

Atomenergia és fenntartható fejlődés

Molnár Szabolcs

PÖYRY Erőterv Zrt.

1094 Budapest, Angyal u. 1-3. tel.: +36 1 455 3600

Kihívások előtt állunk. Napjainkban egyre fontosabbá válik a fejlődés fenntarthatóságának biztosítása, melynek egyik előfeltétele a megfelelő mennyiségű és minőségű energia rendelkezésre állása. Ennek szellemében az „energia és a környezet” fogalmak szoros kapcsolatban kell, álljanak, mely kihívások elé állítja az emberiséget.

Hogyan épül(jön) fel egy ország energia rendszere? Mi az ideális összetétele az energiamixnek? Mekkora szerephez jutnak az atomerőművek? Valóban a szén-dioxid okolható a globális felmelegedésért? Ezek mind nagyon érdekes és fontos kérdések, mely kérdések körüljárására és a lehetséges válaszok keresésére érdemes időt fordítani.

Bevezetés

Manapság igen elterjedt a közbeszédben, a sajtóban fenntarthatóságról, fenntartható fejlődésről beszélni. Történelmi távlatokban, az energetikában - ahogyan az élet más területein is - a növekedés üteme szinte felfoghatatlanná vált. Amíg a neolitikum¹ elején élt ember naponta mintegy 15 MJ energiát használt fel, addig napjainkban az iparilag fejlett országok állampolgára ennek mintegy 70-szeresét, hozzávetőleg 1050 MJ energiát él fel [1].

A középkor végéig, sőt egészen az első ipari forradalomig, az emberiség ezt a felhasznált energiát szinte 100%-ban megújuló energiaforrásokból állította elő: az emberi izomerő, az állatok ereje, a vízi közlekedésben, a hajóknak szél által „meghajtott” vitorlák biztosították az energiát.

Az energia előállításának-fogyasztásának az ipari forradalommal kezdődő ugrásszerű növekedését jól példázzák a következők: az emberi test tartósan hozzávetőleg 150-200 W teljesítményre képes. Az ipari forradalom után, az 1800-as években, a gőzgép hatásfokának 1%-ról 5%-ra emelkedésével egyetlen gép már 100 ember munkájának megfelelő, 20 kW nagyságrendű teljesítményre volt képes.

Jelen írásomban elsősorban a villamos energia átalakítás struktúrájának szemszögéből kívánom bemutatni a fenntartható fejlődést, hiszen a fejlődés a villamos energia termelés-felhasználás „szemüvegén keresztül” is óriási mértékű. Napjainkban a fejlett országok polgárai mintegy 20 „energiarabszolgát” dolgoztatnak az igényeik kiszolgálására. Az év 8760 órájában 20 ember munkájának megfelelő energiát használnak fel folyamatosan. Mindennapi életünk energiarabszolgái a villamos energiát fogyasztó eszközök, mint például a TV, a porszívó, a mikrohullámú sütő, számítógép és még számos más eszköz [2].

Fenntartható-e a fejlődés?

Az energetika - és az energetikai-környezetvédelem - jelenét, jövőjét alapjaiban határozza meg az, hogy a fentiekben érzékeltetett mérhetetlen nagy fejlődés meddig tartható fenn.

A rendszerszemléletű gondolkodás megköveteli tőlünk, hogy komplexen kezeljük az energetikai kérdéseket, ezért a mennyiségi és minőségi kérdéseket egyaránt vizsgálunk kell. Az elemző vizsgálatunkat a termodinamika első két főtételének segítségével tesszük meg. Ezek a tételek ugyanis a fenntartható fejlődést illetően véges lehetőségekről, korlátokról beszélnek.

A fejlődés gazdasági növekedést generál, amely termelő kapacitás bővüléssel jár. Az energia „termelése” során olyan energia átalakításról beszélünk, melynek során a különféle energiahordozókból a fogyasztók számára megfelelő formában felhasználható energiát állítunk elő. Ilyen energia a villamos energia, mely a primer energiahordozók célszerűen átalakított közvetítő formája [3].

A termodinamika I. főtétele (a megmaradási törvény) alapján az energiaigényünk kielégítésére szolgáló energia átalakításnak egyebek mellett az alábbi két hatása van [4]:

- 1.) energiát és anyagot igényel a környezettől,
- 2.) növeli a környezet terhelését, csökkenti (hulladék) asszimiláló képességének tartalékait.

Tehát minden fejlődés és a fejlődés generálta növekedés még több termelést von maga után, amelynek alapanyag és energia igénye van!

A termodinamika II. főtétele, az energia áramlásának a törvénye az entrópia törvény. Az első törvény mennyiségi korlátot jelent, a második törvény minőségi korlátokat fejez ki: Felhasználható-e a megtermelt energia?

¹ Az újkőkorszak vagy a csiszoltkő-korszak. A kőkorszak utolsó része. Az újkőkorszak a földművelés kialakulásával kezdődött és a fém alapú eszközök elterjedésével ért véget.

A fenntartható fejlődés fogalmának használatánál meg kell különböztetni az egész Földre vonatkozatható általános megállapításokat, és a mi régiónkra (illetve a mi hazánkra) jellemző szempontokat. Amíg például a fejlődő országoknál elsősorban a mennyiségi kérdések jelentik az alapproblémát, addig a fejlett országoknál a minőségi kérdések állnak elsősorban a fejlődési kérdések középpontjában.

A fenntartható *növekedés* és a fenntartható *fejlődés* definíciója között különbséget kell tennünk. A termodinamikai feltételek értelmezésében a környezeti és energetikai problémák a fizikai növekedéshez – például termelésnövekedéshez – köthetők. Vagyis a fenntartható fejlődés útja nem feltétlenül jelenti a fenntartható növekedést. Sőt! Meg kell vizsgálnunk tehát azt is, hogy létezik-e olyan növekedés, mely egyáltalán nem jár kapacitásnövekedéssel, ellenben hosszabb időtávon mégis növeli a teljesítőképességet, ami a gazdasági teljesítmény fejlődését eredményezi.

Prof. Mark Sutton fogalmazása szerint a környezeti problémák megoldására, a fenntartható növekedés alábbi feltételei kell teljesüljenek [4]:

- 1.) a lakosság szám stagnál,
- 2.) az emberek alapvető szükségletei kielégítettek,
- 3.) a fizikai gazdaság környezetileg fenntartható és kibocsátásainak környezeti hatásai stagnálnak vagy hanyatlók,
- 4.) minden energia megújuló forrásokból származik,
- 5.) a gazdaság mindenfajta növekedése minőségi jellegű.

Beláthatjuk, hogy racionális gondolkodással a feltételek egyelőre utópisztikusak, hiszen:

- 1.) a világ lakossága növekszik,
- 2.) a fejlődő világ gazdaságának egyik hajtóeleme a szükségletek kielégítésére vonatkozó termelés fejlődése,
- 3.) az emissziók és ez által az immissziók sem stagnálnak, (például Kína erőműfejlesztési irányvonala),
- 4.) a megújuló energiák sem mennyiségben, sem minőségben nem képesek kielégíteni a világ energiaéhségét,
- 5.) az ötödik feltételben egyelőre csak bízni lehet.

Magyarország energiamixe – szigorú realitások mellett

A realitások vizsgálatának elemzése alapvetően abból indul ki, hogy az energiatermelés vonatkozásában milyen és mennyi a bizonytalansági tényezővel kell számolnunk. Ha egy matematikai függvényben gondolkodunk, akkor mennyi azon változóknak a száma, amelyek befolyásolják a végeredményt.

Ha ezen az irányvonalon kezdünk el vizsgálódni, akkor beláthatjuk, hogy egy atomerőműnek, egy szén-hidrogén bázisú erőműnek a „bizonytalansági faktorai” más energiaátalakítási módokkal összevetve sokkal kisebbek. Gondoljunk csak az időjárásfüggő megújuló energiák környezeti kitétségre, melyhez hasonló kitétség jellemzi a biomassza alkalmazását is, hiszen a mezőgazdasági

termelés mennyiségi hozama is nagymértékben függ az időjárási hatásoktól.

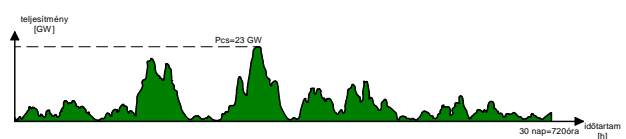
Számos diagramot, táblázatot találunk azzal kapcsolatban, hogy hogyan alakult az elmúlt időszakban az országunk villamosenergia-mixe, vagyis, hogy az egyes energiahordozók, az egyes energiatermelési módok milyen százalékos arányban vették ki a részüket a termelésből. A jövő tekintetében is különböző célkitűzéseket olvashatunk, különböző sárokszámokkal találkozhatunk – mint például a megújuló energiaforrásokból származó energiahányad –, amelyek megfogalmazzák számunkra az elérendő célokat. Az eltérő célértékek azonban felvetik annak kérdését, hogy a kitűzött értékek tudományosan kellően megalapozottak-e, illetve a célkitűzések figyelembe veszik-e a szigorú realitásokat?

Az alábbiakban tekintsünk át néhány olyan feltételt, tézist, amelyek önmagukban ugyan nem határozzák meg az energiamixet, de az ideálisnak vélt energiamix kialakítása során nem hagyhatók figyelmen kívül.

Az első tézis: kerülni kell a két párhuzamos erőműrendszer kiépítését. A nagyarányú időjárásfüggő megújuló energiák részarányával, elkerülhetetlenné vált – elsősorban szénhidrogén bázisú – a konvencionális erőműparkok üzemeltetése. Egy országos energiarendszer tekintetében gondoskodni kell tartalékképzésről. A megújuló energiaforrások térhódítása megkérdőjelezhetetlen – ez mutat a fenntarthatóság irányába –, de meg kell találni az ideális arányukat a villamos energia rendszerben. Amennyiben túl sok az energiamixben a megújuló forrásból származó részarány, úgy a tartalékképzés miatt fel kell építenünk még egy hagyományos energiaforrásokra támaszkodó erőműrendszert.

Gyakran olvashatjuk, hogy az energiatarolás fejlesztése megoldást jelenthet az időjárás függő megújuló kiszámíthatatlanságára, hiszen például egy „dunkelflaute” időszakban – szélcsendes idő, amikor a nap sem süt – a korábban megtermelt és eltárolt energiával kiszolgálhatók lennének a fogyasztók. Ez valóban egy ígéretes megoldás, de meg kell vizsgálni a tényleges potenciális lehetőségeket.

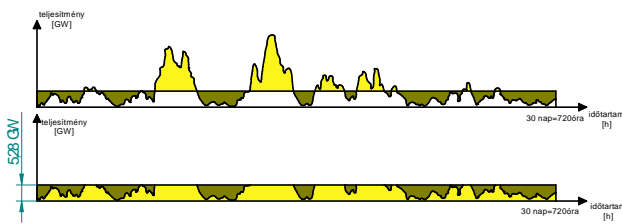
Az 1. ábrán a Német szélenergiák 2014. áprilisi termelése látható [5]. Megfigyelhető a szélenergia kiszámíthatatlansága. A csúcsteljesítmény ebben az egy hónapos időszakban $P=23$ GW volt.



1. ábra: A német szélenergiák 2014. áprilisi termelése

Az adatok vizsgálata során az volt a célom, hogy „téglaalapot” lehessen szerkeszteni a szélenergiák termelési viszonyaiból, azaz korlátlan tároló kapacitást feltételezve meghatározzam azt az átlagos teljesítményt, amelynél az átlag fölötti termelés fedezi éppen az átlag alatti termelés során egyébként fellépő kiesést. (2. ábra)

A diagramon azt kerestem, hogy a citromsárga és a barna színnel jelölt területek, hol lesznek egyenlők. Ez választ ad arra a kérdésre, hogy mekkora mennyiségi lehetőség van arra, hogy a megtermelt energiát eltárolhassuk.



2. ábra: A szélerőművek termelés – tárolás arányainak vizsgálata

A 2. ábra alsó diagramján látható az az állapot, amikor a termelés-tárolás kiegyenlíti egymást és az, hogy a tárolás-termelés egyensúlyával mekkora teljesítményt építhetünk be a villamos energia rendszerünkbe.

A termelés-termelésiány egyenlőség tengelyét 5,28 GW-nál találjuk. A németországi szélerőművi beépített kapacitás 2014. áprilisában $P_{BT,D} = 38614$ MW volt. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált 30 nap ($\tau = 30 \text{ nap} = 720 \text{ h}$) alatt a névleges kiadható villamos energia $E_{név,30} = 27802,8$ GWh lehetett volna, 100%-os névleges kapacitású termelés alapján (lásd (1.) egyenlet).

$$E_{név,30} = P_{BT,D} \cdot \tau = 38614 \text{ MW} \cdot 720 \text{ h} = 27802,8 \text{ GWh} \quad (1.)$$

A termelés-tárolás egyensúlyán (a tengelyes tükrözésen alapuló vizsgálat alapján) a tényleges termelés $P_{tény} = 5,28$ GW volt, ami kiadható villamos energiában $E_{30} = 3801,6$ GWh-át jelentett, illetve jelentene, ha a tárolás megoldható lenne (lásd (2.) egyenlet).

$$E_{30} = P_{tény} \cdot \tau = 5,28 \text{ GW} \cdot 720 \text{ h} = 3801,6 \text{ GWh} \quad (2.)$$

Ha a névleges termelési kapacitást és a tényleges termelést összevetjük, azt az eredményt kapjuk, hogy a névleges beépített termelési kapacitás, csupán 13%-át tudnánk hasznosítani még a tárolással együtt is (lásd a (3.) egyenlet)!

$$\alpha = \frac{E_{30}}{E_{név,30}} = \frac{3801,6 \text{ GWh}}{27802,8 \text{ GWh}} = 0,136 \rightarrow 13,6\% \quad (3.)$$

A második tézis az okos megoldások, smart technológiák, modern városok, innovatív megoldások elkerülhetetlen és szükséges fejlődésére vonatkozik, továbbá rámutat arra, hogy a bennük rejlő lehetőségeket nem szabad túlértékelni. Az ideálisnak vélt megoldáshoz az „arany középutat” kell megtalálni. A rendszerszintű vizsgálat során, figyelembe vesszük azt is, hogy számos „okos megoldás”, amely a mindennapi életünk kényelmét szolgálja, szintén terhelően hat a villamos energia rendszereinkre. Egy felmérés szerint az EU-ban például 3,7 milliárd eszköz van folyamatosan standby állapotban (készenléti funkcióra állítva), mely fogyasztás a háztartásaink áramfogyasztásának 22 százalékát is kiteheti, de a mérsékelt publikációk is minimálisan 10 százalékra teszik az otthonaink fogyasztásán belül a készenléti mód részesedését [6]. Ez például az Egyesült Államokban 7200 megawatt erőművi kapacitást foglal le, mely több mint 14 darab VVER-440-es paksi blokk teljesítményét jelenti.

Hazai viszonylatban a fenntartható fejlődéshez hasonlóan az importfüggőség fogalma is gyakran napirendre kerül. Ez valóban nagyon fontos fogalom, és egy optimális energiarendszer kialakítására ad(hat) lehetőséget egy, a többi országtól független energiarendszer kiépítése. Ezzel

kapcsolatos a vegyes energiámix fogalmának bevezetésével a jelen munka harmadik tézise: a sokszínű, több energiafordozóra épített energetikai rendszer mind versenyképességben, mind ellátásbiztonságban, mind rugalmasságban gazdaságossá és egyben optimálissá teszi a rendszert.

A vegyes energiámix fenntartásának egyik feltétele – nemcsak Magyarországon, hanem másutt is a világon – hogy a meglévő konvencionális erőműveink üzemfenntartásáról gondoskodjunk. A karbantartással, öregedéskézeléssel vagy akár a fejlesztésükkel foglalkozni kell, hiszen csak megfelelő működés mellett tudnak termelni – akár tartalék erőművi szerepet betöltve – akár szükség szerint a rendszerbe illesztve.

Nyilvánvaló, hogy a fogyasztók folyamatosan rendelkezésre álló villamos energiát szeretnének. Egy termelő gyár példáját megnézve, beláthatjuk, hogy a termelést, a gyártósorok kapacitását nem illeszthetik ingadozó rendelkezésre állású villamos energia háttérhez, azok magas szintű ellátásbiztonságot igényelnek. Ezért egy energiarendszer tekintetében gondoskodni kell a kellő tartalék képzéséről. A német erőművi rendszerben a szén bázisú – elsősorban a feketeköszén alapú – erőművi energiaátalakítás nyújt masszív bázist a tartalékképzésnek.

A negyedik tézis a gazdaságosságra és versenyképességre vonatkozik. A versenyképességi vizsgálatoknál a rendszerszintű gondolkodás alapkövetelmény. Fontos tényező továbbá, hogy az egyes energetikai beruházások külső támogatás nélkül, önállóan is rentábilisak legyenek. További szempont, hogy az időjárás-függő megújuló esetében a tartalékok kiépítésének a költségével is számolni kell, vagyis az összes szükséges beruházás a szél- és/vagy fotovoltaiikus erőmű és a tartalékerőmű beruházását is magába foglalja. Ezek figyelembevételével kell(ene) versenyképességi, gazdaságossági céloknak teljesülniük.

A versenyképességet befolyásoló egy további tényező a CO₂ árának bizonytalansága, mely árat bizonytalansága mellett is prognosztizálni és a jövőre vonatkoztatva figyelembe kell venni.

Az ötödik tézis az ellátásbiztonsággal és kiszámíthatósággal kapcsolatos. Mindenekelőtt hangsúlyozni kell, hogy az ellátásbiztonság minden más gazdasági jellegű követelményt megelőző követelmény, hiszen egy hosszabb-rövidebb távú termelés kiesés (vagy más néven „blackout”) óriási károkat okozhat.

Széles körben elfogadott prognózis, hogy a csúcsterhelések növekedni fognak nemcsak Magyarországon, hanem előreláthatóan egész Európában. Az energetikai beruházások és fejlesztések nélkül a forrásoldali hiány is növekedni fog, hiszen a beépített kapacitások kihasználásával kapcsolatos igények is nagyobbak lesznek, és az öregedésből adódó pótlólagos termelés kiesésekkel is számolni kell. Hiány esetén az egyes államok importra szorúlnak, amely bizonytalanságot jelent. A termelő kapacitások fenntartásának biztosításával csökkenthetjük a behozatalból adódó bizonytalanságot. Az egyik alapvető bizonytalansági faktor, illetve alapvető kérdés az Európai villamos energia rendszereknél, hogy honnan fogunk energiát vásárolni?

A hatodik tézis szerint: szemléletformálási cselekvési tervekre szükség van. Minden energetikai megoldás függ a

közgazgatási szerkezettől, a fogyasztás szintjétől, a vállalatok törekvéseitől, a gazdasági modelltől, az életszínvonalától és a kívánt komfortfokozattól, az előnyben részesített szállítási eszközöktől. De akárhogy legyen is, igaz a mondás: „Az egyetlen energia, amellyel nincs baj, az, amelyet nem használtunk fel.”

Annak érdekében, hogy egyidejűleg csökkentsék az energiaveszteségeket és a környezet terhelését az államok különféle ösztönző eszközöket használnak:

- különböző megoldások fejlesztésének támogatása, például - az atomerőművekhez szorosan kapcsolható - olyan hőszolgáltató hálózatok létrehozása, amelyek az iparban egyszer már felhasznált hőmennyiséget másodszer, alacsonyabb szinten újra felhasználják,
- technológiai kutatási programok finanszírozása (gépjárművekre, fényforrásokra stb.),
- a környezetszennyező vállalatok megadóztatása.

A fenti eszközök eredményessége nem lebecslendő, mert Franciaországban az átfogó energiagazdálkodási politika 1973-as bevezetése révén, már az 1990-es évek közepére, évi 30 millió tonna kőolaj-egyenértékű energia megtakarítása vált lehetővé [1].

Az energiagazdálkodás energetikai szemléletformálás mindenekelőtt a fogyasztásban elérhető megtakarításokkal kezdődik, de számításba kell venni az energiaforrások diverzifikálását, a termelési és fogyasztási szerkezet egymáshoz való közelítését, az energiaátalakítások csökkentését is.

A hetedik, egyben utolsó tézis szerint: az energetika legfontosabb tényezői közé tartoznak a *környezetvédelmi kérdések*. Minden beruházás, minden energetikai kérdés esetében az energia és környezet szavakat egy mondaton belül kell alkalmazzuk, lehetőleg egymás mellett. Az energia és a környezet kapcsolatára vonatkozóan - a teljesség igénye nélkül - két folyamatot emelhetünk ki jelentősként: Az egyik, hogy az energetika a természeti környezetből veszi erőforrásait, legyen szó akár az egyszer kimerülő fosszilis vagy nukleáris energiahordozókról, illetve a megújuló energiákról. A másik folyamat, hogy az energiaátalakítás során az ökoszisztémát terhelő anyagok a természeti környezetbe jutnak vissza.

Az ideálisnak vélt energiamixünk kialakításánál a fent bemutatott tézisek irányába mutató megoldásokra kell törekednünk. Az országok különböző igényei, adottságai alapján az energiamix tekintetében nem lehet meghatározni egy olyan ideális rendszert, mely minden ország számára példaként követhető. Nem lehetséges egy olyan energiamixet alkotni, amely megvalósítására minden nemzetnek törekednie kell. Amíg az egyik országban például a földrajzi adottságok lehetővé teszik a nagyarányú vízenergia hasznosítást, addig egy másik országban - a kedvezőtlenebb adottságok miatt - korlátozottak lehetnek az ilyen lehetőségek.

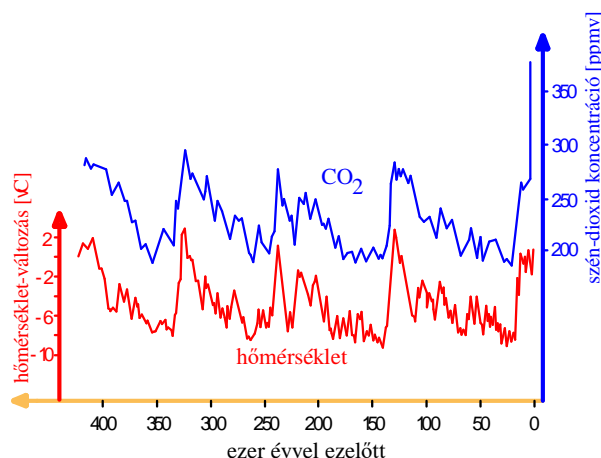
Energetika és a szén-dioxid

Az üvegházhatású gázok, kiemelten a szén-dioxid és az energia átalakító létesítmények (erőművek) káros hatásai rendkívüli mértékben foglalkoztatják a közvéleményt. Sokan korunk egyik legnagyobb veszélyének a klímaváltozást tartják. Rengeteg cikk foglalkozik a témával

[9]. Sajnos megállapítható, hogy nem kapunk egységes képet a jelenség mértékéről, magyarázatáról és kialakulásának okáról. A jelenség egyes fontosabb összetevőiről az alábbiakban adunk tájékoztatást.

A hőmérséklet és a CO₂ kapcsolata

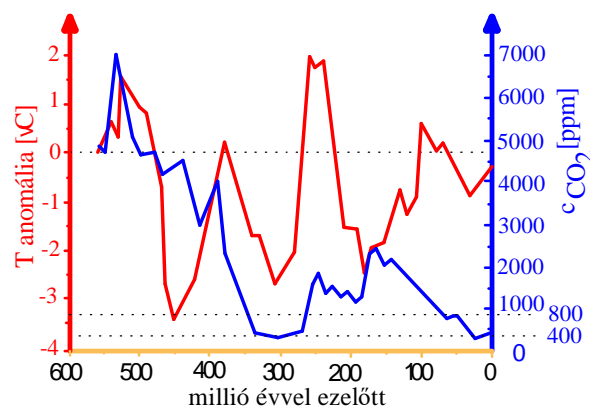
Elsősorban az Antarktiszon és Grönlandon végzett fúrásokból és mintavételezésekből ma már pontos információk állnak a rendelkezésünkre a Föld felszíni átlaghőmérsékletéről és a szén-dioxid koncentráció múltbéli alakulásáról (3. ábra).



3. ábra: A szén-dioxid koncentráció és a hőmérséklet kapcsolata - rövid távon [7]

Mindkét vizsgált paraméter ingadozik, jelenleg emelkedő tendenciát mutat.

A globális szén-dioxid koncentráció és a felszíni átlaghőmérséklet között rövidtávon kimutatható összefüggés figyelhető meg. Azonban a Föld történetének hosszabb periódusára a szén-dioxid koncentráció és hőmérséklet közti korreláció hiányzik, erre példa is van, lásd 4. ábra.



4. ábra: A szén-dioxid koncentráció és a hőmérséklet kapcsolata - hosszabb távon [8]

A hőmérséklet viszonylatában az elmúlt 20000 - 25000 évben egy általános felmelegedés kezdődött, de a periodikus ingadozás az azóta eltelt időszakra is jellemző. A jelen anyag az oszcillációt nem vizsgálja, elsősorban a hőmérséklet és a szén-dioxid koncentráció kapcsolatára fókuszál.

„Mi vezet mit?”

A kérdésre még nem tudjuk biztosan a választ, a tudósok véleménye is megoszlik [9].

Két eset lehetséges:

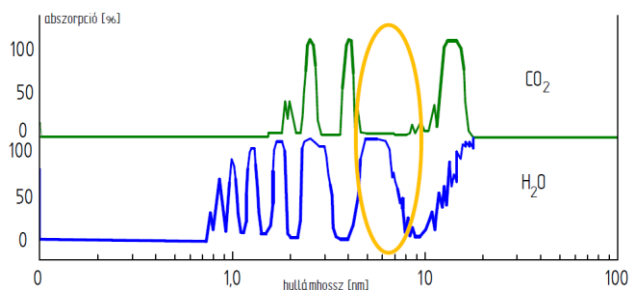
1. eset: A CO₂ koncentráció növekedése emeli a hőmérsékletet (tehát a CO₂ a „motor”),
2. eset: A hőmérséklet emelkedése miatt növekszik a CO₂ koncentráció.

Előfordulhat, hogy a folyamatban lévő globális felmelegedés a CO₂ koncentráció növekedésétől független jelenség. Azt tényként kezelhetjük, hogy a hőmérséklet hozzávetőlegesen 100.000 éves periódussal ingadozik, és az oszcilláció amplitúdója a legutóbbi 100.000 évben emelkedett. A hőmérséklet egy olyan emelkedő fázisban van, amely 20-25000 évvel ezelőtt kezdődött, és jelenleg is tart.

A hőmérséklet és az antropogén hatás

A hőmérséklet emelkedésének okozójaként felvetődik az emberi tevékenység – antropogén hatás – ezen belül az energetika.

Ennek a feltételezett hatásnak a vizsgálatát jelen esetben a légköri CO₂ és vízpára légkörben betöltött szerepének megfelelően végezzük, mivel a CO₂ és a vízpára a légkör két fő abszorbeáló gáza. Amíg a légkörben a CO₂ koncentrációja 350-400 ppm, addig a vízpára ennek átlagosan 25-30-szorosa, közel 10.500 ppm. A vízpára abszorpciós sávjában ($\lambda=5,6-7,6 \mu\text{m}$) a víz abszorpciós koefficiensének értéke két nagyságrenddel nagyobb, mint a szén-dioxidé (5. ábra) [9]. Ezek alapján arra lehet következtetni, hogy a szén-dioxid szerepe – bár a légköri koncentrációja növekszik -, még mindig alárendelt a vízpárához képest.



5. ábra: A CO₂ és a vízpára abszorpciós tulajdonsága [10]

Az energetikai környezetterhelő emissziókat egyértelműen felelőssé tenni és „minden rossz” okozójaként kikiáltani tehát nem szabad. A bemutatott elemzésekből látható, hogy a hőmérséklet növekedését, a levegőben található víz növekedése, és a körforgásos rendszerű vízháztartás (óceáni körforgás) változása – növekedése – is befolyásolhatja.

Összefoglalás

A 2. szakaszban közölt tézisek közül az „első az egyenlők között” elvet követve a *környezetvédelmi* és az *ellátásbiztonsággal*, *kiszámíthatósággal* kapcsolatosak emelendők ki, nem csökkentve a többi tézis szerepét és fontosságát. Környezetvédelmi szempontból az atomenergia békés célú alkalmazása mellett szólni hangsúlyosan az atomerőművek szén-dioxid semlegessége is. Az atomerőművek létesítése és üzemeltetése hozzájárul ahhoz, hogy a légkörben a CO₂ koncentráció a jelenlegi 350 - 400 ppm-ről csökkenni tudjon. A hazai nukleáris bázisú villamosenergia-termelés számos más előnye mellett hozzájárul hazánk, sőt az egész régió ellátásbiztonságához is.

Az energetika és szén-dioxid kapcsolatát taglaló rövid vizsgálat természetesen nem helyettesíti a komplex teljes körű elemzést és nem is lehet ez alapján végleges álláspontot kialakítani a szén-dioxid koncentráció és a hőmérséklet korrelációjával kapcsolatban. Egy ilyen korreláció meghatározásához sokkal mélyebb és szerteágazóbb vizsgálatokra van szükség. Azonban az nyilvánvaló, hogy a klímaváltozás okozójául egyedül az energetikát felelőssé tenni téves és nem szabad, hogy hibás és esetlegesen káros következtetésekre, illetve következményekre vezessen. Az alaperőműveket – sem az atomerőműveket, sem pedig a hagyományos energia átalakítási módokat – a jelenlegi fejlettségi szintünkön nem lehet kizárni az energia rendszerek fejlesztéséből.

Ahhoz, hogy az ökológiai lábnyomunkat² ne mélyítsük biztos szakmai alapokon nyugvó döntésekkel kell az energia stratégiáinkat kialakítani.

Irodalomjegyzék

- [1] A természet enciklopédiája, Larousse, 1992, Glória kiadó, Budapest
- [2] Dr. Kiss Tibor előadásán készített jegyzetek, Pécs 2018 (PTE-MIK, Környezetgazdaságtan)
- [3] Villamos energetika I. – előadásvázlat (BMF – Kandó K. Villamosmérnöki kar) 61/11. oldal. internetes elérhetőség: <http://uni-obuda.hu/users/tgzsttav/Kozlemenyek/Hallgatok/Villamos%20energetika%20kozos/osszes.pdf>, letöltés dátuma: 2018.12.14.
- [4] Szlávik János: Környezetgazdaságtan, 2012, Typotex kiadó, Budapest
- [5] Magyar Energetika XXI. évf. 6. szám, 2014. november, 2-8. old. 9. ábra alapján, letöltés dátuma: 2018. november 2.
- [6] https://index.hu/tech/2011/08/08/a_kikapcsolt_teve_is_zabalja_az_aramot/, letöltés dátuma: 2018.12.01.

² Az ökológiai lábnyom egy adott területen élő népesség természet-igénybevételének mértéke [13].

-
- [7] https://pangea.blog.hu/2017/06/13/klimavaltozas_vagy_interglacialis
- [8] *Came et al., nature 449, 13 (2007), CO2: Berner, nature 426 (2003)*
- [9] *R. H. Essenhigh: Does CO2 really drive global warming?, 2001, Chemichal Innovation*
- [10] <https://wattsupwiththat.wordpress.com/2008/06/21/a-window-on-water-vapor-and-planetary-temperature-part-2/>, letöltés dátuma: 2018. 11.20.
- [11] *Dr. Gács Iván: Üvegházhatás: tények, kételyek és kilátások, Magyar Installateur 2003/7-8*
- [12] *Ujhelyi Géza: A német Energiewende néhány eddigi tapasztalata, Magyar Energetika 2017/1*
- [13] https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/0007_a4_1049_1051_fenntarthatofejl_2/az_okologiai_labnyom_umAF9PwEii4LITq4.html, letöltés dátuma: 2019.01.07.