

AZ ENERGETIKA KÖRNYEZETI HATÁSAI: JELEN ÉS JÖVŐ

Kiss Ádám

ELTE Atomfizikai Tanszék

BEVETÉS

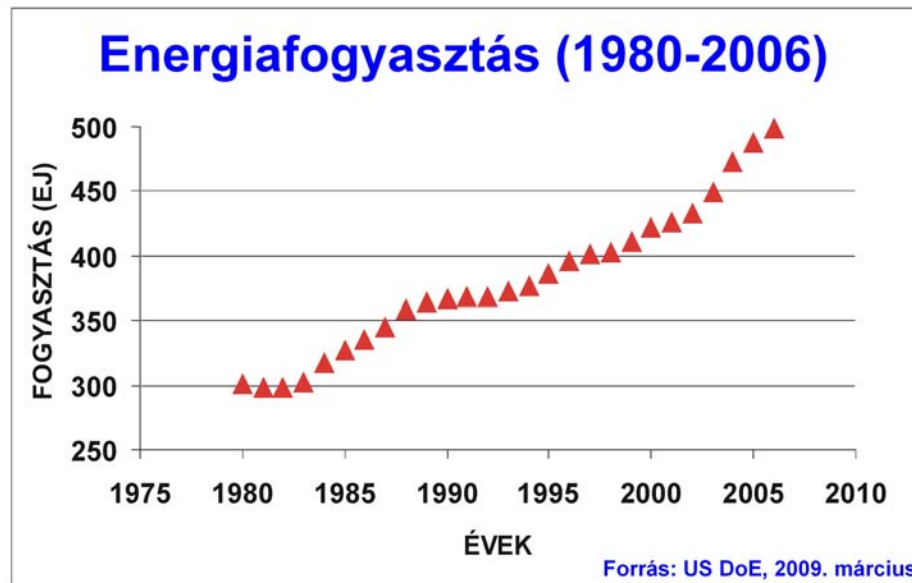
Amikor fizikusok, fizikatanárok összejönnek, hogy a mai világ környezeti problémáiról beszéljenek, akkor hamar elhangzik, hogy alig van olyan környezeti kérdés, amelynek alapos tárgyalásához nincsen szükség fizikai ismeretekre. Ráadásul egy sor olyan probléma is van, amelyek megoldásához főszereplőként szükséges a fizika. A kérdések zöme persze komoly tudományos kihívást is jelent. Csak felvillantom, hogy alapos fizikai ismeretek nélkül nem lehet tárgyalni a környezeti áramlásokat, alapvetően a fizika módszereit használja a zajprobléma kezelése, a környezeti sugárzások témaköre, a környezeti anyagtudomány pedig nyilvánvalóan a környezetfizikához tartoznak. Ehhez jön ráadásként, hogy a fizikai mérési módszereket szinte mindenütt elterjedten alkalmazzák a környezettudományban.

Az előadás témája, az energetika, amely – mint látni fogjuk – az emberiség egyik sorskérdése. Felmerül a kérdés, hogy mi a kapcsolata az energetikának a fizikához és a fizikatanításhoz. Az energetika – és ezt jegyezzük meg – semmiképpen nem fizika, de a természettudományok közül talán ahhoz áll a legközelebb. Így helyénvaló, hogy fizikus szemmel járjuk körbe ezt a problémakört. Ráadásul a közoktatásban ez a témacsoport elsősorban a fizikához tartozik, az tanítja. Az energetikának pedig igen sok környezeti vonatkozása van.

Az előadásnak több célja van. Először bemutatjuk a jelent és problémáit, az energiatermelés környezeti problémáit és a kívánatos jövő elvárásait. Megmutatjuk, hogy a jelenlegi energiaellátási gyakorlat hosszabb távon bizonyosan nem tartható fenn. Ezután sorra vesszük a jövő lehetséges energiaforrásait, majd egy kiválasztott példán, a vízenergián keresztül szempontokat kívánunk adni az energetika tanításánál felmerülő kérdések kezeléséhez.

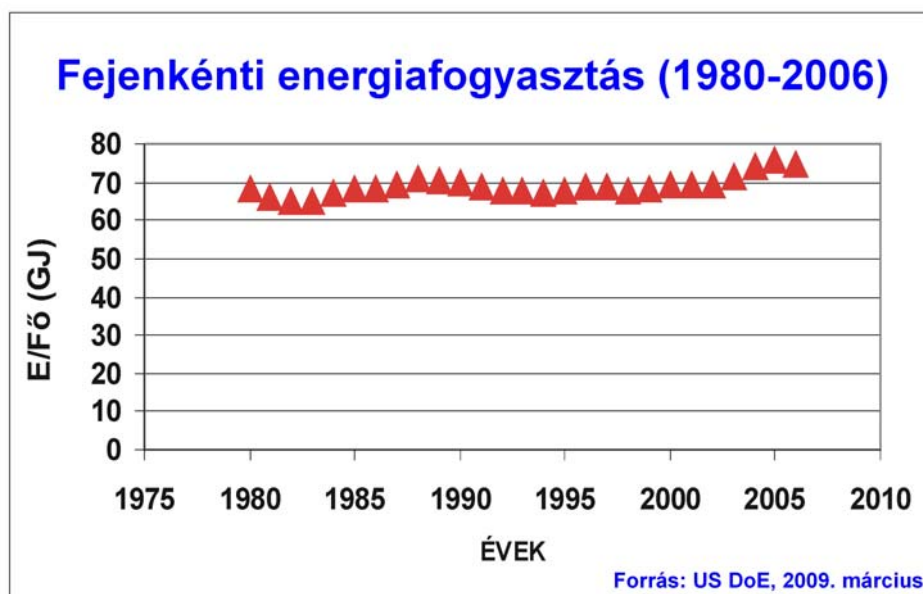
AZ ENERGIATERMELÉS KÖRNYEZETI PROBLÉMÁI

A jelenlévők talán emlékeznek rá, hogy 1972-73-ban volt az első energiaválság. Legkésőbb akkortól számítva minden politikus és döntéshozó tudta, hogy az energiaellátás biztonsága érdekében takarékoskodni kell az energiával. Mi történt azóta? Az 1. ábra szerint az energiafogyasztás minden figyelmeztetés ellenére az utóbbi évtizedekben dinamikusan nőtt, az 1980-ban elfogyasztott ~300 EJ-lal szemben a legutolsó statisztikai adatot jelentő 2006-ban 500 EJ-ra emelkedett, azaz mintegy 60%-al bővült a társadalmak össz fogyasztása.



1. ábra: A társadalmak összenergia-fogyasztása 1980 és 2006 között.

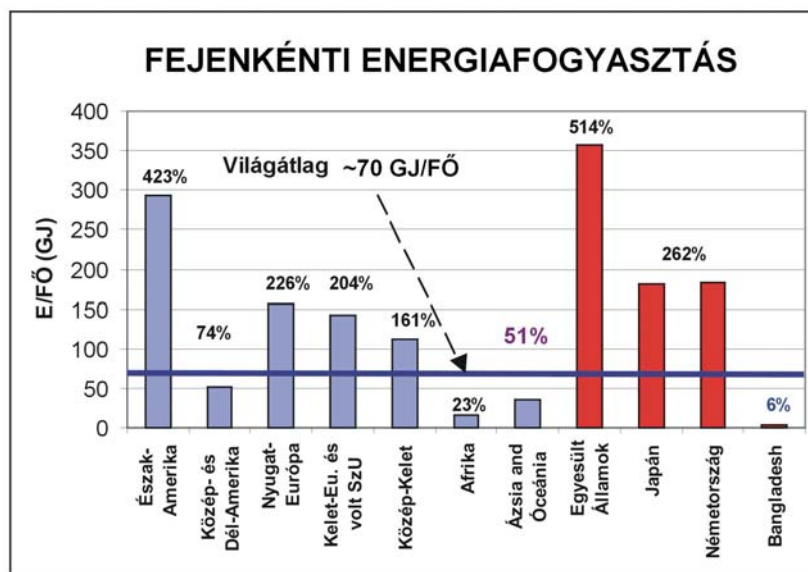
Természetesen azonnal felvetődik a kérdés, hogy miért nő az emberiség energiafogyasztása? Számos paraméter van, amit meg kell vizsgálni ebből a szempontból. Valószínű, hogy a nagyon különböző élethelyzetű közösségek energiafelhasználási szokásai, motivációi és tényleges energiafelhasználása alapvetően különböznek egymástól. Ezért meglepő, hogy az ezzel a kérdéssel foglalkozó kutatók találtak egy olyan paramétert, amivel nagyon erősen korrelál az összenergia-fogyasztás: ez pedig az emberek száma! A 2. ábra mutatja, hogy bármennyire is meglepő az eredmény, az átlagosan egy főre eső energiafogyasztás a világon 1980 óta néhány százalékon belül ugyanaz, mintegy 70 GJ/fő. E szerint az energiafogyasztás növekedésének a legfőbb oka az, hogy a világ népessége folyamatosan növekszik. – Persze ez a rendkívül erős korreláció óriási különbségeket takar (3. ábra). Az Észak-Amerikai kontinens lakói a világátlag több mint négyszeresét fogyasztják, míg az afrikaiak annak negyed részét. Ha országokat nézünk, akkor még nagyobb a különbség az egyesültállamokbeli és egy banladeshi fogyasztása között! A 3. ábrán látható különbségek mai politikai feszültségek forrása.



2. ábra: A fejenkénti fogyasztás 1980 és 2006 között

Az energetikáról beszélve fontos az a tény, hogy az utóbbi évtizedekben fokozatosan növekedett az elektromosság fontossága. A statisztikai adatok azt mutatják, hogy míg a teljes energiafogyasztás 1.66-szorosára nőtt 1980 óta, az elektromos energia felhasználása 2.26-szor lett nagyobb. Ma már a GDP növekedése is az elektromos energia növekedésével mutat korrelációt.

Az energetika politikai, gazdasági, társadalmi jelentőségét a következő becslés is világosan mutatja. Nehéz ugyan pontosan megmondani, hogy mennyi 1 MJ energia ára, de biztosan nem vagyunk messze az igazságtól, ha ezt mintegy 2 centnek tekintjük. Ez viszont azt jelenti, hogy az energetika évente mintegy tízezermilliárd dolláros üzlet, ami óránként több mint egy milliárd dollárt jelent. Ez a világ legnagyobb egycélú üzlete, ami meghatározó mind a világgazdaságban, mind a világpolitikában!



3. ábra: A fejenkénti fogyasztás a Föld egyes részein

Foglaljuk most össze az energetika jelenlegi fő tényeit!

Először is érdemes rámutatni, hogy a társadalmak energiaellátásukat ~85%-ban az ásványi (tehát a kőolaj, földgáz és a szén) forrásokból fedezik. Ez a 85% pedig az egyik legstabilabb szám az energetika elmúlt 100 évi történetében! Bár az egyes fosszilis források közötti arányok természetesen változtak, a fogyasztás is nagymértékben megnőtt, mégis összességében 100 évvel ezelőtt és ma is ugyanolyan az arányuk a teljes ellátásban. Az ásványi készletek nyilván végesek és csak arról vitatkozhatunk, hogy meddig tartanak ki. Biztos vagyok abban, hogy a jelenlévők fiatalabbja még megéli a források kimerülésének jeleit, következményeit.

Másodszor, tény az, hogy a jelenlegi energiaellátás gyakorlata súlyos környezeti problémák és komoly politikai-gazdasági feszültségek forrásai. Itt a klímaváltozás lehetőségét is felvető széndioxid problémán túl egy sor karcinogén anyag, nehézfémek kibocsátására is gondolok. Világos, hogy jelentős mennyiségű energia megtermelése és felhasználása az említetteken kívül is óriási környezeti hatásokkal jár. Bányákat kell működtetni, salakhegyek, meddőhányók keletkeznek. Csak Magyarországon több mint 10000 tájseb van, ha utazunk az országban, mindenütt találkozunk velük. Az energiatermelés mindig nagy területek elfoglalásával jár, tájrombolással a vezetékek, csőhálózatok, utak, gyárak elhelyezése. Megjegyzem, hogy mindezek igazak még a megújuló energiaforrásokra is, ha jelentős mennyiségű energiát állítunk elő. Egyáltalán, az energiaforrásokat csak azonos megtermelt

energiára vonatkoztatva szabad összehasonlítani. Ilyen összehasonlításban sokszor egészen más környezeti hatások, károkázások is kiderülnek, mint amire először gondolunk. Ráadásul az energiaforrások, azok közül is különösen a szénhidrogének földrajzilag igen egyenlőtlen módon oszlanak el a Földön.

Harmadszor, nyilvánvaló, hogy az energiaellátás területén már most más megoldásokat kell keresnünk. Ezek közül is a legvonzóbb az energiatakarékosság. Azonban alapos elemzés után kiderül, hogy komoly energiamennyiséget nehéz megtakarítani. A hatékony takarékoságnak rengeteg technikai, társadalmi és politikai feltétele van. Ezekkel most nem fogok foglalkozni, csak megállapítom, hogy minden tanulmány azt mutatja, hogy legjobb esetben is azt lehet elérni, hogy az energiafelhasználás növekedése megálljon. Ennél többet a takarékosággal a következő öt évtizedben valószínűleg nem érünk el.

Fontos megemlíteni a megújuló energiaforrások felhasználásának és az atomenergetikának a jelenlegi helyzetét. Ezek kb. egyforma részarányal mintegy 15%-át adják az energiatermelésnek. A megújulók között a legnagyobb részaránya ma a vízenergiának van, a többi elterjedése kicsi. Mindezt figyelembe véve szinte biztos, hogy csak a megújulókra hagyatkozva az energiaigények kielégítése a következő 30-50 évben reménytelen. – Nem jobb a helyzet az atomenergia értékelésénél: mindenütt komoly társadalmi csoportok ellenzik az elterjedését, a nukleáris kérdésekkel kapcsolatos vita az érdeklődés és sokszor a politikai csatározások fókuszában van.

A jelen elemzése után beszéljünk arról, hogy milyenek képzeljük energetikai jövőnket? Ez nagyon sok kérdéstől függ, amelyek többségére nem ismerjük a pontos választ. Tudnunk kellene, hányan fogunk élni a Földön? Mennyi energiára lesz szükségünk, milyen alkalmazásokra, energia-felhasználásra lesz társadalmi igény, milyen életszínvonalon fogunk élni? Mennyire tudunk majd a kialakuló társadalmi-politikai-gazdasági környezetben takarékoskodni? Milyen energiaforrásokat fogunk alkalmazni? Elterjednek-e a megújuló energiaforrások? Ma úgy tűnik, hogy mindegyik felhasználásával kapcsolatban fellép valamilyen speciális nehézség, amelyet a jövőben majd át kell hidalnunk. Mire, milyen elosztásban fogjuk felhasználni az energiát? Hogyan fogjuk kezelni a környezeti ártalmakat? Az szinte bizonyos, hogy a klímaváltozás elkerülhetetlen. – A célunk természetesen a biztonságos energiaellátás megszervezése lesz. A fenntarthatóság a jövő energiaháztartásának kulcsfontosságú kérdésköre!

A jövőben az alapvető kihívás az, hogy a népesség 2100-ban 8 és 11 milliárd fő között lesz, ezt statisztikai alapon biztonsággal állíthatjuk. Jelentős lesz az átalakulás Ázsiában. Gondoljunk csak a most gyorsan fejlődő két gazdasági óriásra, Kínára és Indiára, amelyek nyilván erős szándékkal fognak utánanyúlani az elérhető energiaforrásoknak. A szaharai övezettől délre eső térségben milliárdnyi embert kell bevonni az energiaellátásba. Világszinten ez mintegy kétmilliárd új fogyasztót jelent, ami rengeteg energiát jelent. Eközben gondolni kell arra, hogy a kőolaj- és a földgázkészletek beláthatóan korlátosak. A környezetvédelmet helyi szinten kell megvalósítani, de szükség van biztonságos globális környezetre is. Mindez befolyásolja az energiaigényeket és az sem biztos, hogy a változások minden részletnél optimális irányban történnek.

Mennyi energiára lesz szükségünk? Meglehetősen biztos kiindulási pontot jelent az, hogy három és fél évtizede az energiafogyasztás változásai szoros korrelációt mutattak az emberek számával. Ez nagy valószínűséggel a jövőben is így lesz egy darabig. A további igények azonban várhatóan a nagyobb energiafogyasztás irányába tolják el a várakozásokat. Így 2020-2030-ig mintegy 700 EJ-ig fel fog csúszni az energiafogyasztás.

Ez a ~700 EJ igény új energiarendszert vetít elénk. Ebben domináns szerep jut az elektromos energiának. A szén komoly szerepet fog játszani. Az, hogy az előbb vázolt

problémákat is megoldjuk, politikai akaratot és elszántságot is igényel. Támogatásra van ugyanis szükség az energetikai fejlesztésekhez, mert ezek nélkül a célok bizonyosan elérhetetlenek. Több területen nagy technológiai áttörésre van szükség, amelyek átfutása egyenként tipikusan ~20 év. Ráadásul sok területen még abban sem értünk egyet, hogy milyen irányba kellene indulnunk.

Globális környezeti követelmény, hogy a széndioxid kibocsátást csökkenteni kell. A légkör széndioxidtartalma 2100-ra szinte bizonyosan eléri a ~750 ppm-es szintet. A globális felmelegedés és az azzal kapcsolatos csapadékváltozások tömeges kihaláshoz is vezethet. Az átalakulás az óceánok kémiaját is megváltoztathatja. A felszín savassága nő, ami veszélyezteti majd a korallképződést. Ennek messze ható következményei lehetnek.

MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK

Mit lehet tenni? Az energiatakarékosságról és a nukleáris energiáról már röviden beszéltem. A fúziós energia megoldást jelentene, de annak megvalósításától az éppen aktuális becslések szerint mindig 50 év távolságra voltunk, most is annyira vagyunk tőle. Maradnak a megújuló energiaforrások. Nos, ez az, amire összpontosítanunk kell. Ezek a fizika tanárt bizonyosan érinti, hiszen nincsen olyan energiafajta, amely hasznosításánál a fizikának ne lenne döntő szerepe. A megújulók azonban hatékonyság és környezeti ártalmak szempontjából erősen vitathatók. Amennyiben ezeket azonos jelentős megtermelt energiamentiségre vonatkoztatva vizsgáljuk, minden esetben jelentős környezeti veszélyek léphetnek fel.

Hadd soroljam fel a megújuló energiaforrásokat! Ezek a napenergia közvetlen használata, azután a napenergia közvetett alkalmazása, a szél, a víz, a biotömeg, a hullámenergia. A geotermikus energia a Föld termikus tulajdonságaival van kapcsolatban, tulajdonképpen a hosszú felezési idejű radioaktív izotópok bomlása jelenti a forrást. Végül megemlítem az árpály energiát, aminek a mi országunkban fontos szerepe nem lesz. (Mégis érdemes megemlíteni, hogy fizikája igen érdekes és vannak olyan területei a Földnek, ahol jelentős energiát lehetne kinyerni a jelenség felhasználásával.)

A megújuló energiafajtáknál mindenekelőtt az elvi megvalósítás kérdéseiről kell beszélni. Mindegyikről felsoroltról megállapíthatjuk, hogy bizonyított tény, belőlük energiát lehet előállítani. Azonban további szempontokat vetnek fel a megvalósítás módszerei. Így fontos probléma a gazdaságosság, valamint az, hogy szinte mindegyiknél új technológiák megvalósításáról és elterjesztéséről van szó. Itt játszik szerepet a társadalmak technológia-felvevő készsége, amely a korábbi tapasztalatok szerint meglehetősen korlátos. Itt kell megemlíteni azt a megújulóakra általános tényt, hogy ezek általános értelemben vett energiasűrűsége minden esetben alacsony. A kollegák fogják érteni, az energiasűrűséget nem pontosan szó szerint értem, hanem úgy, hogy mindegyik megújulónál a jelentős energiatermeléshez vagy nagy tömegeket (pl. biomassza) kell megmozgatni, vagy nagy területeket kell lefedni (pl. napenergia, nagy duzzasztott tavak a vízenergiánál), vagy sok berendezést (pl. szél) kell építeni. Ez viszont szinte minden esetben komoly környezeti vonatkozásokat jelent.

A megújuló energiaforrások potenciáljának részletes elemzése azt mutatja, hogy a következő három-négy évtizedben a teljes energiaigénynek legfeljebb mintegy 20%-a elégíthető ki a segítségükkel és valószínű, hogy ennél csak kevesebbet lehet majd megvalósítani. Ezért önmagukban nem oldják meg az emberiség energiaproblémáját. Így a megújulókkal kapcsolatos illúziók azért veszélyesek, mert más fontos területektől elvonhatják a forrásokat, leállíthatják a fejlesztést. Tehát társadalmilag veszélyes és káros az a koncepció,

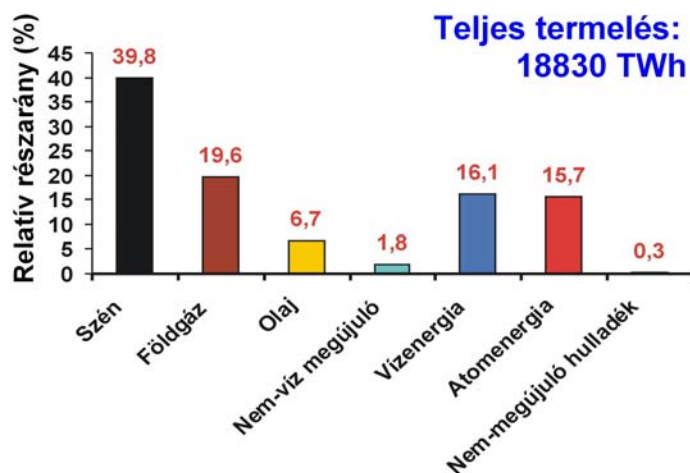
amely csupán a megújuló energiafajták felhasználását támogatja és más (ásványi, atom) energiaforrásokét nem.

VÍZENERGIA

A következőkben egy kiválasztott megújuló energiafajtát, a vízenergiát fogom tárgyalni. Rá fogok mutatni a vízenergia felhasználásának ellentmondásos jellegére és a tanításakor felmerülő kétarcúságra. Jelzem, hogy a vízenergiánál látottak hasonló formában jelentkeznek a többi megújuló energiafajtánál és a tanításnál felmerülő kérdések általánosíthatók.

A vízenergia tiszta megújuló energia, amely a Nap sugárzásából eredeztetni lehet. A víz párolgásával magas potenciálú helyre jut, ahonnan többek között vízfolyásokon, folyókon keresztül vissza az óceánokba, eközben energiát lehet termelni. Az emberiségnek nagy tapasztalata van a vízenergiával, hiszen évezredek óta felhasználjuk. Most is jelentős a részaránya az energiaháztartásban. Manapság a vízenergia lényegében csak olyan rendszereket alkalmaz, amelyekkel elektromos áramot lehet termelni. Erről láttuk, hogy kiemelten fontos a gazdaságnak.

Világ elektromos energiatermelése különböző forrásokból (2007)



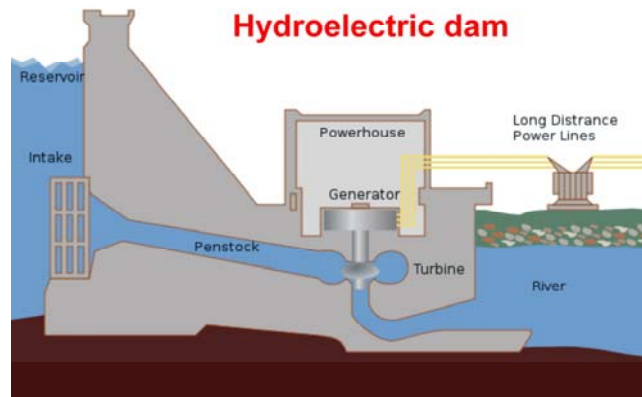
UNESCO Int. Hydropower Assoc. (2009)

4. ábra: Az elektromos energiatermelés források szerint

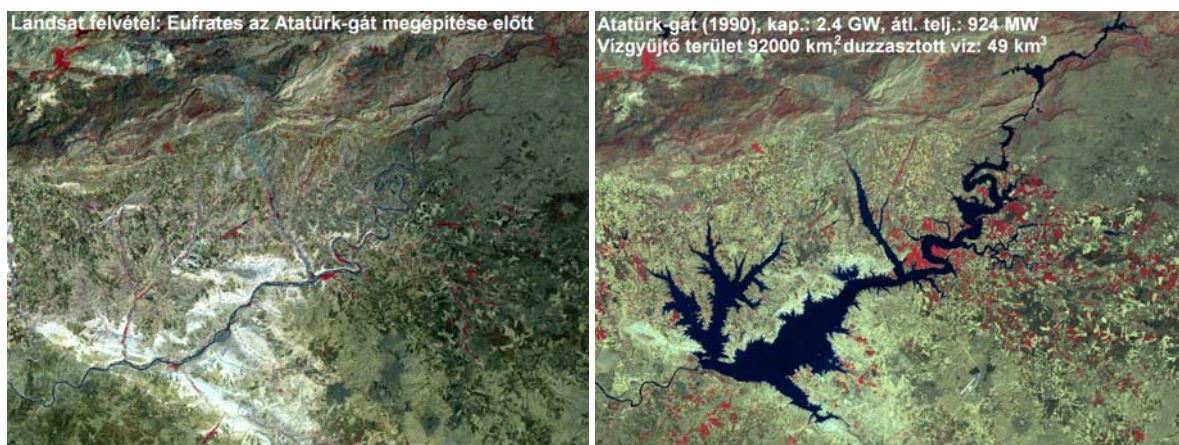
A 4. ábra a világ elektromos energiatermelését mutatja be az eredeti források szerint. Az ábrán láthatjuk, hogy a szén ~40, a földgáz ~20, a kőolaj pedig ~7%-al részesedik az elektromos energia előállításában. Ezekon kívül még két jelentős forrás van: a vízenergia és az atomenergia. A vízenergia részaránya 16.1%, vagyis a víz az egyik legjelentősebb energiaforrás az elektromos áram előállításában. Bár a víz segítségével megtermelt elektromos energia kevésbé nőtt, mint a teljes elektromos energiatermelés (1980 óta 1.74-szeresre a 2.26-szorossal szemben), mégis gyorsabban nőtt, mint ahogy a teljes energiatermelés általában bővült.

A vízerőművekről sokan nem tudják, hogy alapvetően két típusuk van. Az egyik a szokásos gát-a-folyón típus (5. ábra). A gát a két oldalán vízszintkülönbséget hoz létre. A vizet egy turbinán keresztül engedjük a magasabb potenciálú helyről az alacsonyabbra és a

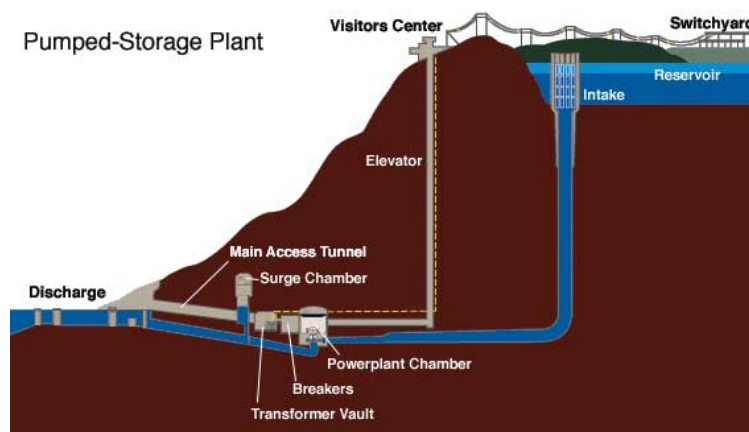
turbina elektromos energiát állít elő, a víz pedig a folyóban folytatja útját. A statisztikák szerint ez a típus messze az elterjedtebb és 2006-ban mintegy 850 GW elektromos összkapacitás volt beépítve az elektromos hálózatokba. Műszakilag még világszerte kb. 2500 GW megvalósítható, tehát ezen a téren nagyok a fejlesztési lehetőségek. Különösen így van ez Ázsiában, ahol a jelenlegi 330 GW teljesítménykapacitás mellett úgy további 1000 GW teljesítményre gazdaságilag előnyösen bővíteni lehet, miközben ez a növekedés műszaki szempontból akár 2500 GW is lehet.



5. ábra: A gát-a-folyón típusú vízerőmű vázlata



6. ábra: Landsat felvételek az Eufratesz völgyéről az Atatürk-gát megépítése előtt (balra) és utána (jobbra)



7. ábra: Szivattyús tározós típusú vízerőmű vázlata

Az 1. Táblázat a Föld legnagyobb vízerőműveit foglalja össze. E gátaknál mindenütt közös, hogy sok száz négyzetkilométeres, óriási területeket árasztottak el.

A duzzasztóművek mindenütt óriási változásokat hoztak a körülvevő tájban és környezetben. Példaként a Törökországban az Eufráteszen az 1990-re megépített Atatürk-gát hatását mutatom be két Landsat felvételen (6. ábra). A felduzzasztott víz mennyisége 49 km^3 , a folyó négy évi vízhozama. A gát vízgyűjtő területe Magyarország méretű. A beépített elektromos kapacitás 2.4 GW, az átlagos elektromos teljesítmény 924 MW.

A másik vízerőmű típus a szivattyús tározós erőmű (7. ábra). Ezen erőműtípus alkalmazásánál azt a tényt használják ki, hogy az elektromos energiát akkor kell előállítani, amikor fel is használják. Szükség van olyan erőművekre, amelyek képesek gyorsan követni a szükségletek ingadozását. Ilyen áramfejlesztők a szivattyús tározós erőművek. Lényegük az, hogy egy alacsonyabban fekvő víztározóból szivattyúkkal felpumpálják a vizet egy magasabban fekvő tározóba abban a napszakban, periódusban, amikor alacsony a fogyasztás és ezért olcsó az áram. Amikor pedig több elektromos energiára van szükség, akkor megfordítják a víz irányát és azt turbinán keresztül az alacsonyabb szinten lévő tározóba engedve áramot állítanak elő.

Táblázat: A Föld legnagyobb vízi erőművei

<i>Név</i>	<i>Kapacitás</i>	<i>Elárasztott terület</i>
Three Gorges Dam (Kína)	22.5 GW_e	632km²
Itaipu (Br-Paraguay)	14 GW_e	1350km²
Guri (Venezuela)	10.2 GW_e	4250km²
Tucuruí (Brazília)	8.37 GW_e	3014km²
Krasnojarskaya (R)	6 GW_e	2000km²

Megjegyzem, hogy a vízerőművek általában is alkalmasak arra, hogy nagy elektromos rendszerek stabil működését elősegítsék. Egy vízerőművet néhányszor 10 másodperc alatt alacsony teljesítményről a teljes kihasználtságig fel lehet pörgetni, így igen értékes elemei a nagy elektromos hálózatoknak. Példaként az általam tavaly meglátogatott Geesthacht-i (Németország, Alsó-Szászország) szivattyús erőművet említem. A szintkülönbség a két tározó között ~90 m, a teljes tárolt energia 600 MWh. A turbinákat bekapcsolva 120 MW teljesítmény 70 másodperc alatt érhető el. Az erőmű használatára jellemző, hogy 2008-ban több mint 4000 alkalommal kapcsolták be egyik, vagy másik irányban. – A magyar elektromos hálózat egyik nagy hiányossága, hogy nincsenek vízerőműveink és ezért a teljesítményingadozásokat a lényegesen drágább és környezetet jobban szennyező gázturbinákkal egyenlítik ki.

Soroljuk fel, hogy milyen előnyei vannak a vízenergiának a többi energiafajtaéhoz képest!

- Ismert és kipróbált technológia.
- Nincs fűtőanyagköltség, kevés munkatárssal működtethetők, alacsony a bér rész.
- Segíti a nagy elektromos rendszerek optimális működését.
- Nincs káros anyag kibocsátás.

- Lehetőséget nyújt tudatos vízgazdálkodásra.
- Segíti az árvízvédelmet és javítja a hajózási körülményeket.

Ugyanakkor beszélni kell a vízenergia hátrányairól is.

- A beruházás hosszas és költséges.
- Nagyon sok embert érinthet, esetenként a tömeges kitelepítés sem kerülhető el. Így pl. a kínai Három Szoros Gát építésénél mintegy 1300 falut elárasztottak és 1.2 millió embert kitelepítettek.
- Minden nagyobb vízerőműnél óriási területeket elárasztanak (l. 1. táblázat).
- Általában nagy és visszatetszést kiváltó létesítmények.
- Megváltoztatják, általában rontják a tájat.
- Természetes élőhelyeket elválaszt, a folyó ökológiai állapota alapvetően megváltozik. Általában jelentős hatással van a talajvízszintre.
- Megváltoznak a folyó tulajdonságai, többek között megváltozik a vízminőség.
- Veszély a gáttól: a tározó nagy tömege szeizmikus mozgásokat okozhat. Hangsúlyozni kell, hogy a természeti törvények nem zárják ki a gátak átszakadását, erre már eddig is több elrettentő példát lehet felhozni. Így kötelező, hogy az építmény megalkotása és folyamatos karbantartása legyen megfelelő.
- Politikai stabilitásra van szükség, hogy ki lehessen zárni az esetleges terrortámadásokat.

Mindezek után nyilvánvaló, hogy a vízenergia hasznosításának megítélése nagyon ellentmondásos. Egyrésztől fel lehet sorolni, valóban tiszta, megújuló energiáról van szó, amely gazdaságilag általában nyereséges. Ráadásul a fenntarthatóság is biztosított. Ugyanakkor komoly ökológiai aggályok merülnek fel és a vízenergiával kapcsolatos veszélyek sem elhanyagolhatóak. Egy jelentős kapacitású vízerőmű nagymértékben átalakítja, befolyásolja a környezetet, megépítése érthetően vált ki ellenérzéseket sok emberben.

Hogyan tanítsuk ezek után a vízenergiával kapcsolatos ismereteket? Szerintem a legfontosabb parancs az, hogy az iskolában őszintén beszéljünk mind az előnyökről, mind a hátrányokról és veszélyekről. Ezeket mind egyenként tárgyyszerűen és részletesen kell tárgyalni. A legfontosabb az, hogy elérjük: a diákoknak saját véleményét kell kialakítani a kérdéskörrel kapcsolatban. Világossá kell, hogy váljon: a modern világ előnyeit és hátrányait egyszerre kell mérlegelni és a demokratikus társadalomnak az a feladata, hogy az ismeretek birtokában tudatosan döntsön arról, hogy milyen célért milyen kockázatot hajlandó vállalni. Ebben az értelemben a vízenergia kérdésköre csak egy jellegzetes példa az energetikával kapcsolatos elvileg hasonló elemzésekre.

ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalva az előadásban igyekeztem megvilágítani, hogy az energiaellátás biztosítása a XXI. század egyik sorskérdése. Az energetikában egészen bizonyos, hogy az eddigi eljárások és módszerek hosszabb távon fenntarthatatlanok. Az új, fenntartható energetikai rendszerekhez vezető utat a tudomány jelöli ki. Eközben a környezeti hatások vizsgálata

hangsúlyos szerepet kap és fontos azt is felismernünk, hogy jelentős mennyiségű energia megtermelése már eddig is mindig a környezet komoly átalakításával járt és ezután is azzal fog járni. Az energetika kérdéskörének ellentmondásossága a jövőben még nyilvánvalóbbá fog válni: a fenntartható energiaellátás bármilyen energiatípussal is biztosítsák nagy környezeti terheléssel párosul. A legfőbb kérdés az, hogy ezeket a problémákat időben felismeri-e a társadalom?

SZERZŐ

Kiss Ádám

ELTE Atomfizikai Tanszék, kissadam@ludens.elte.hu