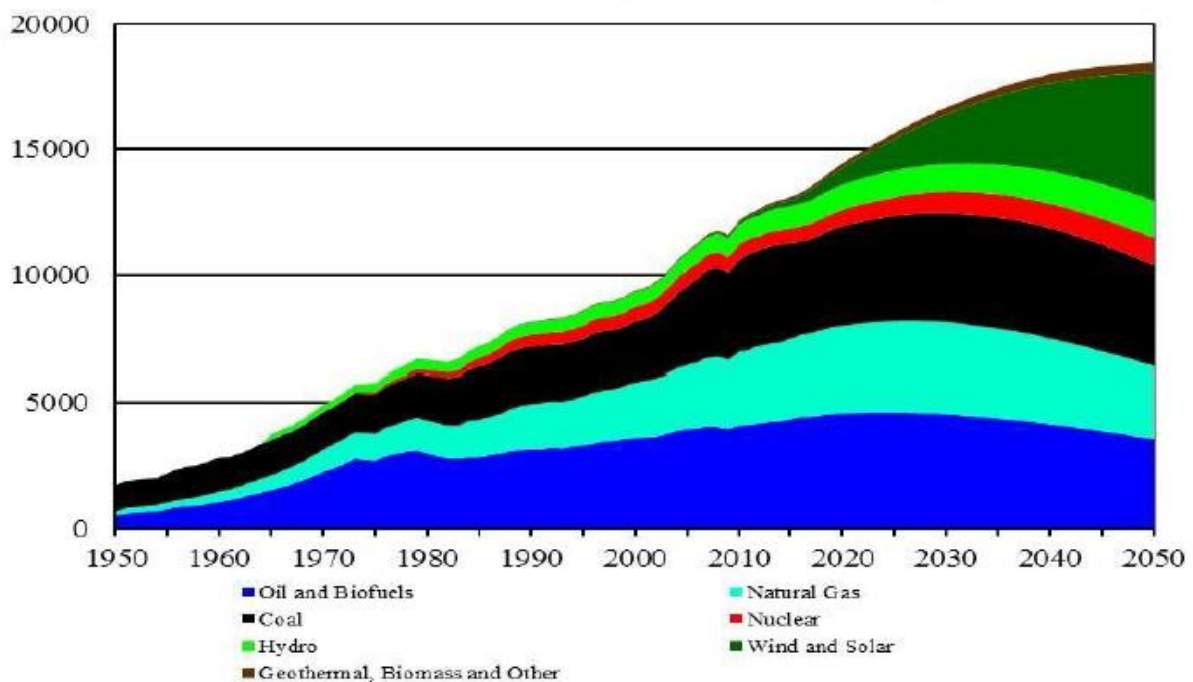


ERŐMŰVEK ÚJSZERŰ, MÁTRIXALAPÚ ÉRTÉKELÉSE

2018.02.22.

Az Energetikai Szakkollégium Zipernovszky Ferenc Emlékfélévének első előadásaként került megrendezésre az Erőművek újszerű, mátrixalapú értékeléséről szóló előadás. Az előadó Dr. Korényi Zoltán, aki a Budapest Műszaki egyetem címzetes egyetemi docense, aki a versenyszférában is komoly tapasztalattal rendelkezik (Németországban 12 év, három megvalósított erőművel; majd Magyarországon 14 év, 6 megvalósított erőművel). Legnagyobb megvalósult létesítménye Németországban a szén- és hulladéktüzelésű blokkból álló, kapcsoltan hőt ($1000 \text{ MW}_{\text{th}}$) és villamosenergiát (400 MW_e) termelő Észak-müncheni Erőmű. Magyarországon pedig a 433 MW_e teljesítményű, kombinált ciklusú Gönyűi Erőmű.

Előadónk egy kérdéssel indította az előadását: hányadán állunk mi műszaki emberek, mint értelmiségiek, értjük-e az országot, értjük-e gazdaságunk működési rendszerét, értjük-e azt a rengeteg kulcsszót, amit hallunk mostanság, hogy „CO2”, „megújuló energiaforrás”?



1. ábra: A világ primerenergia-felhasználása

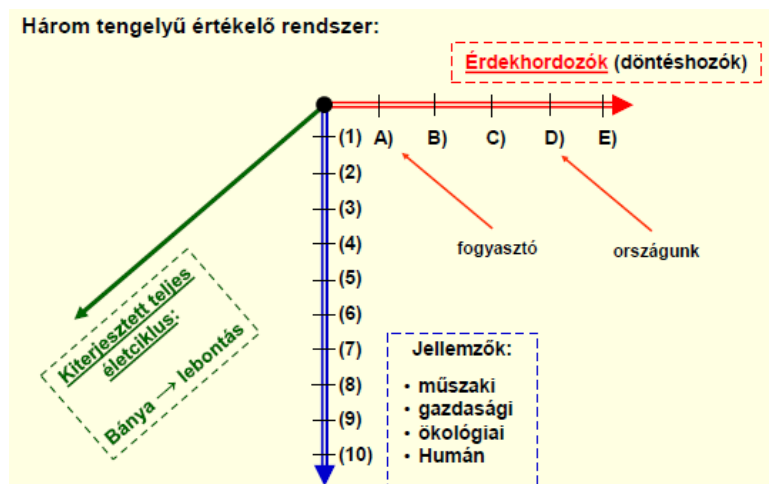
Mind a közbeszédben, mind a szakmai közéletben is meglehetősen leegyszerűsített pro és kontra érvek hangzanak el. Azt, hogy mi jut el a köztudatba, elsősorban a média határozza meg, azonban az abban szereplő hírek gyakorta megbízhatatlanok, sem a természettudományos, sem a műszaki, sem a gazdasági törvényszerűségeknek nem

felelnek meg és nem utolsó sorban nagy szerep jut a különböző lobbierdekeknek is. Az ily módon kialakult zavaros összkép nem teszi lehetővé, hogy a megújuló energia hasznosításában a magán- és közszféra érdekeltjei a különféle technológiák társadalmi hasznosságáról tényszerű, objektív képet alkothassanak. Az interneten való böngészés közben azzal szembesülhetünk, hogy a jövőben szinte már csak megújuló energia lesz jelen. Az 1. ábrán látható nemzetközi adatok viszont árnyalják az összképet. A fosszilis energiák kapcsán azt a tendenciát láthatjuk, hogy az olaj aránya csökkenni fog, a földgáz mennyisége még növekedni fog, a szén előreláthatólag meg fog maradni ilyen mennyiségben. A nukleáris energia bizonytalan állapotban van, a vízerőműveknél nem várható változás, ugyanis a rendelkezésre álló kapacitás nagy része már ki van használva. A legnagyobb változás a megújuló energia szektorban lesz: a szél és a napenergia felhasználás nagymértékben növekedni fog.

Ha fölteszük a kérdést, hogy miért és kinek jó a megújuló energia olyan válaszokat kapunk, minthogy elfogynak a fosszilis készleteket, hogy csökkentsük a szennyező anyag és a CO₂ kibocsájtást, illetve azért, mert az EU direktívái előírják. Azonban ez a három indok nem elegendő, mivel más szempontok is jelen vannak, egy komplexebb meglátásra van szükség.

Előadónk a tapasztalatait összegezve egy olyan rendszert hozott létre, amely egy eszköz arra, hogy megpróbáljuk értékelni a megújuló energiát. Ehhez először is át kell gondolni, hogy melyek azok a szempontok, amelyek fontosak, hogy azok felhasználásával egy komplex értékelési rendszert állíthassunk fel. A rendszer egy 10*5-ös mátrixban valósult meg, amely **5 érdekhordozó** szempontjait **10 kritérium** alapján értékeli. A koordináta rendszernek még létezik egy harmadik tengelye is, ezzel azonban sajnos nem szoktunk foglalkozni. Ezen az erőművek **kiterjesztett, teljes életciklusa** (Life Cycle Assessment = LCA) szerepel, az alapanyagok kibányászásától egészen a lebontásig.

A vízszintes tengelyen az érdekhordozók, vagyis a döntéshozók szerepelnek. Jelen esetben érdekhordozóknak nevezzük az egyéneket és közösségeket, a gazdasági, pénzügyi szervezeteket, cégeket (befektetőket) és intézményeket; országokat és az ember létezésének egyik fő forrását biztosító Földünket (a másik a Nap), amelyek jövedelmi viszonyaiban vagy ökológiai rendszereiben a megújuló energia felhasználása változásokat hoz létre. A táblázatban igen szerepel, amennyiben az



2. ábra: Három tengelyű értékelő rendszer

adott érdekhordozó érdekelt az adott kritérium kapcsolatában. Egyszerre azonban nem valósítható meg mind az öt döntéshozó érdeke, ezért szükségessé válik egy sorrend felállítása közöttük. Ebben a sorban az utolsó sajnos a bolygónk marad.

S. sz.	SZEMPONTOK	ÉRDEKHORDOZÓK (akiket közvetlenül, vagy közvetetten érint)				
		A) Fo- gyasztó	B) Gyártó	C) Befekte- tő	D) Orszá- gunk	E) Földünk
(1)	Energiaátalakítási határfok		igen	igen	igen	igen
(2)	Energiamegtérülési tényező		igen		igen	Igen
(3)	Rendelkezésre állás	igen	igen	igen	igen	
(4)	Energia költségek, árak	igen	igen	igen	igen	
(5)	Hazai hozzáadott érték, GNI	igen			igen	
(6)	Planéta (Földünk) fogyasztás					igen
(7)	Károsanyag / hulladék kibocsátás				igen	igen
(8)	Tartalék kapacitások szükségessége		igen	igen	igen	
(9)	A villamos hálózatra gyakorolt hatás		igen	igen	igen	
(10)	Egészség kockázatok (YOLL)	igen			igen	9

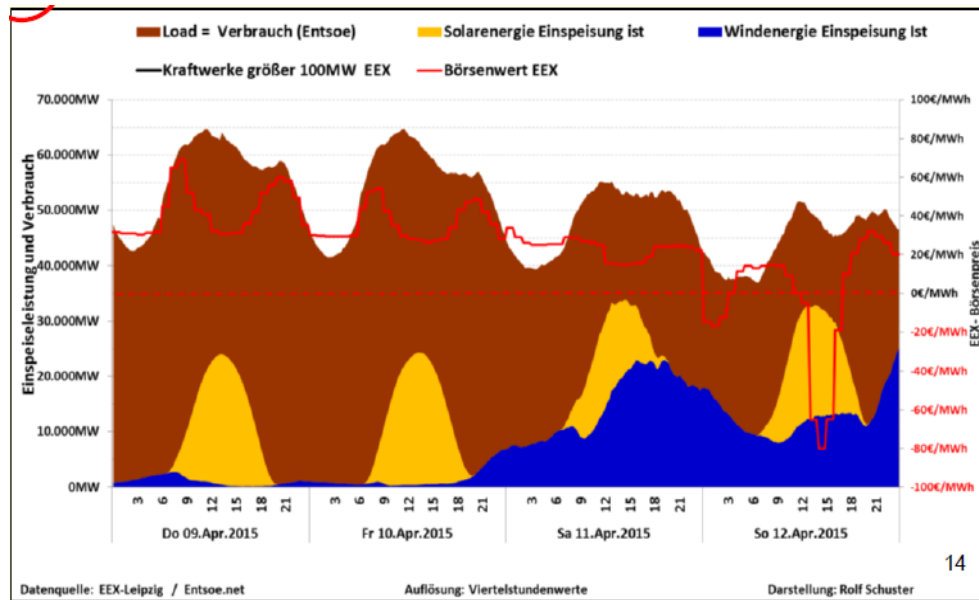
3. ábra: Az értékelő mátrix felépítése és elemei

A mátrixban szereplő **első szempont** az energiaátalakítási határfok, amelyet a legkönnyebben úgy definiálhatunk, hogy a megtermelt hasznos villamosenergia, valamint az életciklus alatt a technológiához felhasznált villamosenergia hányadosa. Érdekes lehet megvizsgálni, hogy mennyi egy biomassza erőmű igazi határfoka: amennyiben figyelembe vesszük a fotoszintézist, a növény égetéshez felhasználható részeit, valamint a tüzelés határfokát is, a napenergia villamosenergetikai hasznosítási határfoka mindössze **0,19%** lesz (a létrehozó napenergiához viszonyítva). Itt érdemes végiggondolni, hogy valóban érdemes-e kimeríteni a földünket 0,19% határfokért. Ha védjük az életünk alapját adó természeti kincseinket, akkor ne pusztítsuk el a humuszt, használjunk helyette inkább biomassza hulladékot. A talaj humuszkincse maradjon meg élelmiszertermelésre.

A **második szempont** az energiamegtérülési tényező kiterjesztett életciklusra, amellyel a különböző erőművek a bányányítás elejétől a bontás végéig tartó teljes folyamat villamos energia igénye és a hálózatra kiadott energia viszonyát vizsgáljuk.

A **rendelkezésre állás (harmadik szempont)**, valamint az ebből következő ellátásbiztonság szempontjából a hagyományos erőművek alkalmazása előnyösebb, mint az időjárásfüggő megújuló energiaforrások. Ebből kifolyólag a megújulók megnövekedett mennyiségben történő alkalmazása tartalék erőművek, illetve

energiatárolók alkalmazását teszi szükségessé, amely figyelembe vételével megnőnek a költségei, így a megtérülés időtartama akár a kétszeresére nőhet. A rendelkezésre állásra egy kiváló példa az alábbi diagram, amelyben a német energiarendszer



4. ábra: Rendelkezésre állás

látható. Barna színnel a fogyasztott energia látható, kék, illetve sárga színnel pedig a szél- valamint naperőművek által megtermelt energia. Látható, hogy időnként ezek között jelentős különbség volt, amely következményeképp az alapvetően villamos energia exportőr Németország a francia atomerőművek által megtermelt áramot volt kénytelen importálni. Itt térünk át a következő kritériumra: a **költségekre (negyedik szempont)**.

Az ábrán a piros vonal jelöli a villamosenergia aktuális tőzsdei árát, amely a kereslet és a kínálat függvényében változik. Érdekes, hogy negatív árak is megjelennek, mivel a nagyobb erőművek leállítása hétvégén, vagy éjszaka, olyan nagy költséggel jár, hogy így az erőműnek kisebb lesz a vesztesége, ha fizet a kereskedőnek, hogy elvigye az áramot. Azonban az ár a másik irányba is kitérhet, a tavalyi év folyamán az ár 300 EUR/MWh-ra is felment, ami az alapár többszöröse. Az energiapiac ketté lett vágva, amelynek egyik része a szabad versenypiac, ahova a hagyományos erőművek tartoznak, míg a másik része a védett piac, amelybe a különböző megújuló energiát hasznosító erőművek tartoznak, amelyek beruházásának megtérülésére különböző támogatások vannak érvényben. Ennek az a hátránya, hogy kevesebb hagyományos erőmű épül (egy erőmű megtérülése legalább 10 év, így kockázatos beruházásnak számít), első sorban csak olyanok épülnek ma Európában, amelyek kapcsán a beruházásról szóló döntést már korábban meghozták. Ez azért veszélyes, mert ha senki sem épít erőművet, 5-10 éven belül kb. 300 000 MW teljesítmény fog kiesni (a jelenlegi összes beépített teljesítmény mintegy 1 100 000 MW Európában). Magyarországon jelenleg is folynak a viták a megújuló támogatása kapcsán, amíg Európában már egy átmeneti állapotban járunk, bizonyos országokban már el lettek törölve a

támogatások. Várhatóan 2025 körül meg fognak szűnni ezek a támogatások, ekkor jelentős növekedésre számíthatunk a villamosenergia-árakban. A jelenlegi áraknak kétszer ekkorának kellene lennie, hogy új erőművek épüljenek.

A **gazdasági szempontok (ötödik szempont)** vizsgálata során olyan mérőszámokat alkalmazunk, mint a GDP (Bruttó Hazai Termék), vagy a GNI (Bruttó Hazai Jövedelem). A GDP alkalmazása gyakran félrevezető lehet, mivel a pénzáramlást nem skalár, hanem vektormennyiségként célszerű kezelni. A GNI azt vizsgálja, hogy a GDP-hez képest külföldről mennyi jövedelem érkezett az országba, és mennyi távozott. Németországban a GNI/GDP arányszám nagyobb, mint egy, nálunk kisebb. A magyar gazdaság GDP-je 1936-ban mindössze 10%-kal volt lemaradva az osztráktól, azonban mára ez a leszakadás eléri a 70%-ot. Ennek a leszakadásnak a csökkentése érdekében nagyobb hangsúlyt kellene fektetni a hazai hozzáadott érték megnövelésére, valamint a megtermelt hazai pénz országban tartására (az importot csökkenteni, az exportot növelni kell!).

A megújuló energiaforrások alkalmazásának kapcsán nem elhanyagolható szempont a **munkahelyteremtés** sem. Németországban 2015-re mintegy 355 000 ember dolgozott a megújuló energia-iparban, amíg a hagyományosan mindössze 220 000.

A **hatodik szempont** a földfelhasználás, vagyis az ökológiai lábnyom. A rendelkezésre álló termőföldeknek mindössze 10%-án terem olyan élelmiszer, amelyet hasznosítunk a saját életünk fenntartása során. Ezért érdemes megvizsgálni egy adott típusú erőmű létesítése során, hogy az **mekkora területet vesz el a természettől**.

ERŐMŰVEK TERÜLET IGÉNYE, m ² / MW _e			
	Erőmű fajtája	ERŐMŰ helyigénye	Globális: teljes techn. láncolat
1.	Kombinált ciklusú erőmű - földgáz	150	5 000
2.	Gőzkörfolyamatu erőmű – fekete szén	250	30 000
3.	Atomerőmű	280	20 000
4.	Szélpark	2 000	50 000
5.	Naperőmű (10-20 ha mezőn)	10 000	150 000?
6.	Biomassza, fatüzeléssel	300	3 millió
7.	Biomassza: silókukorica + gázmotor	5000	2 millió
8.	Geotermikus, ORC	1300	10 000

5. ábra: Erőművek területfoglalása direkt/kiterjesztett életciklusra

Amikor erőműveket építünk, akkor Földünk egy részét hosszú évtizedekre kivonjuk a természetből, amelynek mértékére kétfajta mérőszámot alkalmazunk: az egyik az erőmű megépítéséhez szükséges, a közvetlenül elfoglalt terület, a másik figyelembe veszi a kiterjesztett teljes életciklus teljes láncolatához (a bányafeltárástól a létesítmény lebontásáig) szükséges kivont földterületeket.

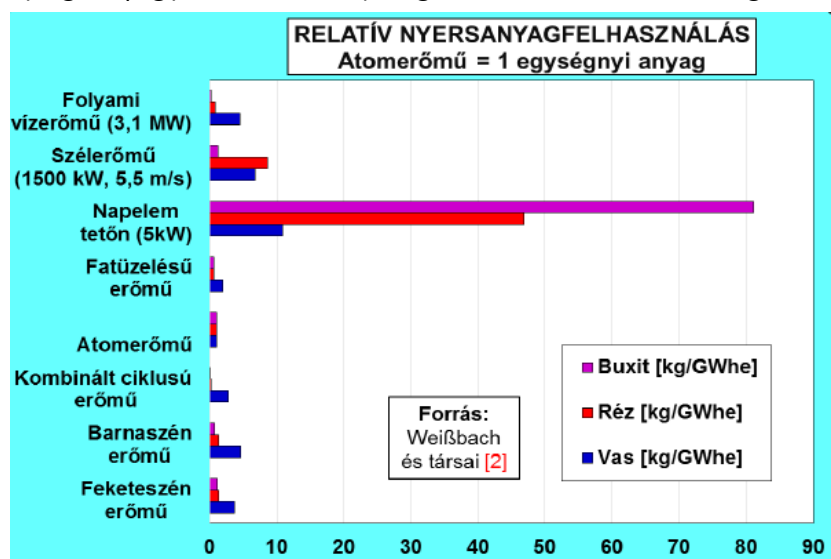
Az **anyagfogyasztásról** viszonylag ritkán szoktunk beszélni. A megújuló energia alkalmazása során bár maga az energia a Napból származik, nem hanyagolható el, hogy az energia-átalakító berendezések alapanyagai (érccek, fémek, ...) Földünkéből származnak. Amíg a megtermelt energiát kis intenzitás jellemzi, addig az anyagfelhasználás intenzitása jelentős. Az emberiség a fogyasztás során anyagot vesz a Földből, majd hulladékot ad vissza. A népesség növekedésével ez a tendencia is növekszik. Durva megközelítéssel úgy fogalmazhatunk, hogy amennyiben fogyasztjuk a Földünket, az végül el fog fogyni.

Az erőművek felépítéséhez a legfontosabb alapanyagok: acél, alumínium, beton, valamint különböző ötvöző anyagok (ugyanis a manapság alkalmazott technológiák

során olyan magas hőmérsékletek is fellépnek, amelyeken a hagyományos alapanyagokból készült berendezések nem képesek működni.) A felhasznált alapanyagok egy jelentős része Kínában található meg, illetve az akkumulátorokhoz szükséges alapanyagok, mint a vanádium vagy a lítium pedig Dél-Amerikában. Egy német kutatás szerint Európa

nemcsak energia, hanem anyagfüggő is. Egy szélpark alapzatához, valamint a szélturbinák tartóoszlopaihoz nyolcszor annyi acél és négyszer annyi beton szükséges, mint egy atomerőműhöz (a teljes életciklusra vonatkoztatva), mivel a szélerőmű kihasználtsága mindössze negyed-harmad akkora, valamint teljesítménysűrűsége is kisebb.

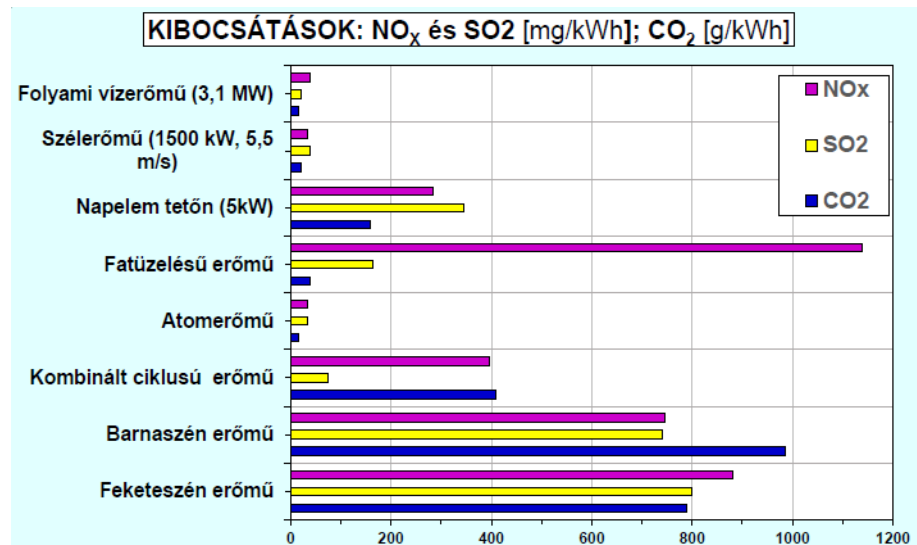
Ha a relatív anyagfelhasználás vizsgálata során az atomerőmű anyagfelhasználását egységnyinek tekintjük és annak a függvényében határozzuk meg a többi erőműtípusra vonatkozó értékeket, akkor a tető-naptelep (5kW) kiterjesztett teljes életciklusra nézve meglepő módon, fajlagosan nyolcvanszor több bauxitra negyvenötször több rézre és tízszer annyi vasra van szükség, mint az atomerőműnél.



6. ábra: Relatív anyagfelhasználás

Az **hetedik szempont**

a károsanyag kibocsájtás. A különböző erőművi technológiák kapcsán különböző károsanyagok vannak jelen, mint például az NO_x , az SO_2 , vagy a CO_2 . A kibocsájtások nemcsak az építésre, és üzemeltetésre, hanem a teljes életciklusra vonatkoznak.



7. ábra: Károsanyag kibocsátások

Az NO_x kibocsájtása a fatüzelésű erőműveknél a legmagasabb, míg a megújulóknál jellemzően alacsony, a naperőművet leszámítva. Az SO_2 leválasztására különböző megelőző technológiákat alkalmaznak. Meglepő, hogy CO_2 kibocsájtás a példa szerinti háztetőn elhelyezett naptelep esetén milyen jelentős: kb. 10-szerese az atomerőműhöz képest. Míg az NO_x esetében a háztető naperőművének az életciklus kibocsátása kb. 8-szor akkora, mint az atomerőművé.

A **nyolcadik szempont** a különböző tárolókra, illetve tartalék erőművekre való igény, amely a megújuló energia alkalmazása során lép fel a fentebb ismertetett okokból kifolyólag. Az energiatárolásnak különböző formái léteznek, például szivattyús-tározós erőmű, akkumulátorok, stb., azonban jelenleg az energiatárolók életciklus szintű folyamatairól még keveset tudunk, költségei és fejlettségi szintje nem teszi lehetővé nagyszámú elterjedését. Illetve egy akkumulátor is CO_2 -ot bocsájt ki, ha a teljes életciklust vesszük figyelembe.

A **kilencedik szempont** a villamos hálózatra gyakorolt hatás. Hagyományosan egy erőmű elhelyezkedését 3-4 szempont határozza meg, mint a primerenergia-hordozó elhelyezkedése (pl. szénbánya, olajvezeték, kikötő) vagy a hűtővíz elhelyezkedése. Ezután a fogyasztó elhelyezkedését vizsgálják meg és eszerint lesz kiépítve a villamosenergia-hálózat. Például Németországban a megújuló energiaforrások, mint például a szél a fogyasztókban szegény északi részen található, így mintegy 2600 km hosszú új vezetékhálózat kiépítése válik szükségessé, hogy az energia eljusson délre. A hálózat kiépítése kb. 20%-kal növeli a villamos energia költségét. A napelemeknél az a probléma áll fenn, hogy 0,4 kV vagy 20 kV feszültség szinten táplálnak be, azonban ezen a feszültség szinten nincs minden időben elég fogyasztó, így a villamosenergia alsó feszültség szintről magasabb feszültség szintre kénytelen áramlani. A hagyományos transzformátorokat azonban a magasabb/alacsonyabb feszültség szintű átalakításra tervezték. A módosítások többletköltséget jelentenek. Ugyancsak problémát jelent az

egyenáramból váltóáramot kialakító inverterek frekvenciájának a hatása a meglévő hálózatok felharmonikusaira. Új összefüggésben kell vizsgálni a hálózati veszteségek változását is. A költségeken kívül fontos megemlíteni azt is, hogy a megújulóknak a változó rendelkezésre állásuk következtében komoly szabályozási, kiegyenlítési problémákat is felvetnek. A megújuló energia hasznosítása új kutatási témákat hoz, és új műszaki megoldások kifejlesztését igényli.

A **tizedik szempont** a különböző erőmű technológiáknak az emberi egészségre gyakorolt hatását mutatja. A bemutatott nemzetközi módszertan szerint ezt a megtermelt energiára (TWh) vonatkoztatott "**elvesztett emberi életévek**" fogalmával fejezi ki. Vagyis ez azt mutatja, hogy a különböző technológiák egészségkárosító hatása mennyivel rövidíti meg az ember életét. A német forrásokból származó, kiterjesztett életciklusra vonatkozó diagram példái szerint a széntüzelésű erőművek életmegrövidítő hatása az atomerőművekhez képest mintegy 15-szörös, a szélerőműveké kb. 1,5-szeres, a háztető naptelepéé pedig kb. 8-szoros. Ez a médiában nemigen hallható szempont elsőre meglepőnek tűnik, de végül is logikus gondolkodással belátható (lásd az előadás 6. oldalának (5). pontját).

A **mátrix** műszaki-gazdasági-ökológiai-humán témájú **10 szempontjának** ismertetése után az előadó hangsúlyozta az A), B), C), D) és E), **5 érdekhordozó** (érdekelt, döntéshozó) szerinti elemzés fontosságát.

A 10 értékelő szempont más-más súllyal esik latba az energia fogyasztónál, a berendezés gyártónál, a szakmai, vagy pénzügyi befektetőnél, egy adott országban és annak állampolgárainál, valamint Földünk (planétánk) esetében. Általában a világban a legmeghatározóbb hajtóerő a pénzügyi érdekeltség, de egyre erősödnek az ökológiai lábnyomot csökkenteni szándékozó őszinte (és nem őszinte) erők is.

Követeljük meg, hogy a szakmai, az érdekképviseleti, a lobbista, a politikai megszólalók, a „zöldek” és a média szereplői minden esetben deklarálják, hogy **kinek az érdekében** szólalnak meg.

Földünk sorsa az egész világ országainak és lakóinak felelőssége. Saját magunk, családunk élete és jóléte, saját országunk sorsa a mi érdekünk. Ezért amikor tanulmányokat írunk, amikor az energetika és a gazdaság kérdéseit elemezzük, minden esetben definiáljuk, hogy **mi az országunk érdeke**.

Az előadó kiemelkedő mértékadó szempontként ajánlotta mindenkinek a **GNI** (Bruttó Nemzeti Jövedelem) és a **DuR** (Domestic Use of Revenues, azaz a bevételek hazai felhasználású része), pénzügyi jellemzőknek a beruházási és üzemeltetési életciklusra történő számszaki meghatározását. Ennek a lényege, hogy növeljük az országban felgyülemelő pénzállományt, hogy a fogyasztók által kifizetett energiaszámlák összegeiből minél nagyobb rész maradjon országunkban.

Az országban rendelkezésre álló nettó jövedelmek növelhetők az import csökkentésével (pl. földgázimport és villamosenergia import, berendezések és szolgáltatások importja), a hazai hozzáadott érték növelésével és az export növelésével. Ugyancsak ezt szolgálja a hazai megtakarításokból történő beruházás

finanszírozása.

Nekünk, számokkal dolgozó, rendszerszintű ismeretekkel rendelkező energetikai mérnököknek kötelességünk a fenti összefüggések szakszerű, saját érdekeinket figyelembe vevő kiszámítása.

Amint a fenti beszámolóban olvasható, előadónk egy meglehetősen komplex rendszert hozott létre az erőművek értékelésére. A mátrix tovább fejleszthető, finomítható, ezért javasolja az érdeklődő egyetemi hallgatóknak, hogy gondolják tovább, vegyenek részt a bővítésében. Végkövetkeztetésként előadónk egy idézettel tette teljessé az előadását „Nincsen a technikában nagyobb veszedelem, mint a tudatlanság bátorsága, a felületesség könnyelműsége” (Schimanek Emil professzor).

Tóducz Edith

Az Energetikai Szakkollégium tagja