

Az „energia trilemma”

A műszaki gyakorlatban rendkívül fontos a rendszerszemlélet. Ez igaz akkor is, amikor a villamosenergia-termelés költségeit akarjuk összehasonlítani a különböző reálisan szoba jöhető technológiai lehetőségek között. Vajon mennyibe kerül egy kWh a végfogyasztónál, ha szénerőműben, atomerőműben, avagy a divatosá feltupírozott szél- ill. naperőműben állítjuk elő. Fontos megkülönböztetni az ún. „helyt erőművi”, azaz az erőmű által a hálózatba táplált termelési költségekkel számolt fajlagos egységköltséget (forint/kilowattóra – Ft/kWh), ill. a végfogyasztó által fizetendő egységköltséget. A vizsgált erőmű ugyanis egy bonyolult hálózati rendszerbe táplál, amely alrendszerekből áll, amelyek egymással és még további külső rendszerekkel is működési ill. gazdasági kapcsolatban állnak. Ha ezek az alrendszerek kétirányú, azaz kölcsönös hatáskapcsolatban állnak (és a hatások a végeredmény szempontjából nem elhanyagolhatóak), akkor egy korrekt vizsgálatba ezeket az alrendszereket is be kell vonni a kölcsönös hatások figyelembevételével. Így szól az elmélet. Minél nagyobb az így értelmezett vizsgálandó rendszer és minél összetettebb, annál nehezebb az említett elvi követelmény szerint eljárni. Ezért minden komoly vizsgálat esetében vannak bizonyos egyszerűsítések, kompromisszumok, hogy a vizsgálat mégis elvégezhető legyen (még a nagy számítógépek világában is). De az semmiképpen nem járható út, hogy az energiatermelés technológiájának a megválasztásakor, csak egyszerűen a helyt erőművi fajlagos egységköltségek összehasonlítása alapján döntsünk. Egy kicsit erről szól a cikk, amelynek a címe:

Az „Energia Trilemma” és a villamos energia költsége

Postázta: [Chris Frey](#) | 2024. január 26. | [Energia](#) | 8 |



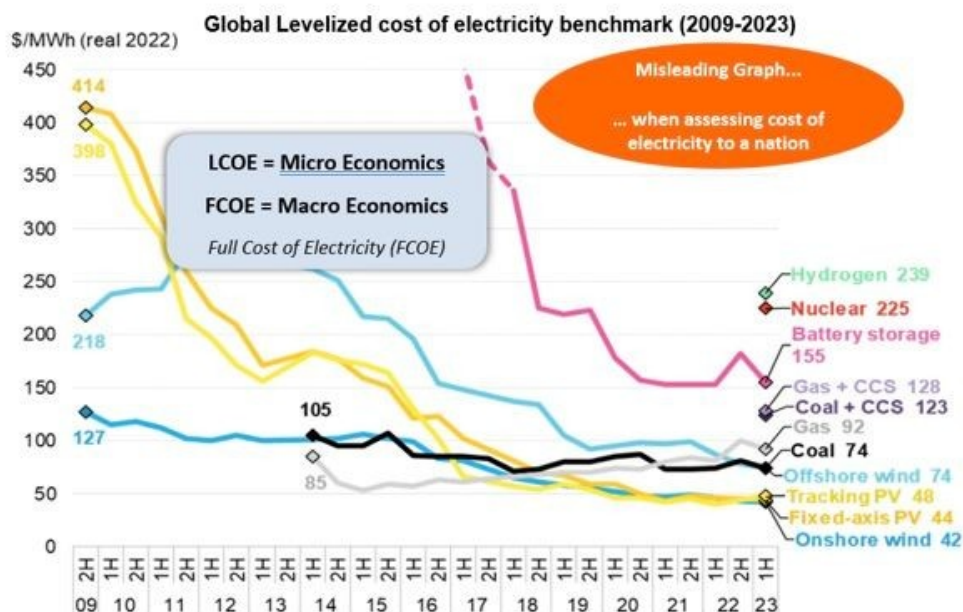
Kép: [Michaile Henderson](#) segítségével [az Unsplash](#)

Miért nem takarítanak meg pénzt a „megújuló energiaforrások”, hanem milliárdokba kerülnek

Dr. Lars Schernikau¹

Az elmúlt 150 év során a szénből és gázból származó villamos energia bőséges mennyisége a szegénység példátlan csökkenéséhez, valamint a várható élettartam és egészségi állapot növekedéséhez vezetett. Jelenleg ezek az alacsony költségű és megbízható energiaforrások állítják elő a világ villamosenergia-termelésének körülbelül 60%-át és a primer energia 50%-át. Nagyrészt az éghajlatváltozással kapcsolatos aggodalmak miatt a szenet és a gázt lassan felváltják a megújuló energiák, például a szél- és a napenergia. De ennek megvan az ára.

A Bloomberg kiadta legújabb, 2023-ra vonatkozó globális kiegyenlített villamosenergia-költség (LCOE) elemzését, amely a különféle „megújuló energiaforrások” történeti LCOE-jét hasonlítja össze a szén, a gáz és az atomenergia költségeivel (**1. ábra**). Az LCOE-n alapuló jelentések és más szervezetek, például az IEA, az IRENA, az IEEFA, az IMF és az Agora elemzéseire alapul szolgálnak ahhoz, hogy sok kormány helytelenül következtessen arra, hogy a szén- és gázalapú villamosenergia-rendszerről a szél- és napenergiára való átállás milliárdokat, ha nem trilliókat takarít meg globális szinten.



1. ábra: Az LCOE költségek alakulása (Bloomberg New Energy Finance [BNEF](#))

(kék: szárazföldi/tengeri szél, sárga: napelem, fekete: szén, szürke: gáz, piros: atom, lila: akkumulátoros tárolás) Megjegyzés: CCS = Carbon Capture & Storage (szén leválasztás és tárolás, PV = fotovoltaiikus).

A politikai döntéshozók ismerik a sikeres energiapolitika **három pillérét**: (a) megbízhatóság, (b) megfizethetőség és (c) környezeti fenntarthatóság. Közelebbről megvizsgálva azonban világossá válik, hogy az energiaminiszteriumok küzdenek az egyensúly megtalálásáért ezen az „**energia-trilemmán**” belül, miközben a három pillér egy meghatározott prioritást is követ:

¹ Lars Schernikau: Das „Energie-Trilemma“ und die Kosten von Strom. EIKE, Jan. 16. 2024.

Mindenekelőtt a megbízható energiához való hozzáférést kell biztosítani, mielőtt az energia megfizethetőségét mérlegelik. Csak akkor lehet érdemben foglalkozni a környezeti fenntarthatósággal, ha létrejön az egyensúly a megbízható és megfizethető energia között.

Az az állítás, hogy a szél- és napenergiából nyert „megújuló” energia olcsó, és nincs környezeti hatása, döntő fontosságú és káros energetikai félreértés.

A népszerűtlen igazság, [amelyet még a vezető energiainstítmények, például az OECD és az IEA sem vitatnak](#), az, hogy (a) a hálózati szintű szél- és napenergia mindig drágább, mint a szén és a gáz, még az atomenergiánál is, és (b) a gazdaság szintjén a teljes költség exponenciális növekedéséhez vezet, ha minél nagyobb a szél- és napenergia aránya a villamosenergia-rendszerben. Az eredmény az, hogy a javasolt „energia-átállítás” a globális GDP több mint 7-10%-ába kerülne, ami dollárbillióknak felel meg, és az IPCC adatai szerint is meghaladná a globális felmelegedés [költségeit](#).

Miért helytelen az LCOE használata egy ország villamosenergia-költségeinek értékelésekor?

Az LCOE (Levelized Cost of Electricity) egy „mikrogazdasági”, nem pedig egy teljes rendszerszemléletet tükröz, amely hét költségkategóriát (lásd alább) kizár, ezért soha nem lehet olyan pontos mutató, amelyre a kormányok energiapolitikai döntéseiket alapozhatják.

Az LCOE félrevezető, mert nem veszi figyelembe az időszakosságot, az alacsony természetes kapacitástényezőket, a szél- és napenergia kontinensek közötti korrelált „elérhetőségét”, valamint a kereslet és kínálat időbeli eltolódásait.

Amely nyilvánvaló költségeket az LCOE nem veszi figyelembe:

1. Kapacitásartalék vagy hosszú távú energiatárolás (LDES) költségei: *A szél- és napenergia legalább 100 %-os helyettesítő tartalékot vagy energiatárolást igényel minden beépített MW-onként.*

2. Hálózati integráció költségei, *beleértve az átviteli, elosztási hálózatfejlesztés, a hálózati stabilizálás fenntarthatósága miatt felmerülő plusz költségek, amelyek az új erőmű(vek) belépése miatt merülnek fel.*

Néhány nem túl nyilvánvaló költség, amelyeket az LCOE nem vesz figyelembe rendszerszinten:

3. Hatékonysági veszteségek – *több szél- és napenergia hasznosítás esetén a helyettesítő erőművek termelése (kihasználása) és ezzel egyes hálózati létesítmények kihasználása is csökken, amelynek komoly költségvonzatai vannak.*

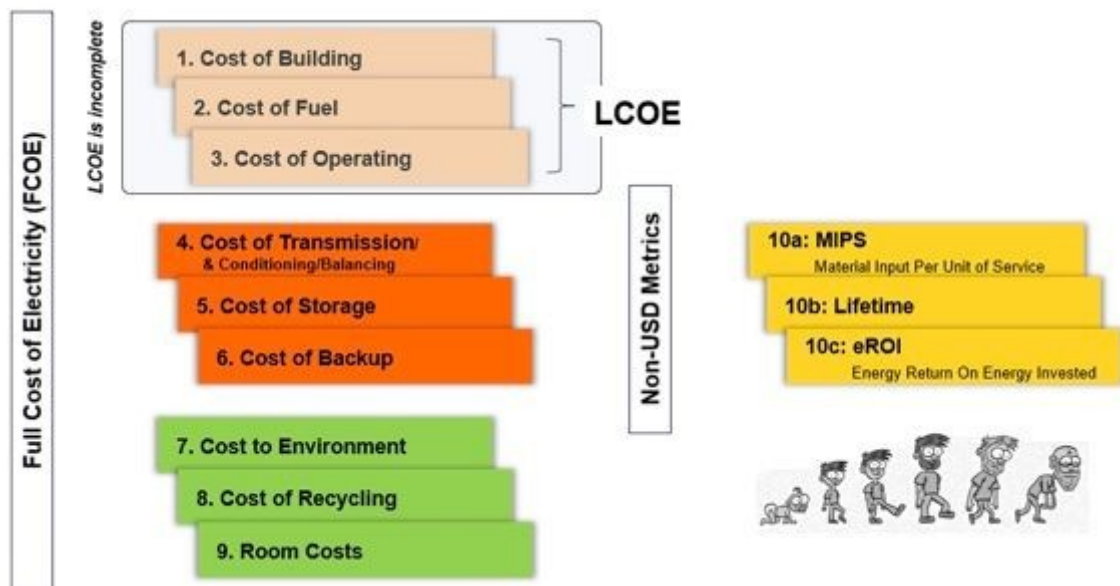
4. Területfelhasználás. *A szél- és napelemes rendszerek az alacsony területi energiasűrűségük (kWh/m²) miatt nagy telepítési területet igényelnek. Diffúz energiájuk megszerzéséhez több ezer km²-es területek „felhasználása” szükséges, ami gazdasági és környezetvédelmi költségekkel jár.*

5. **Újrahasznosítási költségek.** A fajlagos újrahasznosítási tömegek (kg/MWh) a szél- és napenergia hasznosítása esetén az alacsony energiasűrűség és rövid élettartam miatt rendkívül nagyok.

6. **Környezeti költségek** – azaz a növény- és állatvilág károsodása, az éghajlati rendszerre gyakorolt negatív hatások, beleértve a felmelegedést, a szélvesztéséget és a légköri változásokat.

7. **Nyersanyag- és nettó energiahatékonyság (EROI)** – a teljes láncolatban jelentkező költségek a kitermeléstől, feldolgozáson/finomításon, szállításon, gyártáson, üzemeltetésen keresztül a lebontásig/rekultivációig és az újrahasznosításig, beleértve mindezek összes környezeti hatásait is.

Csak a **teljes villamosenergia-költség (FCOE)** (FCOE) becslése tartalmazza az összes költséget, ezért ezt kell használni egy ország (nemzetgazdaság) vagy rendszerszintű összehasonlító gazdasági vizsgálataihoz (2. ábra).



2. ábra: A teljes villamosenergia-költség (FCOE) összehasonlítva az LCOE-vel

Tehát röviden összefoglalva:

- Az LCOE (rózsaszín mező) alapvetően a létesítési (magyar szakmai nyelven az állandó költség – Ft/kWh) és az tüzelő/üzemanyag plusz üzemeltetési (változó költség – Ft/kWh) költségeket veszi figyelembe.
- Az FCOE ezen felül a piros és zöld mező szerint a fentebb felsorolt további költségekkel is számol. A zöld mező szerint még külön szerepelnek az újrahasznosítási (8) és a területi költségek (9).
- De itt sem kell még megállni. Tovább finomítható az összehasonlító gazdasági vizsgálat a sárga mezőben szereplő költségekkel. Az input anyagfelhasználás (10a), a hosszútávú költségek (10b), ill. az említett EROI energiavisszatérülés (10c) elemzésével.

(Zárójelenen megjegyzem, hogy a kellő részletességű FCOE elemzésekre csak szakmailag minden részterületen felkészült tudományos intézetek alkalmasak, megfelelő elemző programok,

számítógépes kapacitások és gazdag adatbázisok birtokában. Ezért szinte évtizedek óta javasoljuk és szorgalmazzuk a Nemzeti Energiastratégiai Intézet (NESI) létrehozását. Itt a honlapon is. - PE.)

Milyen hatással van az emberiségre, ha a hálózati léptékű szél- és napenergia-technológiák növelik az energiaköltségeket és csökkentik az energiaellátás megbízhatóságát?

Az [Economist](#) becslése szerint a magas energiaárak pl. több mint 65 000 további halálesethez vezettek az Egyesült Királyságban csak 2022/23 telén, ami több, mint a Covid19 okozta halálesetek száma. **A magas energiaköltségek növelik a szegények szenvedését és lassítják az ipari fejlődést, nem csak a fejlődő országokban.**

Nem minden napelem vagy szélturbina nem kívánatos, vannak alkalmazások és helyek, ahol van értelmük és létjogosultságuk. Ha azonban a szél- és napenergia hasznosítás gyengébb megoldás a villamos hálózathoz vételezett áramhoz képest, akkor ez logikusan vonatkozik a szél- és napenergiából előállított hidrogénre is. Vegyük figyelembe, hogy az energia tárolásához használt H₂, a termeléshez, tároláshoz, szállításhoz és energiaellátáshoz felhasznált energia 65-80 %-a az energiaátalakítások során veszteségként „elvész”. Ezen felül a hidrogén tárolása és szállítása veszélyes, erősen robbanásveszélyes, és annyira „vékony”, hogy áthatol az acélon, ami azt törékennyé is teszi. Ha kiszabadul, „melegítő hatása” [12-szer](#) nagyobb, mint a CO₂-é.

Összefoglalva, törekednünk kell energiarendszerünk valamennyi külső környezeti hatásának csökkentésére. A szél-, nap- és hidrogénenergiára való áttérés azonban az energiaköltségek növekedéséhez és a megbízhatóság csökkenéséhez, valamint az ökoszisztémákra gyakorolt súlyos hatásokhoz vezet, amelyek kontraproduktívak és nemkívánatos következményekkel járnak az emberiség számára.

A szegénységnek, a békének, az egészségnek, az oktatásnak és a környezetnek kell a legfőbb prioritásoknak lennie, és ehhez hiányosak az erőforrásaink. A szél-, nap- és hidrogén- és/vagy akkumulátor-befektetéseket át kell irányítanunk oda, ahol a pénz valóban pozitív hatással lesz környezetünkre és gazdaságunkra. A valóban hosszú távú fenntartható, energiasűrű jövő érdekében több kutatásra és fejlesztésre van szükség, valamint a maghasadás/fúzió mellett jelentős befektetésekre van szükség [a legújabb, magas hatásfokú hőerőművek építése vagy korszerűsítése, valamint modern szűrőrendszerek telepítése területén](#), világszerte.

Sürgősen befektetésekre van szükségünk az erőművek, az üzemanyagok kitermelése és a finomítók területén, hogy elkerüljük az elhúzódó globális energiaválságot, annak minden, az életre, egészségre és jólétre, különösen a szegényekre gyakorolt következményekkel együtt.

Ennek az energiaválságnak az első jelei már 2021-ben, az ukrajnai háború előtt jelentek meg!

A cikkben tárgyalt témák részletesebb magyarázata a közelmúltban megjelent könyvünkben található. „The Unpopular Truth... about Electricity and the Future of Energy” címmel elérhető az Amazonon és a www.unpopular-truth.com oldalon.

Azoknak a kiválasztott referenciáknak a listája, amelyek bemutatják, hogy a villamos energia kiegyenlített költsége (LCOE) nem használható a szél- és naperőműves, ill. a hőerőműves energiatermelés hálózati szintű összehasonlítására, [Itt](#) található.

...

Megjegyzések:

1. Az LCOE csak a létesítési, üzemeltetési és a tüzelőanyag-ellátás költségeit veszi figyelembe (általában a CO₂-adóval együtt). Egyéb költségek, mint pl. a hálózati integráció, a helyettesítő (tartalék) energiatermelés/tárolás, az újrahaznosítás stb. költségeit nem veszik figyelembe. Lásd a 2. ábrát
2. Fontos látni, hogy helyettesítő kapacitásokkal működő, ill. a rövid és hosszú távú energiátárolással működő rendszer a költségek és a veszteségek szempontjából is kétfajta, jelentősen eltérő rendszer.
3. Az eszközhasználatbeli különbség egy autóval összehasonlítva magyarázható. Hasonlítsuk össze egy autó teljes költségét, például a vásárlás, a karbantartás, a biztosítás és az üzemanyag kilométerenkénti költségét, ha a) hetente egyszer 5 percig használjuk, és b) ha minden nap 2 órán át megszakítás nélkül vezetjük. Nagy eltérést fogunk tapasztalni.

Link: <https://www.eurasiareview.com/17012024-the-energy-trilemma-and-the-cost-of-electricity-oped/>

Fordította [Christian Freuer](#) az EIKE számára, a fordítást a szerző lektorálta

* * *

Annak idején, már a 60-as években a Műegyetemen a Hőerőművek tárgy keretében majdnem egy teljes szemeszter előadásai az erőművek gazdasági kérdéseivel foglalkoztak, amelyekhez csatlakozva külön egyetemi jegyzet is készült. Dr. Lévai András tanszékvezető professzor elsőként vezette be a Műegyetemen a gazdaságossági szemlélet oktatását, amelynek lényeges eleme volt a „népgazdasági szintű” összehasonlító gazdasági elemzések szükségességének hangsúlyozása. Később az Ipargazdasági Tanszék is átvette ennek a szemléletnek a példaként való bemutatását. Lévai professzor, mint egyúttal az ERŐTERV alapító igazgatója az ERŐTERVben létrehozta a Távlati Fejlesztési Főosztályt, amely a kormányzat részére elvégezte az új erőművek létesítésével kapcsolatos döntéselőkészítő, népgazdaság szintű elemzéseket, a különböző szóba jöhető megoldások összehasonlító gazdaságossági vizsgálatait. Nekünk, a „Lévai iskolán” végzett kalorikus mérnököknek teljesen természetes a cikkben bemutatott szemléletnek az érvényessége.

Sajnos, már egyre kevesebben vagyunk ennek a szemléletnek a képviselői és tanui.

Ezek után már csak azon morfondírozok, hogy vajon milyen nemzetgazdasági szintű vizsgálatok alapján jutott a kormányzat ahhoz a jövőképhez, mely szerint az ország „biztonságos” villamosenergia-ellátását alapvetően a Paks I + II atomerőművi blokkokkal és rengeteg új naperőművel kívánja megoldani? Büszkén vállalva, hogy 2030-ra elérjük a klímasemleges áramtermelést. És az minek kell, ha a szén-dioxid nem lehet és nem is felelős a globális felmelegedésért? De hát egyelőre mi is klímavédünk, mert most ez trendi, függetlenül a nemzetgazdasági szintű szemlélettől.

(Petz Ernő, 2024. 02. 02.)