívánatos viszont, hogy annak ésszerű megtervezése (mai tudásunk szerint atomerőművek vagy más, még ki nem dolgozott, nagy EROI-értékkel jellemezhető eljárás üzembe állított egységei hálózatának kialakítása) kutatók, mérnökök és a valóságalapú közgazdászok munkája legyen [27].

Az azonnali fordulat szükségességét hirdető energiafordulat („Energiewende”) helyett lassúbb, fokozatos átgondolt energia-átmenet („Energy Transition”) lehet tehát csak az egyetlen járható út, ahogy idáig is történt. Van időnk! Az energia-átmenet természetesen az antropogén CO₂-kibocsátás csökkentésével (ha úgy tetszik: „dekarbonizációval”) jár majd, ami így nem erőltetett cél, hanem az egyik járulékos következmény lesz!

A stabil és megbízható villamosenergia-ellátáshoz szükséges energetikai beruházásokat pótolni szükséges, az időszakos források (szél, napenergia vagy árapály) használatát pedig ésszerű keretek között kell tartani.

Habár e tanulmányunk elvi kérdések tisztázására irányul, a hazai energiabiztonság folyamatossága érdekében a közvetlen kihívások mérlegelésétől sem tekinthetünk el. Világosan kell látnunk, hogy az Északi Áramlat 1 és 2 vezeték elleni terrorakció gyökeresen meg fogja változtatni a világ, és benne Magyarország folyamatos, biztonságos, és megfizethető energiával való ellátására vonatkozó energiapolitikai törekvéseket, elképzeléseket, ami kihat az egész gazdaságra, úgy globális, mint lokális szinten. Ez az esemény ugyanis átlépett egy, még a hidegháború legsötétebb éveiben is hallgatólagosan elfogadott, tiszteletben tartott határvonalat: az energia (nemzetközi) kitermelésének, szállításának, szolgáltatási infrastruktúra rendszereinek (a vezetékrendszerek) sérthetlenségét. Ezzel továbbint a folyamatos, biztonságos, és megfizethető energiaellátás illúziója. Innen már csak idő kérdése, hogy ki és

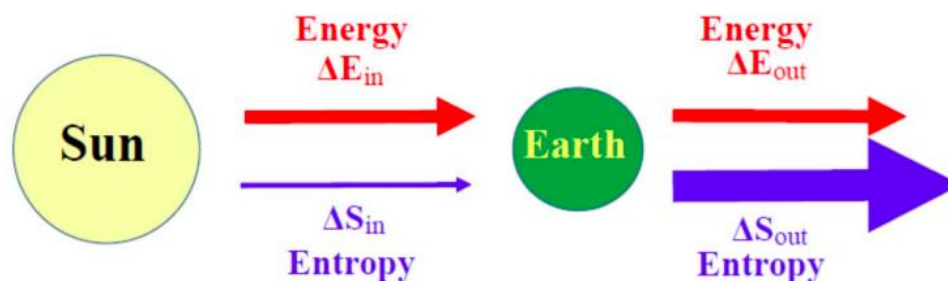
mikor vesz célba egy (tengeri) fúrótornyot, bányalétesítményt, távvezetéket, LNG- vagy olajszállító tankert, kikötői létesítményt, LNG-terminált, elektromos távvezetéket, vagy akár (atom)erőművet [13]. A mai helyzetben az energiabiztonság tehát csakis hazai fosszilis energiahordozók révén garantálható, megfelelő belbiztonsági védelem mellett. A jelenlegi (energia)termelő egységek termelési kapacitásának rövidtávon megvalósítható növelése érdekében javasoljuk a technikai lehetőségek és költségek felmérését; középtávon felmérni a korábban tervezett, de különböző okokból ejtett kőszén- és szénhidrogén-kutatási és termelési elképzelések reaktiválásának lehetőségét; és javasoljuk új, hazai és regionális földtani példák alapján perspektivikus kőszén- és szénhidrogén-előfordulási helyek, földalatti alakulatok mielőbbi megkutatását. Az ún. megújuló terén mutatkozó természeti lehetőségeinket illetően is a józan észrt követve kell élni. A vízenergia terén egy teljes, politikamentes újragondolás kínálkozik lehetséges legfontosabb célkitűzésként, az egyéb megújuló energiák terén pedig a helyi felhasználás szorgalmazása. Villamosenergia-hálózatra szél- és naperőművi energiát csak a szivattyús energiátározás (a víztározó-kapacitás) mértéig indokolt rákötni.

4. Fenntartható fejlődésre ítélve

Visszatérve az elvi kérdésekre: a Smalley-féle lista nem teljes. Nem szól az energiával egyenrangú másik fizikai fogalomról, az entrópiáról. Az átlagember az entrópiáról legfeljebb annyit tud, hogy „rendezetlenséget” jelent, és hogy a magukra hagyott folyamatok mindig a rendezetlenség irányába mennek, azaz az entrópiájuk nő. Az entrópia kifejezést Rudolf Clausius 1865-ben alkotta meg, az energia mintájára. Az en (magyarul: be-) előtag meghagyásával, az ergon (munka) szó tropé-val (τροπή = megfordulás) való helyettesítésével igyekezett a termodinamikában az anyagi rendszerek molekuláris rendezetlenségét jellemezni.

Az ún. entrópia-növekedés hangoztatása közepette szinte teljesen elfelejtődött, hogy a Nap-Föld-világűr rendszer magától értetődő természetességgel gondoskodik a Föld entrópiájának csökkenésétől, azaz a „rendezettség” globális növekedéséről. Amint a 7. ábra mutatja, a Föld egy melegebb testtől (a Naptól) magasabb hőmérsékleten vesz fel energiát és egy jóval hidegebb közegnek (a világűrnek), alacsonyabb hőmérsékleten adja le. Röviden úgy is mondható, hogy a Földet a Nap élteti. Ez a *természeti eredetű entrópiacsökkenés (negentrópia) a földi élet, az igazi fenntartható fejlődés forrása!* Egyben ez a fenntartható fejlődés Csernai-féle elméleti (fizikai) definíciója [28, 29, 30].

Energy & Entropy balance of Earth



7. ábra: A Nap-Föld rendszerben a sugárzási energia-egyensúlyának a Föld entrópia-mérlege (azaz a $\Delta S = \Delta E/T$ mennyiség, ahol T : hőmérséklet, E : energia, S : entrópia) minden időpillanatban negatív. Az ún. negentrópia (azaz a folytonosan növekvő rendezettség) annak köszönhető, hogy a Naptól felvett entrópia a napfelszín 6000 K körüli hőmérséklete miatt jelentősen kisebb, mint a 300 K körüli felszín-hőmérsékletéről hősugárzás formájában leadott entrópia. A negentrópia biztosításának lényeges feltétele a földfelszín borító H_2O (folyékony víz, vízpára, hó, jég) hőmérsékletingadozást mérséklő hatása [28, 29, 30], ami a Nap-Föld rendszer kicsiny ($< 1/340$ -ednyi) sugárzási egyensúlytalanságait kompenzálja.

Az ily módon egzakt értelmet nyert fenntartható fejlődés kereteit a negentrópia szabja meg. Az emberi fenntartható fejlődés tehát az egyre komplexebb rendszerek irányába mutat.

A kitűzendő célunk az lehet, hogy az energiát mindenkor a lehető legkisebb entrópia-termeléssel állítsuk elő. Ebből az ún. megújuló energiákra nézve egyenesen következik, hogy a vízerőmű a lehető legjobb, a szélenergia a lehető legrosszabb opció. A fotovoltaikus energiafelhasználás pedig csak addig előremutató, ameddig nem foglal el termőterületet. A víz szerepe kiemelkedően fontos. Azon kívül, hogy a Föld sugárzási egyensúlyában a negentrópia megmaradását a három halmazállapotú víz biztosítja, a tiszta víz az emberi élet legfontosabb alapanyaga. Mindezekon felül az egyetlen energiátárolási alternatíva, ami jó hatásfokkal nagy mennyiségű energia tárolására képes a csak időnként működő megújuló energiatermelés kiegyensúlyozására.

A jelen és a jövő legjobb kilátása a nukleáris energia, amely minimális üzemanyag-mennyiséggel és minimális területigénnyel a legtöbb energiát termeli. Végezetül: fúziós energiatermelés – amennyiben megvalósul – a földi entrópiát nem növeli, hanem maga is hozzájárul a rendezettség növekedéséhez.

Felelőségünk van, de reményünk is.

Irodalom

1. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
2. Smalley R 2003: Top Ten Problems of Humanity for Next 50 Years. Energy & NanoTechnology Conference, Rice University, May 3, 2003.
3. Schernikau et al. 2022: Full cost of electricity ‘FCOE’ and energy returns ‘eROI’. Journal of Management and Sustainability Vol. 12, No. 1, June 2022.
4. <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-substitution>
5. <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-substitution?stackMode=relative>
6. <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked>
7. <https://ourworldindata.org/life-on-earth>
8. Szarka L 2019: Föld és ember. MTA rendes tagsági székfoglaló előadás. (Magyar Belorvosi Archívum 2021/1, 8-27.)
9. Koonin SE, 2021: Unsettled. Ben Bella Books.
10. Myers N, Simon J L 1994: Scarcity or Abundance?: A Debate on the Environment. W W Norton, New York.
11. Scruton R, 2018: Zöld filozófia, Akadémiai Kiadó.
12. Davies A, Simmons M: The Role of the Hydrocarbons in the Energy Transition, AAPG Explorer, v.43, No. 8., August 2022 pp. 20-22.
13. Bérczi I: Gondolatok a PBK Energia Munkacsoport 2022.11.14.-i ülésére. (Kézirat).
14. Menton F 2022: The storage conundrum. GWPF Briefing 61, <https://www.thegwpf.org/content/uploads/2022/11/Menton-Energy-Storage-Conundrum.pdf>
15. Hanula B 2022. Fenntartható fenntarthatóság. Magyar Tudomány 182 (2219 3, 353-360.
16. Gelencsér A 2022: Ábrándok bővületében. Akadémiai Kiadó, ISBN: 978 963 454 858 4, DOI: 10.1556/9789634548584
17. Korényi Z 2022: Erőművek életciklus alapú komplex értékelése. Magyar Energetika, 2022/2, 2-14.
18. Vajda Gy 2001: Energiapolitika. Magyarország az ezredfordulón. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest. ISBN 963-508-271-1.
19. ÓhAiseadha C, Quinn G, Connolly R, Connolly M, Soon W 2020: Energy and Climate Policy—An Evaluation of Global Climate Change Expenditure 2011–2018. MDPI Energies, Vol. 13, 18, 10.3390/EN13184839.
20. Peters G 2019: https://www.slideshare.net/GlenPeters_CICERO/can-we-keep-global-warming-well-below-2c.
21. Kelly M 2019: Energia-utópiák és mérnöki realitás. GWPF Annual meeting, 2019. <https://www.enpol2000.hu/dokumentumok/eladas/article/Dokument%C3%A1ci%C3%B3k/Dokumentumok/13-El%C5%91ad%C3%A1s/851-klimapolitikai-eloadasok-londonbol-magyarul>
22. Szarka L 2022: Klímaváltozás és energiapolitika, a geofizikus szemüvegén át. Fizikai Szemle 2022/8, 244-247.

23. Lomborg B 2020: Welfare in the 21st century: Increasing development, reducing inequality, the impact of climate change, and the cost of climate policies. Technological Forecasting and Social Change, 156, 119981, ISSN 0040-1625.
24. Schwab, Klaus 2022: Eye on global governance,
<https://www.youtube.com/watch?v=j6N8PJVdALM&t=0s>
25. Vida Ákos: Egy veszélyes társadalmi irányelv. Magyar Nemzet, 2022. november 1.
<https://magyarnemzet.hu/velemeney/2022/11/egy-veszelyes-vallalati-iranyelv>.
26. XVI. Benedek: CARITAS IN VERITATE, 49. pont. <https://regi.katolikus.hu/konyvtar.php?h=397>
27. Berkhout G 2022: Az energiaátmenetet tapasztalt mérnökökre kell bízni 1-2. Magyar Hírlap, 2022.március 29-30. <https://www.magyarhirlap.hu/velemeney/20220328-az-energiaatmenetet-tapasztalt-mernokokre-kell-bizni-1> és <https://www.magyarhirlap.hu/velemeney/20220329-az-energiaatmenetet-tapasztalt-mernokokre-kell-bizni-2>, egyben: <https://clintel.org/az-energiaatmenetet-tapasztalt-mernokokre-kell-bizni/>. Eredeti angol: <https://clintel.org/experienced-engineers-must-take-the-lead-in-the-energy-transition/>.
28. Csernai L P et al. 2016: Physical Basis of Sustainable Development. Int. J. of Central European Green Innovation 42, 39-50. arXiv:1612.06439v1 [physics.soc-ph]. [https://acadeuro-bergen.no/publications/\[e2\]-Physical-basis_Csernai_ea_JCEGI-42\(2016\)39.pdf](https://acadeuro-bergen.no/publications/[e2]-Physical-basis_Csernai_ea_JCEGI-42(2016)39.pdf).
29. Csernai L P et al.2017: Quantitative assessment of increasing complexity. Physica A 473, 363, arXiv:1609.04637 [q-bio.OT].
30. Csernai L P, 2022. Energia, fenntartható fejlődés vagy fenntartható hanyatlás?
<http://csernai.no/naplife/talks/Csernai-20221117-Oslo-Z.pdf>,
<http://csernai.no/naplife/talks/Csernai-20221117-TudosEst-Oslo.mp4>

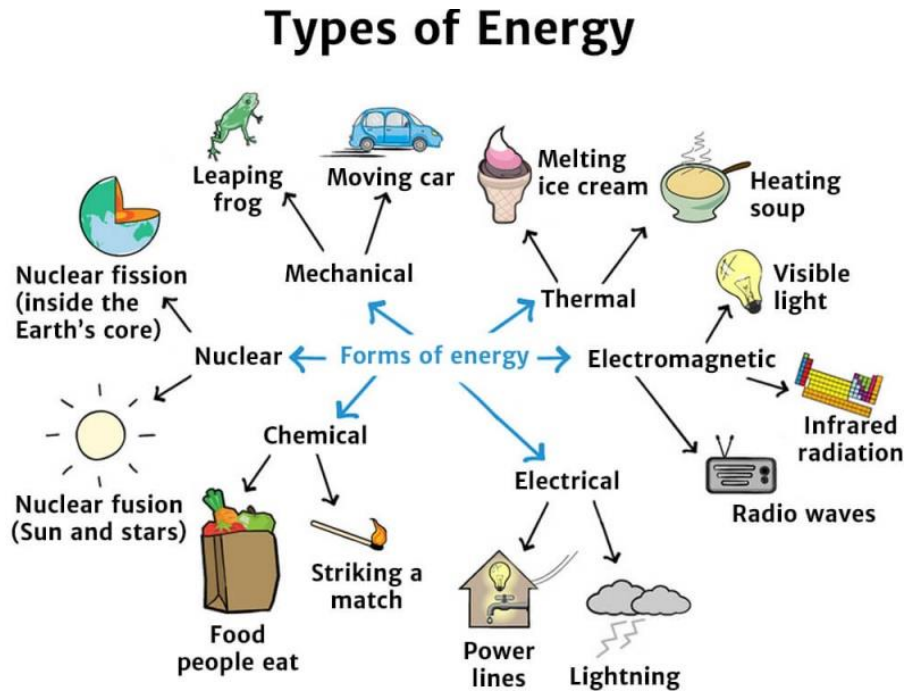
Függelékek listája

A függelékek a tanulmány háttérét jelentik. Legtöbbjük munkaanyagnak tekintendő.

- I. függelék: Néhány energetikai fogalom
- II. függelék: Néhány energiapolitikai javaslat Magyarország számára
- III. függelék: Mobilitás
- IV. függelék: Gondolatok a karbonsemlegességről
- V. függelék: A szénhidrogének kiváltása
- VI. függelék: Ásványi nyersanyagszükséglet
- VII. függelék: Michael Kelly: Energia-utópiák és a mérnöki realitás c. előadásának néhány illusztrációja

1. függelék: Néhány energetikai fogalom

Az energia egzakt fogalma a fizikából ered. A gyakorlatban munkavégző képesség, kölcsönható képesség, egy test vagy egy fizikai tér állapotváltóztató képessége. Sokféle formában létezik. Néhány példa: fényenergia, hőenergia, mechanikai energia, gravitációs energia, elektromos energia, hangenergia, kémiai energia, atomenergia.



A1.1. ábra: Energiafajták [A1.1].

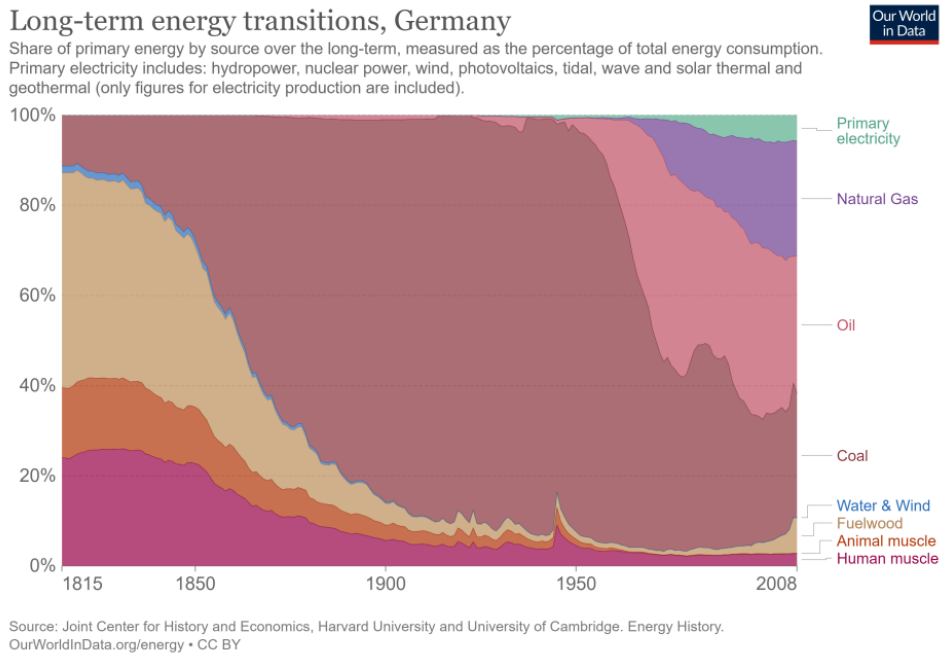
A kinetikus energia a mozgó tárgyakban vagy tömegben lévő energia, a potenciális energia bármely olyan energiaforma, amely tárolt potenciállal rendelkezik, és amelyet a jövőben hasznosítani lehet. A mechanikai energia-megmaradás elve közismert. A szélesebb értelemben vett kinetikus energia fogalma alá tartozik pl. a villamos energia is, a potenciális energia fogalomköre alá pedig a nukleáris energia, kémiai energia stb.

Az eligazodás alapfeltétele a különféle energiamennyiségek fogalmak pontos definiálása, a természeti törvények betartása és az átszámíthatóság. 1 watt (W) teljesítmény másodpercenként 1 joule (J) energia átalakulásnak felel meg. $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$. Az energia- és teljesítménymennyiségek előtti betűk (k, M, G, T, P, E, Z) különféle nagyságrendeket jelölnek. Jelentésük: k (kilo): ezer (10^3), M (mega): millió (10^6), G (giga): ezermillió, azaz egymilliárd (10^9), T (tera): billió, azaz milliószor millió (10^{12}), P (peta): billiárd, azaz ezerbillió (10^{15}), E (exa): trillió, azaz milliószor milliószor millió (10^{18}), Z (zetta): 10^{21} .

Néhány különféle energiahordozó anyag hozzávetőleges fajlagos energiatartalma (ún. energiasűrűsége) MJ/kg mértékegységben: urán²³⁵: 80 250 000, folyékony hidrogén: 130, földgáz: 50, nyers kőolaj: 40, kőszén: 30, metanol: 20, szárított faanyag: 20, lignit: 15; szárított növény: 15, szalma: 13, nyers tűzifa: 8, háztartási hulladék: 8, víz párolgáshője: 2,257, víz (100–0 °C között): 0,418, víz olvadáshője: 0,334,

telepek (ólomtól lítiumig): 0,1–2,5, 1 kg tömeg 100 m-ről leesve: 0,001, 10 m/s sebességű 1 kg-os tömeg: 0,0005. A hidrogénfúzióhoz tartozó érték: 645 000 000 MJ/kg. Egy ereje teljében lévő átlagember naponta 2 MJ munkát képes végezni, ami napi kb. 11 órán át kifejtett 50 W teljesítményt jelent.

Néhány országra rendelkezésre áll az energiaforrások részesedésének évenkénti alakulása oly módon is, hogy számításba veszik az állati és az emberi izomerőt is.



A1.2. ábra: Németország primer energiaforrásainak alakulása az emberi és az állati izomerő figyelembevételével, 1815-2008 között [A1.2].

Az egyik leggyakrabban használt energiaegység a kilowattóra (kWh). Ez az az energia, amit a rendszer, berendezés akkor végez vagy termel, ha 1000 W (1 kW) teljesítménnyel 1 óráig, azaz 3600 másodpercig dolgozik. Az ember 1 napi munkavégzése 0,77 kWh-nak felel meg.

Nagyobb emberi közösségek, országok éves energiafogyasztását EJ-okban mérjük. Például a világ társadalmainak 2021. évi összes energiafogyasztása mintegy 174 ezer TWh, azaz kb. 624 EJ, Magyarországé pedig 282 TWh = 282 ezer GWh, azaz jó közelítéssel 1 EJ körül volt.

Elsődleges (ún. primer) energiahordozóknak nevezzük a természetből közvetlenül származó energiahordozókat. Ilyenek a prométheuszi (fosszilis) energiahordozók (szén, kőolaj, földgáz), a nukleáris energia (jelenleg csak maghasadási, azaz fisszilis energiahordozók, pl. urán; a fúziós energia alkalmazása várat magára), és a természeti folyamatok megcsapolásából származó (ún. megújuló) energiahordozók (víz, hullám- és árapályerőmű, szél, nap, biomassza stb.) Az ún. másodlagos (szekunder) energiahordozók kivétel nélkül valamilyen elsődleges energiahordozóból származnak. Az elektromos áram, a kőolajleparlás termékei (gázolaj vagy dízelolaj, benzin, petróleum, pakura), a szénleparlás (a levegő kizárása mellett történő hevítés) termékei (koks, széngáz), a sűrített levegő, a hidrogén és a biogáz mind másodlagos energiahordozók. Az elsődleges energiaforrásokban meglévő energia átalakított formáját, a másodlagos energiát el kell juttatni a felhasználóhoz. Ez a feladat óriási energiarendszerek (villamos-, földgáz- és kőolajvezetékek) kialakításához vezetett, amelyek további kiépítése, állandó fejlesztése, folyamatos karbantartása, egyszóval hosszú távú és megbízható működtetése elsődleges társadalmi feladat.

A termodinamika első főtétele lényegében a mechanikai energia-megmaradás kiterjesztése. Arról szól, hogy az energia nem semmiből, hanem egy másik energiából lesz. A termodinamika második főtétele meghatározza azt a hatékonysági korlátot, amivel energia átadódhat. A mechanikai energia, a gravitációs energia, az elektromos energia, a fényenergia elvileg száz százalékban átalakítható hőenergiává, azonban a hőenergia (üzemanyagok elégetése, magreakciók, napsugárzás) csak sokkal kisebb (Carnot) hatásfokkal alakíthatók másfajta energiákká.

A helyhez kötött kis- és nagyfogyasztók energiaellátása villamos energiával történik, mert vezetékkel ez nagy távolságra szállítható. A villamos energia ún. másodlagos energia, amit a villamosenergia-hálózat forráshelyein különféle elsődleges (primer) energiahordozókból állítják elő, és a vezetékeken át juttatják el a fogyasztókhoz. Leginkább szénből és földgázból, vízenergiából és nukleáris energiából állítják elő. (Csak kis részben kőolajból, mert annak lepárlási termékeit inkább közlekedési hajtóanyagként és ipari nyersanyagként hasznosítják.) Geotermikus energiából is lehetséges villamos energiát előállítani, de csak különleges természeti feltételek fennállása esetén. A biomasszából történő villamosenergia-előállítás minősítetten természetpusztító. A tények egyértelműen mutatják, hogy a nap- és szélenergiából előállított villamos energia elektromos hálózatba küldése a teljes villamosenergia-hálózatban egyre elviselhetlenebb ingadozásokat okoz, ami csak póterőművel és átmeneti energiatárolással mérsékelhető, de az energiatárolás lehetőségei korlátozottak. Az időjárásnak, illetve a napszakok és évszakok váltakozásának kitett megújulókból a villamosenergia-ellátást csak víztározók révén (az energia potenciális energiává alakításával) lehetséges egyenletesebbé tenni. Az egyéb megoldások (akkumulátor, hidrogén) anyag-és energiaigénye irreálisan nagy. A tényekből levonható tehát az a következtetés, hogy a konvencionális energiahordozók teljes felváltása zöld energiával: lehetetlen.

Az elsődleges (primer) energiák természetből való előállításával (kinyerésével, begyűjtésével, befogásával) kapcsolatos környezeti hatások a Föld belsejéből származó energiák esetében bányászatot, az ún. megújulók esetében jellemzően felszín-átalakítást jelentenek. Tekintve, hogy a megújulók teljesítménysűrűsége alacsony, meglehetősen nagy természeti területek átalakításáról is szó lehet. A befogáshoz szükséges egyes eszközök gyártásához ugyancsak elengedhetetlen a bányászat: a szélturbinák és napelemek gyártása intenzív ritkaföldfém-bányászatot és -kohászatot feltételez. Az elsődleges energia átalakítása másodlagos energiává az energiaforrás fajtájától függően nagyon specifikus. A fosszilis energiafajták villamos energiává történő alakításának első lépése például vegyi reakció (égés), amelynek révén hő és szén-dioxid – szénhidrogének esetében víz is – keletkezik.

A hőből – korlátozott hatásfokkal – villamos energia lesz. A fisszilis (maghasadási) energia hővé, majd ezt követően – adott hatásfokkal – villamos energiává alakul. Emisszió ebben az esetben nincs, de gondoskodni kell a radioaktív hulladék tárolásáról. A másodlagos energiának „fogyasztókész” (harmadlagos, ún. terciér) energiává alakítása (azaz a fogyasztási helyre való eljuttatása tengeri és szárazföldi fuvarozás, illetve cső- és távvezetékes szállítás révén) szintén környezetterhelő. A terciér energia hasznos energiává átalakítása hő keletkezésével, a végfelhasználás (mechanikai munka, hő, fény) pedig közvetlen környezeti behatásokkal jár. A primer energia legnagyobb része összességében – a tökéletlen energiaátalakítási hatásfokok miatt – hő formájában kerül a környezetbe. A hasznos energia – amely ezidáig elegendő volt a kontinensfelszín körülbelül felének átalakítására – magában foglalja a mindennapi élet energiaigényét, az áruszállítást, az építkezéseket stb.

A CO₂-kibocsátás (ami a természeti folyamatok közül az üvegházhatásba való emberi beavatkozás mértékét kívánja becsülni) valóban egyike a környezeti hatás lehetséges mérőszámainak, de ezen kívül – amint láttuk – még ezernyi más (víz-, talaj-, levegőszennyezést és egyéb természetátalakító következményt) szempontot is célszerű lenne figyelembe venni.

A fenti összefoglaló [A1.3-10] figyelembevételével készült.

Az 1. függelékhez felhasznált irodalom:

- A1.1. <https://www.solarschools.net/knowledge-bank/energy/types>
- A1.2. <https://ourworldindata.org/grapher/long-term-energy-transitions?country=~DEU>
- A1.3. Kiss Á 2020: Fenntartható energiaellátás Csalások, csúsztatások, Csalafintaságok a tudományban (Szerk. Tardy J), MTT.
- A1.4. Szarka L 2010: Szempontok az energetika és környezet kapcsolatához. Magyar Tudomány 171:(8) pp. 979-989.
- A1.5. Szarka L 2017: A mai globális környezeti kihívások függetlenek az éghajlatváltozás éppen aktuális tendenciájától. Magyar Tudomány 178, 2017, 5, 680-687. <http://www.matud.iif.hu/2017/06/07.htm>
- A1.6. Szarka L 2017: Energia- és környezetbiztonsági kérdőjelek: Biztonsági kihívások a 21. században. pp. 247-276, Dialóg Campus Kiadó.
https://www.academia.edu/79240654/Biztons%C3%A1gi_kih%C3%ADv%C3%A1sok_a_21_sz%C3%A1zadban
- A1.7. Bíró T 2022: Energia: mennyi, hogyan, mikor, mennyiért? Egy fizikus kommentárjai (Kézirat).
- A1.8. Korényi Z, 2022: Erőművek életciklus alapú komplex értékelése. Magyar Energetika, 2022/2, 2-14.
- A1.9. Vajda Gy 2001: Energiapolitika. Magyarország az ezredfordulón. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest. ISBN 963-508-271-1.
- A1.10. Reményi K. 2009: Az energiastratégia sarokpontjai, Magyar Tudomány 170, 3, 323-333.

II. függelék: Néhány energiapolitikai javaslat Magyarország számára

Magyarország földtani természeti erőforrásokban nem szegény ország [A2.1]. A hazai nyersanyag- és energiahordozó-kutatási és -termelési idősorok nem a természeti és technológiai lehetőségektől, hanem különféle elhatározásoktól függenek. Mindegyik konvencionális természeti energiahordozó-termelésben vannak valós lehetőségeink. Elengedhetetlen – akár hazai, akár import nyersanyag felhasználásával – konvencionális alapú erőművek építése, ideértve, sőt előtérbe állítva az atomerőmű(ve)ké is. Megmaradásunk múlik a biztonságos energiaellátáson. Két félbehagyott erőmű (a bicskei hőerőmű és a bős-nagymarosi vízerőmű) és egy harmadik (Paks II) körüli vita arra figyelmeztet, hogy a gazdagság eltérése szegénységet okozhat.

Az Északi Áramlat 1 és 2 vezeték elleni terrorakció gyökeresen meg fogja változtatni a világ és benne Magyarország folyamatos, biztonságos, és megfizethető energiával való ellátására vonatkozó energiapolitikai törekvéseket, elképzeléseket, ami kihat az egész gazdaságra úgy globális, mint lokális szinten. Ez az esemény ugyanis átlépett egy, még a hidegháború legsötétebb éveiben is hallgatólagosan elfogadott, tiszteletben tartott határvonalat: a (nemzetközi) energia-kitermelés, -szállítás, -szolgáltatás infrastruktúra- (vezeték-)rendszereinek sérthetlenségét. Ezzel továbbá a folyamatos, biztonságos, és megfizethető energiaellátás illúziója. Innen már csak idő kérdése: ki és mikor vesz célba egy (tengeri) fűrótoronyt, bányalétesítményeket, távvezeték, LNG- vagy olajszállító tankereket, kikötői létesítményeket, LNG-terminálokat, elektromos távvezetéseket vagy akár (atom) erőműveket [A2.2].

Ennek következtében ki kell mondanunk, hogy csak az idehaza kitermelhető fosszilis energiahordozókhoz való hozzáférés garantálható – megfelelő belbiztonsági védelem mellett. Ezért fel kell mérni:

- a már (energia)termelő egységek rövidtávon megvalósítható termelési kapacitás növelésének technikai lehetőségét és költségeit (igen/nem bináris rendszerben a „gazdaságosság” nem értelmezhető),
- a középtávon a korábban tervezett, de különböző okokból ejtett kőszén- és CH-kutatási és -termelési elképzelések reaktiválásának lehetőségét.

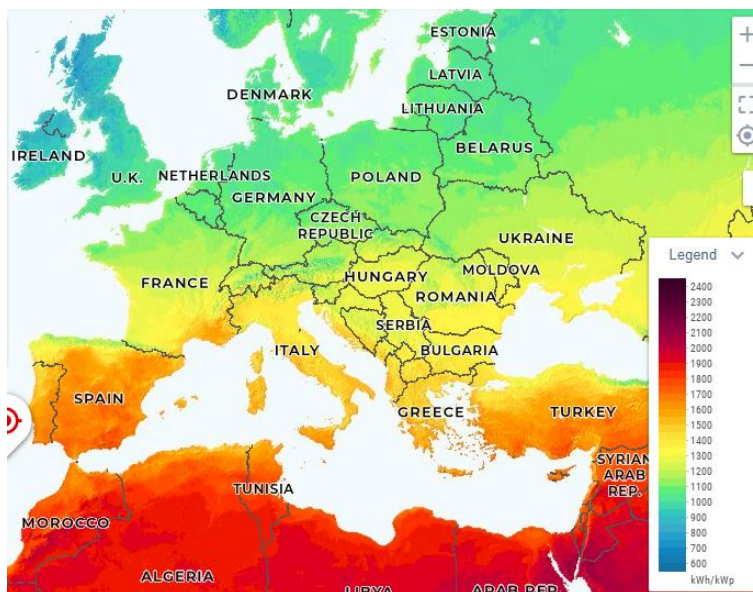
Javaslatot kell tenni:

- új, hazai és regionális földtani példák alapján perspektivikus kőszén- és CH-előfordulási helyek, földalatti alakulatok mielőbbi megkutatására,
- az egyéb, alternatív energiaforrások megvalósíthatóságának és hatásuknak újragondolására.

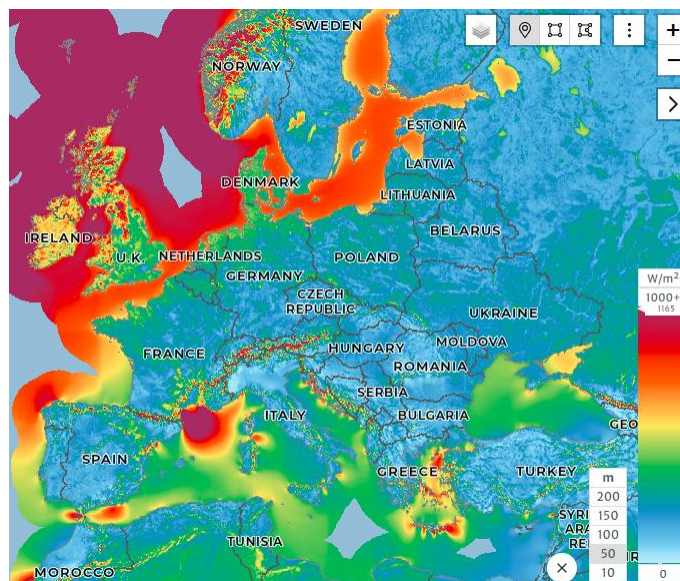
Egyébiránt fel kell készülni arra az esetre is, hogy *a megvalósíthatósági és hatástanulmányok nélkül és irreálisan rövid határidőkkel kikényszerített elképzelések a háborús és terrorcselekmények károkozásával vetekedő következményekkel fognak járni.*

Az ún. megújuló terén mutatkozó természeti lehetőségeinket illetően is a józan ész követve kell élni. A vízenergia terén egy teljes, politikamentes újragondolás kínálkozik lehetséges legfontosabb célkitűzésként. Az egyéb megújuló energiák terén pedig a helyi felhasználás szorgalmazása. Villamosenergia-hálózatra szél- és naperőművi energiát csak a víztározó-kapacitás mértéig indokolt rákötni. A geotermikában a nagyvíví fejlesztési tervek árnyékában nem mondhatunk le a pazarlás megszüntetéséről.

A józan döntéselőkészítés eredetiségre törekvő patrióta szellemi potenciált igényel (a kutatás-fejlesztés és a technológia terén egyaránt), és nem a globális divatok és elvárások követését. A nap- és szélenergia magyarországi lehetőségeit a következő ábrán mutatott valóságból kiindulva érdemes megítélni.



A2.1. ábra: Magyarország napenergia-lehetőségeinek összevetése más országokéval és régiókéval [A2.3].



A2.2. ábra: Magyarország szélenergia-lehetőségeinek összevetése más országokéval és régiókéval [A2.4].

A II. függelékhez felhasznált irodalom:

A2.1. Verbőczy J: 2022: A bányászat helyzete. Kézirat.

A2.2. Bérczi I 2022: Gondolatok a PBK Energia Munkacsoport 2022.11.14.-i ülésére.

A2.3. <https://globalsolaratlas.info/map>

A2.4. <https://globalwindatlas.info/en>

III. függelék: Mobilitás

A motoros jármű az energiaforrást (szekunder szénhidrogént) általában magával viszi, és a folyamatos mobilitást kiépített üzemanyag-ellátó hálózat biztosítja. Az elektromos közlekedésben kifejlesztendők a mobilenergia-tárolás eszközei. Az újratöltés megkívánja az elektromos energiatermelési, szállítási és töltési infrastruktúra teljes kiépítését. Az elektromobilitás lakott területeken a károsanyag (szálló por, NO_x, stb.) kibocsátás mérséklése okán hasznos és indokolt, csak hogy a hatékony elektromos energiátárolás megoldatlan.

Az elektromos energia tárolása a szállítandó tömeg megnövekedését jelenti.

A benzin égéshője (Higher Heating Value, HHV): 13 kWh/kg; a hidrogén égéshője (HHV): 39,4 kWh/kg; a benzin sűrűsége: 750 kg/m³; a hidrogén sűrűsége 15°C-on: 0,0841 kg/m³ (1 bar nyomáson); 24 kg/m³(350 bar); 40 kg/m³ (700 bar). Ezért a hidrogént nagynyomású palackokban forgalmazzák. Ha 100 liter térfogat hőtartalma (HHV) benzin esetén 975 kWh/100 l, hidrogén esetén (700 bar) 158 kWh/100 l. Tehát az autóban azonos térfogatot lefoglalva, a hidrogén a benzinnel képest 16%-nyi energiát hordoz. (Ha a benzinmotor 35% hatásfokú, a tüzelőanyag-cella pedig 70%, akkor hidrogén esetén a benzinnel képest kb. egyharmadnyi utat tehetünk meg tankolás nélkül.)

A szénhidrogénmentes, általános elektromos közlekedési-koncepció erőltetése: irreális.

A III. függelékhez felhasznált irodalom:

A3.1. Bársony I, 2020: Fenntarthatóság – fenntartásokkal, Magyar Tudomány 181, 7, 948–967.

A3.2. Hanula B 2021: Fenntartható fenntarthatóság. Magyar Tudomány 182, 3, 353–360.

A3.3. Korényi Z. 2023: szóbeli közlés.

IV. függelék: Gondolatok a „karbonsemlegesség”-ről

Sajnos kevesen tudják, hogy amikor a növények a levegő szén-dioxidját a fotoszintézis folyamán megkötik, akkor a szén-dioxidból kivont szenet – minden ismert élet alapját – a szervezetükbe beépítik, asszimilálják. Minden, ami körülöttünk él vagy élt, javarészen szén-dioxidból lett – mi magunk is –, és idő múltán minden szerves anyag bomlással, égéssel ismét szén-dioxid lesz [A4.1].

Az elképzelés, hogy az Európai Unió 2050-re karbonsemleges lesz, hibás és megtévesztő. Manapság több mint tizenkétmillió széntartalmú, azaz szerves vegyület ismert. Ezek építik fel az élő szervezeteket (ember, állat, növény). A szén a természetben állandó körforgásban van. A zöld növények megkötik a levegő szén-dioxidját, szerves anyagokat építenek belőle, de az elpusztult növények és állatok lebomlanak, és bomlási termékeiket, köztük a szén-dioxidot visszajuttatják a természetbe. Az óceánok elnyelik a levegő szén-dioxidját, de megváltozott körülmények (például a hőmérséklet emelkedése, a légnyomás csökkenése) esetén a szén-dioxid kioldódik a vízből. A körforgásra vonatkozó példákat még lehetne folytatni, de a lényeg: a szén biogeokémiai körforgása a földi élet létrejöttének és fejlődésének alapvető feltétele. Ezért *karbonsemlegesség nem létezik. Nem azért, mert ez a propaganda szerint klímatagadónak nevezett emberek rögeszméje, hanem mert ez a természet törvénye* [A4.2].

Amit manapság értenek a karbon (és a sok zavaros karbon-előtag) alatt, az távol áll a magyar nyelvben használt jelentésétől. A karbon ugyanis – így, *k* betűvel – a 359 millió évvel ezelőtt kezdődött és 299 millió évvel ezelőtt véget ért földtörténeti időszakot jelenti. Esztelen angolosodás következménye, hogy ma a szenet értik alatta (angolul: carbon, latinul: carbo, a nyelvújításkor: széneny). A szén az elemek periódusos táblázatában a hatodik elem, a hidrogén, a hélium és az oxigén után a Naprendszer negyedik leggyakoribb eleme.

A Föld teljes széntartalma közel járhat az 1 százalékhoz (egy 2021-es külföldi tanulmány becslése alapján 600–6000 ppm, azaz 0,06-0,6 százalék, a debreceni Futó Péter szerint könnyen lehet 0,8-1 súlysúlyszázalék). Amennyiben a Föld belseje és a légkör nincs egymástól elszigetelve (márpedig nincs, hiszen még a gyémántbányák is a mélyből kerültek a felszín közelébe), nehéz ellenállni egy álnaiv kérdés feltételének: mi a bajunk a 0,042 százalék (420 ppm) légköri szén-dioxid-koncentrációval? [A4.3]

A légköri szén-dioxid-koncentráció növekedésére alapozott klímamodellek állításainak a fele sem igaz. A modellek ugyanis a valóságban megfigyelhető melegedés legalább kétszeresét mutatják. Egyáltalán nem biztos, hogy az éghajlatváltozás legjelentősebb okozója a légköri szén-dioxid-koncentráció növekedése. Sőt még a légköri szén-dioxid-koncentráció emelkedése is csak részben tulajdonítható az embernek. Ideje volna már észrevenni, hogy a szén-dioxid-kibocsátás negatív éghajlati hatása kétséges, pozitív biológiai (mezőgazdasági, kertészeti) hatása viszont bizonyos. Az éghajlattal bármikor bármi történhet, de annak oka nem a szén-dioxid lesz. Nekünk, embereknek a szén-dioxid áldás és nem átok. [A4.3]

A IV. függelékhez felhasznált irodalom:

A4.1. Mőcsényi M 2008: CO₂ – H₂O – Táj, <https://www.bitesz.hu/co2-h2o-taj/>

A4.2. Simon G 2021: A klímapropaganda következményei, avagy ne szüljünk gyereket? Magyar Hírlap, 2022. április 12. <https://www.magyarhirlap.hu/velemenyt/20210412-a-klimapropropaganda-kovetkezmenyei-avagy-ne-szuljunk-gyereket>

A4.3. Szarka L. 2022: A karbonmentesség darázsfészke. Magyar Hírlap, 2022. január 12. <https://www.magyarhirlap.hu/velemenyt/20220112-a-karbonmentesseg-darazsfeszke>

V. függelék: A szénhidrogének kiváltása

Két olajipari (ex-Halliburton) szakértő szikár számadatokon alapuló elemzése [A5.1] és az abból levont következtetések, előrejelzések [A5.2] nem vágnak egybe napjaink túlideologizált, „sötétzöld” energia jövőképevel, különösen nem annak elképzelt időbeli ütemezésével. Annak ellenére, hogy nem opponálják az antropogén CO₂ kibocsájtást démonizáló klímaváltozás modelleket. Anélkül, hogy kimondanák a hiányolt megvalósíthatósági- és hatástanulmányokat pótlendő tényeket, egyszerűen számításokat sorolnak fel. Megállapításaik:

- Jelenleg a világ 7758 millió tonna olajegyenérték energiafogyasztásának 80%-a származik fosszilis energiahordozókból. 54%-ot tesz ki a kőolaj és földgáz, 26%-a kőszén különböző fajtáiból keletkezik. A fenti „sötétzöld” elképzelések alapján ezt kellene nagyon gyorsan (!) kiváltani kis energiasűrűségű és teljesítménysűrűségű energiaforrásokkal.
- Számításaik szerint: a globális energiafogyasztás a Covid előtti utolsó évet (2019) figyelembe véve 7758 millió tonna olajegyenérték. Ennek kiváltásához 737 új atomreaktor, 12 óriás vízierőmű, 5,8 milliárd m² -nyi modern szabványos napelem, 1,1 millió szélkerék és 49481 nagy geotermikus erőmű kellene. Ebben nincs benne az évi 3838 millió tonnás kőszéntermelés kiváltása és a vegyipari alapanyagként szereplő kőolaj és földgáz.
- A Nemzetközi Energia Ügynökség becslése szerint a napelemek, szélkerekek építéséhez szükséges lítium mennyisége 20 év alatt a mai igény 4200%-ára nő. Hasonlóan óriási igénynövekedés várható a grafit, kobalt réz piacán is. A palládiumról, platináról nem is szólva.
- Nem kétséges tehát, hogy a szénhidrogének az elkövetkezendő évtizedekben is jelentős részét adják majd az energia-mix-nek, mert a nagy energiasűrűségű energiahordozókat a kisebb energiasűrűségű, de alacsony karbon-kibocsátású kiegészítő energiaforrásokkal nehéz lesz helyettesíteni, rövidtávon különösen.
- A zökkenőmentes átmenethez – ha egyáltalán lesz ilyen – 2020-2050 között ~1 billió hordó kőolajra, ~5 billió köbláb földgázra van szükség. Ebből 284 milliárd hordó kőolajat (= egy „második” Szaud-Arábia) 2170 billió köbláb földgázt (egy „második” Oroszország) ezután kell felfedezni olyan „előnyös” előfordulásokból, amelyeknek kutatása, termelésbe állítása, termeltetése minimális CO₂-kibocsátással jár. (Ezek az ún. előnyös előfordulások nagy rétegvastagságú, nagy áteresztőképességű, homogén tárolóközetekben található, természetes rétegenergiával, azaz mélyszivattyúzás és kapcsolódó CO₂-kibocsátás nélkül kitermelhető olaj- és gázlelőhelyek – ami csak a mesékben létezik.

A tudományos megalapozottságát, megvalósíthatóságát és kihatásait tekintve sokak által kétségbevitelt elképzelések ugyanis gigantikus pénzügyi forrásokat kötnének le. *Lehet, hogy számaik nem pontosak. De legalább megbecsültek valamit, aminek alapján lehet vitatkozni a világ eddig jól működő energia-infrastruktúráját gyökeresen és irreálisan rövid időn belül átalakítani akaró szándékról, ahelyett, hogy kötelező lenne elfogadni.*

Az V. függelékhez felhasznált irodalom:

A5.1. Davies A, Simmons M 2022: The Role of the Hydrocarbons in the Energy Transition, AAPG Explorer, v.43, No. 8., August 2022 pp. 20-22.

A5.2. Bérczi I 2022: Gondolatok a PBK Energia Munkacsoport 2022.11.14.-i ülésére. (Kézirat)

VI. függelék: Ásványi nyersanyagszükséglet

A megújuló forrásokra való teljes átálláshoz szükséges (ritka) fémes nyersanyagok mennyiségét vizsgálva a Finn Földtani Szolgálat vaskos (1000 oldalnyi) tanulmánya szerint a fosszilis tüzelőanyagok kivonása a század közepére lehetetlen [A6.1]. A fosszilis energiahordozókat leváltani tervezett megújuló energiaforrások egyetlen generációjának (20-25 év) előállításához és működtetéséhez szükséges (ritka)fém- és grafit-igény ugyanis sokkal nagyobb, mint a jelenleg ismert kitermelhető vagyonok. Az EU elemzőket ezek az adatok sokkolták, amikor Michaux, S.M. szembesítette őket a fenti részletekkel. Legnagyobb megdöbbenésére a „tervezéskor” érintettek nem vizsgálták az „Átmenet”-hez szükséges anyagok rendelkezésre álló mennyiségét: „úgy gondolták”, hogy a kritikus fémek elérhetőek lesznek [A6.2].

A6.1. táblázat

(Ritka) Fém	Jelenlegi vagyon, millió tonna	Átmenet igénye, millió tonna	Ismert kitermelhető vagyon/igény
Réz	880	4576	0,19
Nikkel	95	941	0,10
Lítium	95	944	0,10
Kobalt	219	8	0,04
Grafit	320	8974	0,04
Vanádium	24	682	0,04

Nem elhanyagolható a jövőt tervezők számára az sem, hogy mennyi szokványos építési anyag szükséges egy-egy átlagos nagyságú erőműtípus létesítése esetében (tonna/erőmű):

A6.2. táblázat (t/MW-ra és élettartam t/MWh-ra számított adatokat az A1.8 tartalmaz)

Anyag/Erőmű	Nukleáris, t/erőmű	Szélerőmű, t/erőmű	Napelem, t/erőmű
Alumínium	0	35	680
Acél/vas	165	1920	3309
Beton/Cement	760	8000	4050

A tervezett új, teljesen megújuló alapú energiarendszer kiépítéséhez, működtetéséhez globális szinten 586.000 új, átlagos méretű, nem fosszilis tüzelésű erőmű szükséges. Jelenleg mindössze 46.000 van, ami azt jelenti, hogy a jelenlegiek 10-szeresét kell felépíteni. Ebből lehet következtetni az átállás időigényére. Mindezek ismeretében fel kell tenni két kérdést:

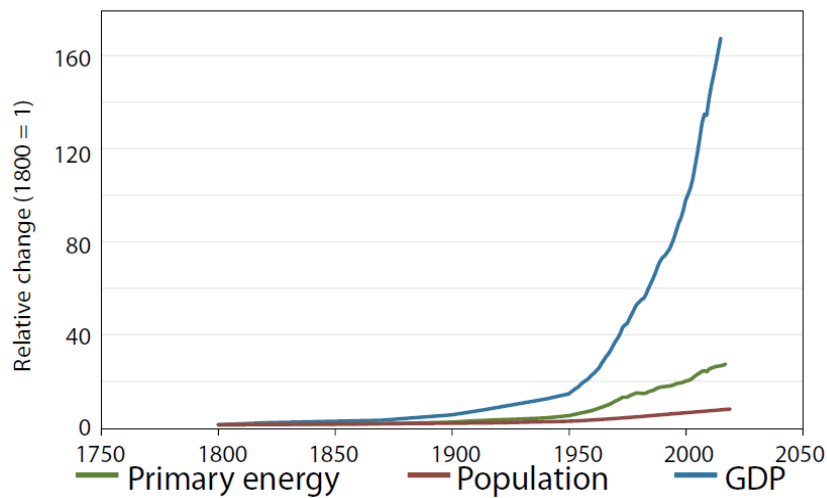
- Miért kell, hogy a „dekarbonizáció” jelszava alatt egy még sehol ki nem próbált, kis hatékonyságú elemekből összeállított, (ennél fogva) törékeny, mérhetetlenül költséges, új rendszert építsen ki a világ drágán, példátlan adósságokba verve szuverén országokat?
- Miért kell megvalósíthatatlanul rövid határidőn belül lemondani a fosszilis energiahordozókon alapuló, hosszú évtizedek óta megbízhatóan működő, kiegyensúlyozott ipari ökoszisztémáról, amelynek felépítése több mint egy évszázadba telt, és csak a világ valaha ismert legmagasabb fűtőanyag-sűrűségű és olcsó energiaforrása (kőolaj- és földgáz) segítségével volt lehetséges?

A VI. függelékhez felhasznált irodalom:

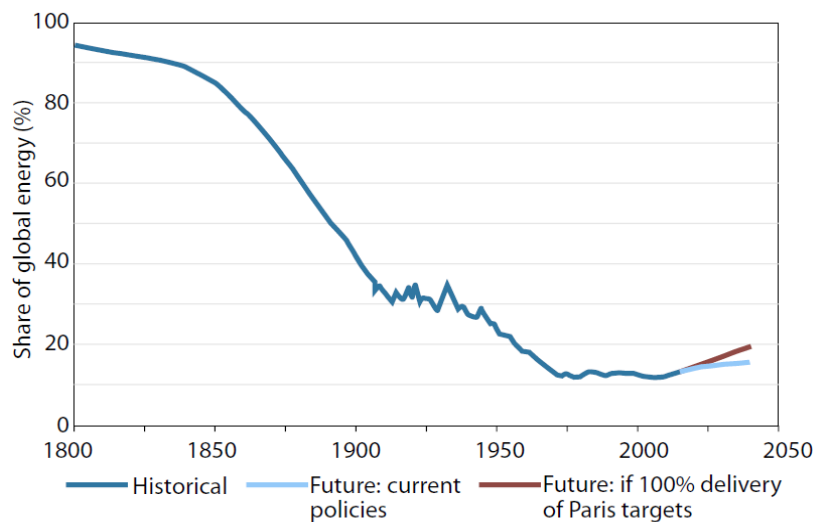
A6.1. Michaux S M 2021: Assessment of the Extra Capacity Required of Alternative Energy Electrical Power Systems to Completely Replace Fossil Fuels, Geological Survey of Finland, Bureau of Mineral Intelligence, 1000p.

A6.2. Hunziker R 2022: Is There Enough Metal to Replace Oil?; Counterpunch, 23. Aug. 2022.

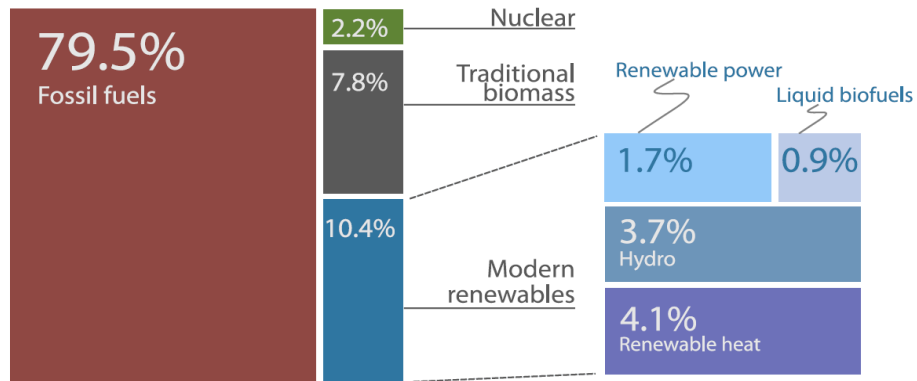
VII. függelék: Michael Kelly: Energia-utópiák és a mérnöki realitás c. előadásának néhány illusztrációja



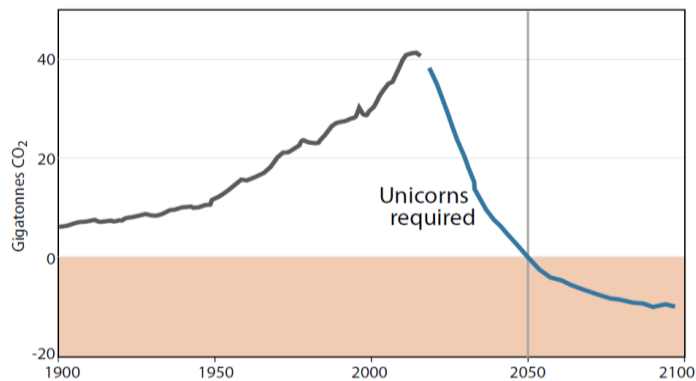
A7.1. ábra (2. ábra): Az energia és a GDP növekedésének korrelációja. Relatív változás (1800: 1).
Zöld: priménergia, piros: népesség, kék: GDP.
[A7.1] által megjelölt forrás: Our World in Data.



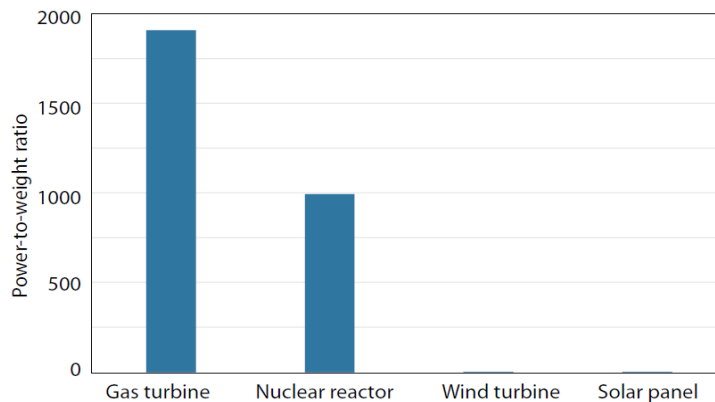
A7.2. ábra (4. ábra): A megújuló energiák arányának csökkenése, 1800–2000. És újbóli emelkedése?
Sötétkék: történelmi; világoskék: a jövő, a jelenlegi klímapolitika esetén; barna: a jövő, a Párizsi Célkitűzések 100%-os megvalósítása esetén. [A7.1] által megjelölt forrás: <http://cait.wri.org/profile/World>.



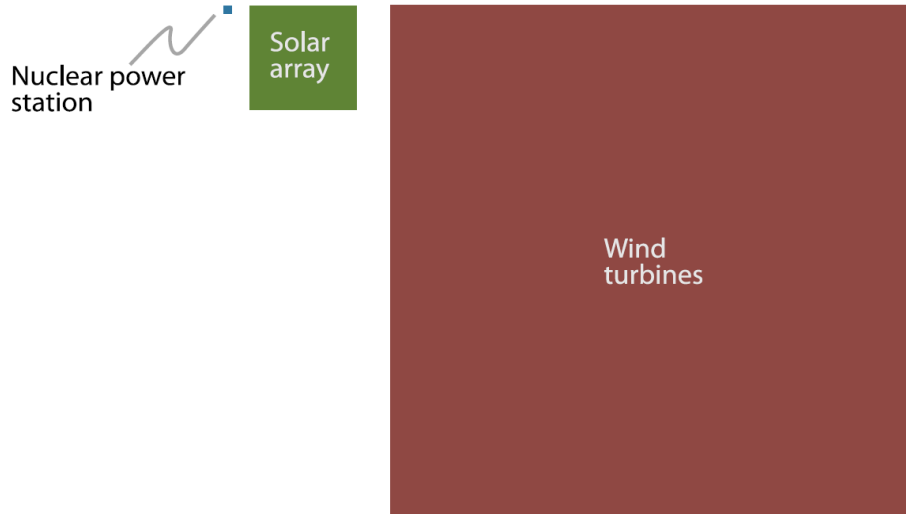
A7.3. ábra (5. ábra): A modern megújulók hozzájárulása a világ energiaellátásában mérsékelt. 79,5% fosszilis üzemanyag, 2,29% nukleáris, 7,8% hagyományos biomassza, 10,4% modern megújulók, közelebbről 1,7% megújuló energia, 0,9% folyékony bioüzemanyag, 3,7% vízenergia, 4,1% megújuló hő. [A7.1] által megjelölt forrás: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/GSR2017_Highlights_FINAL.pdf



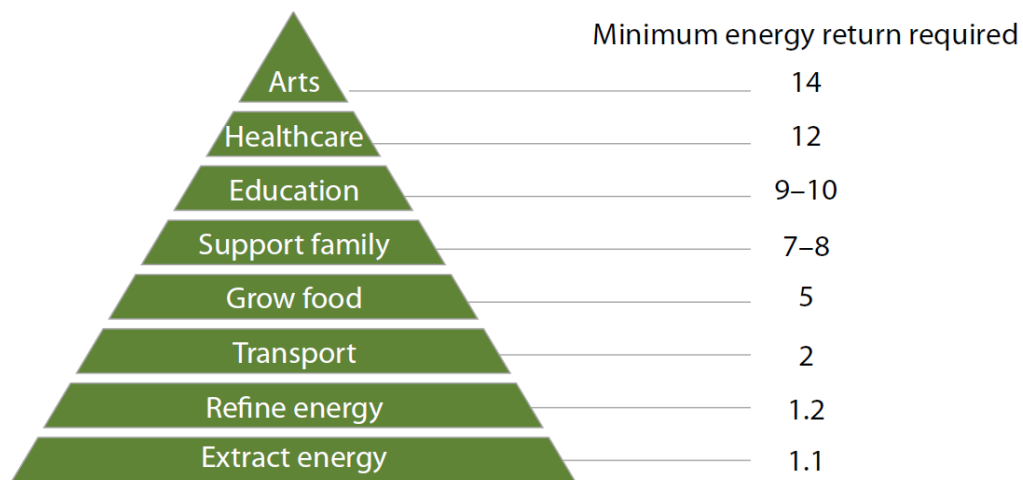
A7.4. ábra (6. ábra): A feladat nagyságrendje (csodatevő egyszarvúak kellenének hozzá: „unicorns required”). [A7.1] által megjelölt forrás: After Glen Peters, https://www.slideshare.net/GlenPeters_CICERO/can-we-keep-global-warming-well-below-2c.



A7.5. ábra (12. ábra): Egységnyi tömegre jutó teljesítmény különféle technológiák (gázturbina, nukleáris reaktor, szélturbina, napelem) esetén [A7.1]



A7.6. ábra (13. ábra): 225 MW teljesítményű erőművek (atomerőmű, napelemek, szélturbinák) területigényei.
[A7.1] által megjelölt forrás: David MacKay adatai.



A7.8. ábra (14. ábra): Az emberi jóléthez szükséges energiamegtérülés. Lentről felfelé: energianyerés, energiafinomítás, szállítás, élelmiszertermelés, családfenntartás, oktatás, egészség, művészetek.

[A7.1] által megjelölt forrás: Pedro A Prieto and Charles A S Hall, Spain's Photovoltaic Revolution: The Energy Return on Investment, Springer 2013.

A VII. függelékhez felhasznált irodalom:

A7.1. Kelly, Michael: Energy Utopias and Engineering Reality. The Global Warming Policy Foundation. 2019 GWPF Annual Lecture. London, 11 November 2019:

<https://www.thegwpf.org/prof-michael-kelly-energy-policy-needs-herds-of-unicorns/>.

Eredeti (angol) pdf: <https://www.thegwpf.org/content/uploads/2019/11/KellyWeb.pdf>

A teljes előadás elérhető magyarul:

<https://www.enpol2000.hu/dokumentumok/eladas/article/Dokument%C3%A1ci%C3%B3k/Dokumentumok/13-EI%C5%91ad%C3%A1s/851-klimapolitikai-eloadasok-londonbol-magyarul>

és a <https://pbk.info.hu> honlap „PBK Fórum” oldalán.