

Az atomenergia alkalmazásának nem műszaki szempontjai

Dr. Trampus Péter

Trampus Mérnökiroda

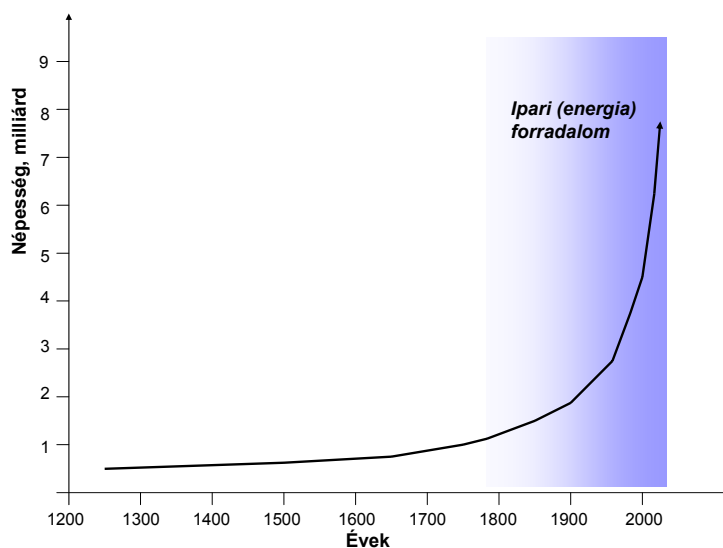
2060 Bicske, Zrínyi Miklós u. 20., +36 22 262 418

Az atomerőművek azon nyilvánvaló adottságuk eredményeként, hogy működésük közben nem bocsátanak ki üvegházhatású gázt, hozzájárulnak a globális éghajlatváltozás ütemének lassításához. Ahhoz, hogy hozzájárulásuk a jelenleginél határozottabb legyen, olyan akadályokat is le kell győznie az emberiségnek, amelyek elsősorban nem műszaki vagy gazdasági, hanem egyéb (etikai, pszichológiai, szociális, kulturális) okokra vezethetők vissza. Az atomenergia alkalmazásának ezek a szempontjai gyakran nem kapnak akkora figyelmet, mint a tisztán műszaki, gazdasági vagy éppen proliferációs szempontok. A cikkben – elsősorban a nemzetközi fórumokon elhangzottak, valamint vezető folyóiratokban publikáltak alapján – sorra vesszük és röviden elemezzük ezeket a szempontokat, majd következtetéseket vonunk le az atomenergia jövőbeni alkalmazására nézve.

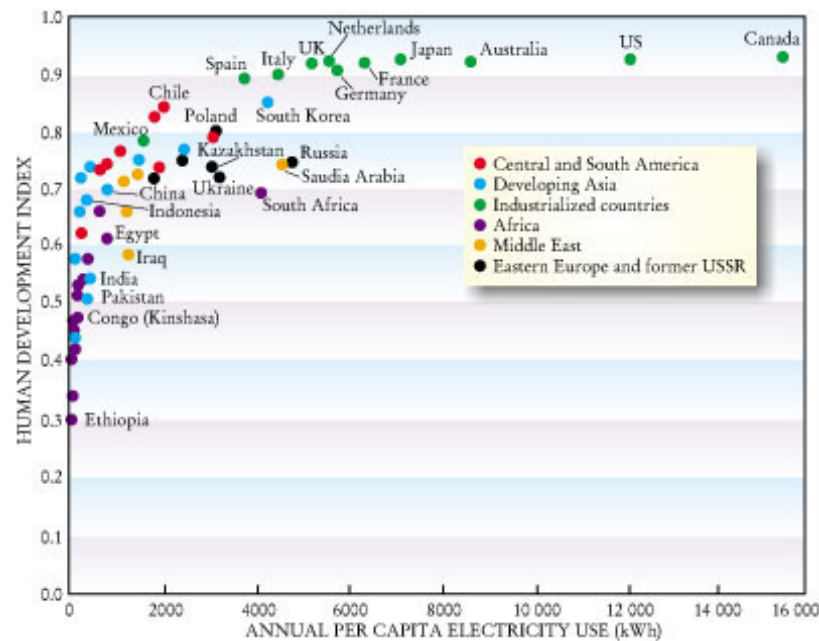
Bevezetés

Az emberi társadalom működése – hasonlóan más, dinamikus folyamatokból felépülő rendszerekhez – külső energiát igényel. Egészen a XIX. század kezdetéig a külső energia forrása közvetlen vagy közvetett formában a Nap volt. A XIX. század kezdetén váltak tömegesen elérhetővé a fosszilis primerenergia-hordozók, ami megváltoztatta az életet, és jelentős mértékben hozzájárult – egyebek mellett – a népesség exponenciális növekedésének elindulásához, 1. ábra.

Ma az emberiség energiaellátással kapcsolatos problémája (divatos kifejezéssel élve: kihívása) kettős. Az egyik problémát a világ népességének és a fejlődő országok életszínvonalának folyamatos növekedésével együtt járó energiaigény kielégítése jelenti. A másik probléma a növekvő energiaigény kielégítésével egyidejűleg a globális éghajlatváltozás kezelése. A cikk általánosságban az energiaprobléma és kifejezetten az atomenergia alkalmazásának műszaki-gazdasági szempontjain túlmutató aspektusait kísérli meg összefoglalni.



1. ábra: A világ népességének növekedése a XIII. századtól



2. ábra: Emberi fejlettségi index a villamosenergia-fogyasztás függvényében [4]

A népesség növekedésének kérdése

Az emberiségnek a Földre gyakorolt hosszú távú hatását a népesség és az életmód határozza meg. Ha elfogadjuk azt, hogy az „ökológiai lábnyom” jól definiálja azt a területet (földet, vizet, keletkező hulladék elhelyezését, stb.), amely egy ember életéhez szükséges, akkor kijelenthető, hogy csaknem három Föld nagyságú bolygó kellene ahhoz, hogy a 2050-re prognosztizált népesség a jelenlegi életmód és fogyasztási szokások megtartásával folytathassa életét. Abban az esetben, ha az emberiség alapvetően megváltoztatná életmódját és fogyasztási szokásait, akkor akár 10 milliárd ember is élhetne a Földön. Ennek az lenne a feltétele, hogy lakásaik nem lennének nagyobbak, mint a japán miniatűr hotelek (*capsule hotels*), rizs-alapú vegetáriánus diétán élnének, nem vagy keveset utaznának, a világhálón kommunikálnának, pihenési és szórakozási szükségleteiket a virtuális valósággal elégítenék ki és így tovább. A felvázolt tendencia egyébként illeszkedik a jelenlegi környezetbarát fejlődési tendenciához (miniatűrítés, információs technológia), megvalósulása mégis erősen kétséges [1]. Ezért az emberiségnek szembe kell néznie a népesség növekedés problémájával. Amennyiben feltételezzük, hogy a fejlett országok energia igénye nem növekszik jelentős mértékben, ez akkor is a jelenlegi energiaigény megkétszereződését-megháromszorozódását jelentheti az évszázad közepére.

Annak ellenére, hogy az energiaprobléma egyik oka a népesség növekedése (ami a világ különböző országaiban egymástól jelentős mértékben eltérő tendenciát mutat), ritka annak a következtetésnek a hangoztatása a tudósok körében, hogy magát ezt az okot kellene kiküszöbölni. A népesség stabilizálásának kérdéséről általában nem beszélnek, aminek érthető politikai, humanitárius és egyéb

okai lehetnek, de a hallgatás talán azzal is magyarázható, hogy az érintett tudósok (fizikusok, mérnökök) nem szívesen lépnek ki tudomány területük határain túlra. Nem beszélni a kérdéstről ebben a megközelítésben viszont annyit jelent, mint amikor az orvos aspirint ír fel rákbetegnek – mondta *Bartlett*, egy amerikai fizikus, aki a jelenséget a tudósok csendes hazugságának nevezte [2]. *Bartlett* javaslata, hogy amennyiben elfogadjuk azt, hogy a probléma gyökere valóban a népesség növekedése (amit meggyőződéssel állít), akkor a legfontosabb megvitandó kérdés az, hogy mi ad jobb általános megoldást: a népesség stabilizálásán dolgozni, vagy a folyamatosan szűkülő forrásokat a folyamatosan növekvő népesség között elosztani? Ebben a kérdésben felelőssége van a fizikus társadalomnak. A kérdés ilyen felvetése természetesen a legszélsőségebb reakciókat váltotta ki, lásd a *Physics Today* 2004. évfolyamának későbbi olvasói leveleit.

Az emberi fejlettség és a villamos energia

Azt gondolhatnánk, hogy több energia felhasználása nagyobb jóléttel párosul, ami azonban csak általánosságban igaz. Ha egy ország lakossága növekszik, a többlet energiát a nagyobb népesség azonos (vagy csökkenő) életszínvonalon tartására is fel lehet használni. Az életszínvonal növelésére csak abban az esetben lehet esély, ha a többlet energia előállítására és felhasználására hatékonyabb a jelenleginél. Az ENSZ a tagországai statisztikai mutatóiból létrehozta az „emberi fejlettségi” indexet (*Human Development Index, HDI*) [3]. A HDI egy ország átlagos eredményeit az emberi fejlődés következő területeinek eredményeit szintetizálva fejezi ki: hosszú és egészséges élet, tudás, és tisztességes életszínvonal. A 2. ábra a világ 60

legnépesebb országának HDI értékét mutatja a villamos energia felhasználásuk függvényében (az ábrán olyan ország szerepelnek, amelyekre létezik HDI). Az ábrából látható, hogy a HDI kb. 4000 kWh éves fogyasztás felett egy állandósult, magas értéket mutat. Annak ellenére, hogy minden ország helyzete egyedileg kezelendő, ez a korreláció évtizedekre visszamenőleg érvényesnek tűnik. Mindebből az a következtetés vonható le, hogy a szegény országok jólétének növelése jelentősen nagyobb energiafogyasztást fog igényelni a jelenlegi előrejelzéseknél [4].

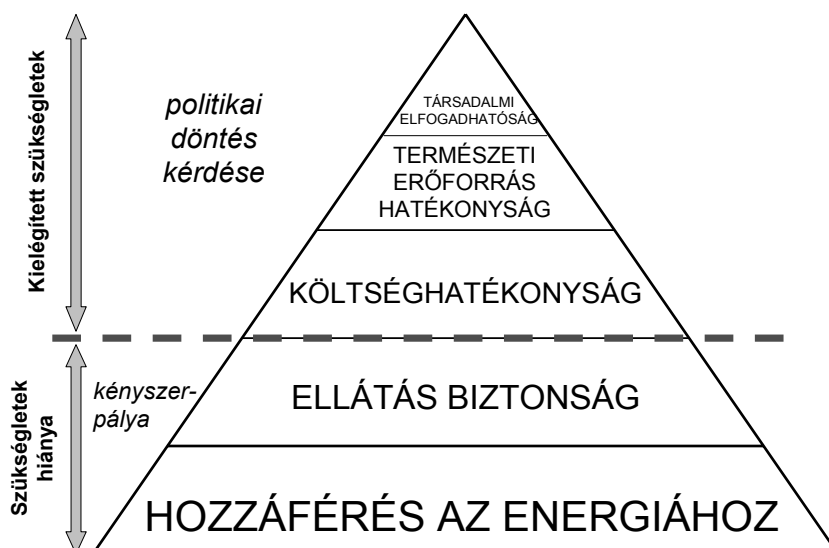
Míg az éghajlatváltozás globális természete és hatása megkérdőjelezhetetlen, addig a világ országai az ok kiváltásában nem egyformán vettek részt. A gazdag (OECD) országok bocsátották ki az üvegházhatású gázok többségét. A szegény országok érintettsége viszont fokozottabb, amit földrajzi helyzetük, a mezőgazdaságtól való erősebb függésük és természeti erőforrásaik hiányában sebezhetőségük magyaráz. Ez a helyzet kettős egyenlőtlenségre mutat rá: egyrészt a gazdag országok felelősségére a jelenlegi helyzet miatt, másrészt, hogy a következmények erősebben érintik a szegény országokat [5]. Ennek az egyenlőtlenségnek a kezelése etikai megközelítést is igényel.

Az energiaigények kielégítésének hierarchiája

Maslow amerikai pszichológus a múlt század közepén alkotta meg elméletét az emberi igények motivációs szerkezetéről. Az igényeket csoportokba rendezte, és definiálta ezek hierarchiáját, amit vizuálisan a róla elnevezett Maslow-piramis szemléltet [6]. Ennek lényege, hogy az ember csak a fizikai és szellemi jóléttel kapcsolatos alacsonyabb rendű igényei kielégítését követően törődik a

személyisége fejlődésének magasabb rendű igényeivel. Visszatekintve a nemzeti energiapolitikák kialakulására és fejlődésére megállapítható, hogy a piramis modell alkalmazható rájuk is: csak miután az energiához való hozzáférés biztosított volt, akkor került át a hangsúly az ellátás biztonságára, majd csak ezt követően vették figyelembe a költségek hatékonyságát. Az iparilag fejlett országok az 1970-es évek végétől kezdtek figyelni a természeti erőforrásaik hatékonyságának a kérdésére, és csak ezután a társadalmi elfogadhatóságra. A 3. ábra az energiapolitika Maslow-piramisát mutatja be [7]. Amennyiben érvényesnek tekintjük az emberi igények hierarchiájával való analógiát, akkor nyilvánvaló, hogy az egyes prioritások közötti egyensúly kialakítása politikailag korlátozottan és kizárólag a magasabb rendű társadalmi igények - mint a fenntarthatóság - biztosítása esetében lehetséges.

Az előzőekből következik, hogy ameddig az ellátásbiztonság dominál (vagy jelen van) a nemzetközi energiapolitika színpadán, addig erősen kétséges a nemzetközi megegyezés a magasabb rendű igények kérdésében (*Kiotói Egyezmény*). Tény, hogy világszerte még mindig kb. másfél milliárd ember nem fér hozzá a villamos energiához. Fontos kérdés az ellátásbiztonság fogalmának a helyes értelmezése. A közvélemény ellátásbiztonsággal kapcsolatos felfogása ugyanis nem csak tényeken nyugodhat, hanem bizonyos mértékben érzelmi alapokon is. Mindaddig, amíg az ellátásbiztonság megfelelő szintjéről nincs egyetértés, addig a magasabb rendű igények tükrében megkérdőjelezhető érdekcsoportok a „félelem taktikáját” alkalmazva azt sugallhatják, hogy az ellátásbiztonság adott szintje nem megfelelő, és a figyelmet a magasabb rendű igényekről átterelhetik pusztán az ellátásbiztonság kérdésére.



3. ábra: Az energiapolitika Maslow-piramisa [7]

Szendioxid-kibocsátás nélküli technológiák

A világon évente 18.000 TWh villamos energiát állítanak elő, ami gigatonnában mérhető mennyiségű széndioxid kibocsátásával jár. A széndioxid-kibocsátás nélküli technológiák közül a vízerőművek, az atomerőművek és a szélerőművek sorolhatók az érett technológiák közé. A képet a biomassza, a geotermikus energia, továbbá a nap és az óceán energiája teszi teljessé. Nyilvánvaló, hogy a növekvő energiaigény kielégítésére és a globális éghajlatváltozásra adandó „globális” válasznak ezekre a technológiákra kell épülnie. A széndioxid-kibocsátás nélküli technológiák értékelése több szempontból lehetséges és szükséges. Ilyen szempontok például: a primerenergia-hordozó, valamint a technológia rendelkezésre állása, a létesítés és üzemeltetés költsége, az energiaátalakítás hatásfoka, környezeti, biztonsági, elfogadási szempontok, stb. Erről számtalan értékelést, rangsorolást lehet olvasni akár magyar nyelven is, (például [8, 9]), amelyeket azonban befolyásolhatnak a különböző érdekcsoportok (utalunk itt az előző pontra). A közelmúlt egyik tárgyilagos elemzése olvasható a [10] hivatkozásban. Meggyőződésünk, hogy az atomenergia magában hordozza azt a lehetőséget, hogy tartósan részt vállaljon az energiaprobléma alapvető kérdéseinek a megoldásában.

Az atomenergia alkalmazásának ellenzése

Az atomenergia békés alkalmazását kezdettől fogva árnyak kísérik, ami kihat a technológia alkalmazása jövőjének a megítélésére. Az alkalmazásra a legsötétebb árnyékot a Hirosimára és Nagaszakira ledobott bombák vetik. Ennek eredményeként az atomenergiát a világ kezdettől fogva nem a tudomány egyedülálló vívmányának tekintette, mert az emberekben az atomenergia fogalmával való találkozás elsősorban az atomháborútól való félelmet asszociálta. Ezt az asszociációt csak erősítette a múlt század közepén a hidegháború atomfegyverkezési versenye, majd megkoronázta az atomenergia ellenes mozgalmak megjelenése a nyugati demokráciákban. Ez utóbbiaknak sokkal inkább társadalmi mozgatórugói voltak, mint az atomenergia békés alkalmazásának tényleges elutasítása. A mozgalmak az Amerikai Egyesült Államokban a kormány külpolitikáját ellenző mozgalmakból nőttek ki, Nagy-Britanniában a szociálpolitikai problémák adtak lendületet nekik, és szinte mindenütt a pop-kultúra részeivé váltak. Mindezeket kiegészítették a 90-es évek energiaipari liberalizálási és privatizálási folyamatai, amelyeket úgy lehet röviden jellemezni, hogy a közgazdász gondolkodás úrrá lett a mérnöki gondolkodáson [11]. Az atomerőmű-építkezések világméretű megtorpanásához tehát több különböző tényező hozzájárulása kellett, amelyek együttes hatása lényegesen jelentősebb volt, mint például a TMI atomerőmű balesete, ami egyébként ugyanebben az időszakban történt.

Az atomenergia ellentmondásos megítéléshez az előző – elsősorban érzelmileg és politikailag motivált – okokon túl

több, a társadalom szemében irracionális elem is hozzájárul. Ezek a tudománynak (elsősorban a fizikának) a XX. század első felében lezajlott azon jelentős szemléletváltásával hozhatók összefüggésbe, amely nélkül a nukleáris energia sem katonai, sem polgári alkalmazást nem nyert volna. A viszonylag egyszerűen befogadható newtoni mechanika mellett megjelent a hétköznapi ember szemében misztikus einsteini relativitáselmélet, és a kvantummechanika. Az érthető determinisztikus szemlélet mellett megjelent a jelenségek valószínűségi szemlélete és ennek a törvényszerűségeit leíró elmélet. Az ellentmondásos megítéléshez jelentős mértékben hozzájárul az is, hogy a nukleáris technológia olyan technológia, amelyhez hozzátartozik a radioaktív sugárzás. Megjelent tehát egy olyan veszélyforrás, amelyet az emberi érzékszervek nem érznek. A példaként említett jelenségek a tudósok számára érthetőek, de a hétköznapi emberek döntő többsége számára felfoghatatlanok, ezért gondolkodásukban zűrzavart okoznak. A zűrzavar mesterségesen fokozható, lásd az előző bekezdésben írottakat. Ennek a zűrzavarnak a társadalmi gondolkodásban való tartós uralkodása szorosan összefügg az ismeretek hiányával, ami felhívja a figyelmet a (természettudományos) oktatás mellett a korrekt és mindenki számára érthető tájékoztatás szükségességére. Az előzőek alapján érthető, hogy egy ilyen komplex kérdésben nehezen képzelhető el társadalmi méretű egyetértés. A társadalmi egyetértés hiányát pótolhatja politikai akarat, ami viszont megoszthatja a társadalom eltérő módon gondolkodó csoportjait.

Érdeemes elgondolkodni azon, hogy a nyugati világban megtorpant (jelenleg újraéledésének jeleit mutató) atomenergia miért nem vesztette el hitelét Ázsiában. Különösen érdekes a kérdés felvetése Japán esetében, aki elszenvetted az egyetlen atomcsapást. Ugyan eltérő berendezkedésű országokról van szó, ha Indiát, Kínát, Korát vagy Japánt tekintjük, de nem hagyható figyelmen kívül az a hatalmas kulturális örökség, amely ezen országokra jellemző. Indiai tudósok szerint az energiaprobléma megoldásának záloga a keleti és nyugati filozófia alappilléreinek együttes, előítéletektől mentes, és kiegyensúlyozott figyelembe vétele lehet [12], ami hozzájárulhat egy valódi paradigmaváltáshoz. Itt energia, élelem, ivóvíz, föld, egészség komplex módon kezelendő, ami az etikai, ökológiai, emberi jogi kérdések együttes figyelembe vételével jár. A kérdés ilyen megközelítésének igényét alátámasztja, hogy érzékelhetők a jelei annak, hogy ahogyan a XX. század műszaki fejlődésének gyökerei Európában voltak, úgy a XXI. század fejlődését Ázsiában fogják írni.

Következtetések

Az energiaprobléma megoldása és ezen belül az atomerőművek hosszú távú szerepének megerősítése jelentős erőfeszítéseket igényel az emberiségtől. Az erőfeszítéseket több síkon kell kifejteni. Egyrészt az energiaprobléma nem kezelhető elszigetelten más globális problémáktól, másrészt nem szűkíthető le egyszerű műszaki vagy gazdasági kérdésekre. Egyre többször

találjuk szembe magunkat a kérdés etikai vonatkozásaival, amelyek kezelése nélkül a megnyugtató megoldás nehezen képzelhető el. Úgyszintén megkerülhetetlenek azok a filozófiai vonatkozások, amelyek a keleti és nyugati kultúra egymástól eltérő gyökerein alapulnak. Előrelépés szükséges az oktatásban és a tárgyilagos információszolgáltatásban az atomenergiától való indokolatlan félelem eloszlására. A

probléma sikeres megoldásához, egyúttal az atomenergia jövőjéhez az egész világra kiterjedő (globális) együttgondolkodásra van szükség. A globális együttgondolkodás feltétele egy „fejlett” civilizáció, és a fejlett jelzõt itt nem gazdasági vagy ipari, hanem annál lényegesen szélesebb értelemben használjuk.

Irodalomjegyzék

- [1] M. Rees: *Our Final Century*, William Heinemann, London, 2003.
- [2] A. A. Bartlett: *Thoughts on Long-Term Energy Supplies: Scientists and the Silent Lie*, *Physics Today*, July 2004, p. 53-55.
- [3] <http://hdr.undp.org/en/statistics/>
- [4] S. G. Benka: *The Energy Challenge*, *Physics Today*, April 2002, p. 38-39.
- [5] *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, 2007.
- [6] A. Maslow: *A theory of human motivation*, *Psychological Review*, 1943, p. 370-396.
- [7] C. W. Frei: *The Kyoto protopol – a victim of supply security? or: if Maslow were in energy politics*, *Energy Policy*, 32, 2004, p. 1253-1256.
- [8] Vajda Gy.: *Kockázat és biztonság*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.
- [9] Fazekas A. I.: *Villamosenergia-termelési technológiák jellemzői*, Magyar Atomfórum Egyesület, Budapest, 2005.
- [10] Q. Schiermeier et al: *Electricity without Carbon*, *Nature*, 14 August 2008, p. 816-823.
- [11] W. J. Nuttall: *Nuclear Renaissance: Technologies and Policies for the Future of Nuclear Power*, Institute of Physics Publishing, London, 2005.
- [12] B. Raj: *Ethics, Equity and Energy*, Presentation to Academia NDT International, Shanghai, China, 26 October 2008.