

## ATOMERŐMŰVEK

Az atomerőművek működési elve azon alapul, hogy bizonyos magas rendszámú és nagy tömegszámú (atomsúlyú) atomok hajlamosak a széthasadásra, ennek során az atommagot összetartó kötési energia felszabadul, és villamos áram termelésére hasznosítható.

A hasadó anyagként szóba jöhető elemek közé tartozik az uránium, a plutónium, a tórium, és esetleg a kalifornium.

Van más lehetőség is, könnyű atommagok egyesítése, vagyis a magfúzió.

A nukleáris reakció során felszabaduló energia mennyisége a reakcióban fellépő tömegvesztésből számítható ki, Einstein  $E=m \cdot c^2$  képlete alapján.

Eszerint 1 kg tömeg vesztéség egyenértéke kb. 25.000 GWh (gigawattóra) energia.

A számításnál azonban figyelembe kell venni, hogy a nukleáris üzemanyagnak csak kisebb hányada hasad, és azt is, hogy a keletkező hőenergiából csupán a különféle termikus, mechanikai, és egyéb veszteségek után megmaradó energiából lesz gyakorlatban hasznosítható villamos energia.

### Uránium alapú erőművek

Az uránium rendszáma 92, és a természetes urán háromféle tömegszámú izotópot tartalmaz, összetétele a következő:

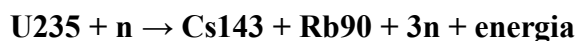
U238	99,27 %
U235	0,72 %
U234	0,01 %

Láncreakciós hasadásra az U235 alkalmas, az ehhez szükséges kritikus tömeg kb. 13 kg. Mivel ebből kevés van, az atomreaktorok működtetéséhez az uránt dúsítják, U235 tartalmát 4-5 %-ra növelik. A hasadás során keletkező energia a tömegcsökkenés alapján számítható ki, amelyhez figyelembe kell venni, hogy egy kg U235 maghasadása esetén a tömegvesztés kb. 0,93 gramm.

Bár ennek alapján egy ezer megawattos erőmű energia szükségletét – elvileg – napi egyetlen gramm tömegvesztéssel fedezni lehetne, azonban figyelembe véve a nukleáris üzemanyag dúsítottságát, valamint a különféle veszteségeket, egy ilyen teljesítményű erőmű felhasznál naponta kb. 100-120 kg dúsított uránium üzemanyagot, évenként mintegy 35-40 tonnát.

Egy U235 atommag akkor hasad fel, ha befog egy neutron, ami beépül az atommagba, miáltal a tömegszáma eggyel megnövekszik, instabillá válik, és széthasad. A hasadás eredménye egy 55 rendszámú 143 tömegszámú cézium atom (Cs143), és egy 37 rendszámú 90 tömegszámú rubídium atom (Rb90), továbbá három darab szabad neutron, amelyek további U235 atommagokba beépülve azokat is hasadásra készítetik, miáltal a folyamat láncreakcióként zajlik tovább.

A reakció egyenlete tehát:



Ami pedig a tömegvesztés után hátramarad, az lesz a „nagy aktivitású hulladék”.

Elvileg megtehetnénk, hogy ezt kőzetekkel összekeverve, azaz felhígítva, visszatemetnénk a föld alá, oda, ahonnan az uránt kibányásztuk, és ezzel nagyjából annyi radioaktív anyagot temetnénk el, mint amennyit a föld alól kibányásztunk. Hogy mégsem ezt tesszük, annak az oka, hogy ez a módszer nagyon költséges lenne. Másfelől, az „atomhulladék” még hatalmas mennyiségű kitermelhető energiát tartalmaz, azonban az újrahasznosítása jelenleg (még) nem gazdaságos. Eljöhethet azonban az idő, amikor majd érdemes lehet ezeket a „tartalékokat” felhasználni.

Mivel a maghasadás során túl gyors neutronok keletkeznek, ezeket az urán nem fogja be. Emiatt a neutronokat le kell lassítani, ami ún. moderátorral történik. A reaktorokat ugyanakkor hűteni is kell, és éppen a hűtőközeg által átvett hőenergia az, ami hasznosítható.

A gyakorlatban használt fontosabb reaktor típusok a következők:

**Nyomott vizes reaktor** (PWR = Pressurized Water Reactor). Ebben üzemanyag rudak tartalmazzák a dúsított urániumot urán-dioxid formájában. Ezeket nagynyomású forró víz veszi körül, amely moderátorként is szolgál, és ez a keringetése során hűti a reaktort, és hőcserélőn keresztül átadja a hőenergiát a kisnyomású rendszernek, amelyben gőz fejlődik, és ez működteti a turbinákat, amelyek az áramtermelő generátorokat hajtják. Ilyen reaktorok vannak a Paksi Atomerőműben is.

**Forralóvizes reaktor** (BWR = Boiling Water Reactor). Ebben az aktív zóna hűtése és a neutronok lassítása is vízzel történik, amely alulról felfelé áramolva moderátorként is szolgál. Mivel az aktív zónában keletkező gőz hajtja a gőzturbinákat, ezeket szigetelni kell a külvilágtól, hogy sugárzó anyagok ne tudjanak a rendszerből kijutni. Emiatt a karbantartás költségesebb, azonban a rendszer egyszerűbb szerkezetű, és valamivel jobb a hatásfoka.

**CANDU** (CANada Deuterium Uranium) nyomott vizes reaktor. Ez természetes uránnal is képes működni, mivel benne magas nyomású nehézvíz tölti be a moderátor és a hűtővíz szerepét. A nagy mennyiségű nehézvíz (D<sub>2</sub>O) költsége azonban meglehetősen magas.

### **Plutóniumot hasznosító erőművek**

A plutónium előállítása urániumból történik ún. **tenyésztőreaktorban**.

Ebben a láncreakciót lassítás nélküli gyors neutronok biztosítják.

A reaktor beindításakor 15-20%-ra dúsított uránt használnak urán dioxid (UO<sub>2</sub>) formájában, amihez 20% plutónium dioxidot (PuO<sub>2</sub>) kevernek, mivel ez utóbbi a gyors neutronok hatására hasad. A reaktort 238-as tömegszámú uránium veszi körül, amelyből neutronbefogással és két béta bomlással 239 tömegszámú 94 rendszámú plutónium képződik, amely üzemanyagként használható.

A béta bomlás ugyanis azt jelenti, hogy az atommagban az egyik neutron kibocsát egy elektront és egy anti-neutrínót, és ezzel átalakul protonná, ezért az atommag tömegszáma változatlan marad, a rendszáma pedig eggyel nagyobb lesz.

Mivel az ilyen reaktor segítségével atomfegyver előállítása is lehetséges, ezért az ilyen reaktorokra szigorú nemzetközi korlátozó szerződések vannak érvényben.

Ilyen jellegű megoldást alkalmaznak az **Indiai atomprogramban** is, ennek reakció szerkezete a következő:

- 1.)  $U235 + n = Cs143 + Rb90 + 3n$  (induláskor keletkezik energia és neutron)
  - 2.)  $U238 + n = Pu239 + 2\beta$  (keletkezik plutónium)
  - 3a.)  $Pu239 + n = Xe138 + Zr99 + 3n$  (keletkezik energia és neutron)
  - 3b.)  $Pu239 + n = Ba144 + Sr94 + 2n$  (keletkezik energia és neutron)
  - 4.)  $Th232 + n = U233 + 2\beta$  (keletkezik uránium-233)
  - 5.)  $U233 + n = Ba142 + Kr89 + 3n$  (keletkezik energia és neutron)
- Innen a kiindulási U235 szerepét fokozatosan átveszi az U233 izotóp

Forrás: New Scientist, 2005. február 19 szám

### **Tóriumot hasznosító erőművek**

A nukleáris erőművek új változata a Carlo Rubbia és Teller Ede által javasolt **tóriumos** erőmű. Ebben a 90 rendszámú 232 tömegszámú tórium neutron befogás hatására két béta bomlást követően 233 tömegszámú urániummá alakul át, és ez már képes láncreakcióra.

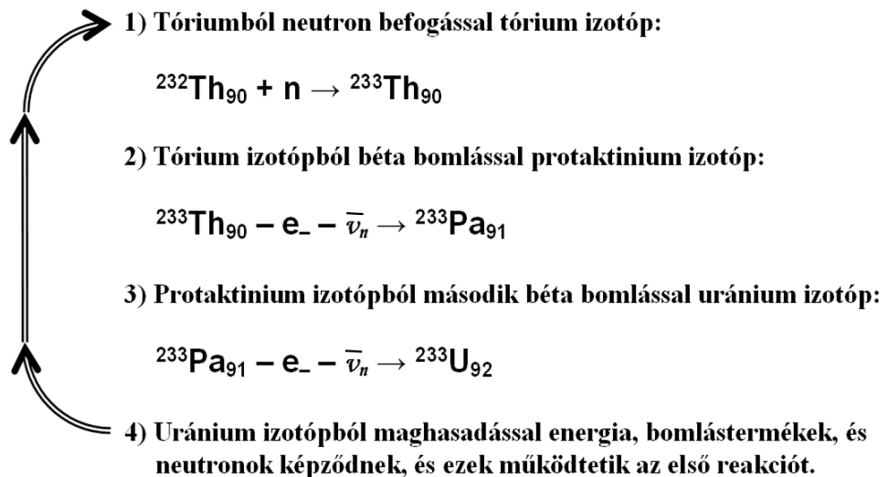
Ez a megoldás, bár költségesebb, mint a hagyományos atomerőmű, mégis számos előnnyel rendelkezik. Szemben ugyanis a fogyatkozó uránium készletekkel, tóriumból hatalmas kibányászható mennyiség van a Földön.

Jelentős lelőhelyek vannak Ausztráliában, Indiában, Brazíliában és Törökországban.

A tóriumos reaktorban a tórium fokozatosan alakul át urániummá, ennek bomlása termeli az energiát, és a reaktorban nincs egyszerre annyi hasadó anyag, hogy veszélyt okozhasson.

Az utóbbi években India és Kína is beindította a tóriumos energetikai programját.

Az ilyen reaktorban lejátszódó reakció lefolyása a következő:



Mivel a folyamat magától nem indul be, szükség van egy kis teljesítményű uránium reaktorra is, amely biztosítja a folyamat beindításához szükséges neutron fluxust.

## Magfúziós erőművek

Fúziós erőmű még nem üzemel, de biztató kísérletek folynak az ipari hasznosításra.

A fúziós erőműben hidrogén izotópok (deutérium, trícium) atommagjainak egyesítésével hélium (He) atommagokat hoznak létre, és ezzel termelnek energiát, hasonlóan, ahogyan a Nap belsejében történik.

Üzemanyagként ezért szükséges hozzá nehézvíz, amelynek H<sub>2</sub>O molekulájában az egyik vagy mindkét hidrogén atomot deutérium (D) vagy trícium (T) helyettesíti, ez utóbbit azonban csak mesterségesen lehet előállítani.

Mivel a természetes vízben a nehézvíz (D<sub>2</sub>O) aránya is csak mindössze kb. 0,05%, ezért dúsításra van szükség.

A számítások szerint 1 kg deutérium fúzió esetén a tömegveszteség kb. 0,89 gramm.

A kísérletek alapján 2020 körül jóslják az első ilyen erőmű üzembe állítását.

## Sugárbiológia

Az ionizáló sugárzások élettani hatása az emberi testben elnyelt energia mennyiségétől függ. Az elnyelt energiát 1 kg testtömegre vonatkoztatják. Hogy egy adott helyen mekkora a sugárzás, azt úgy lehet megmérni, hogy elhelyezünk egy liter (1 kg tömegű) vizet, megmérjük a hőmérsékletének megváltozását, és kiszámítjuk, hogy a víz a sugárzásból hány Joule energiát nyelt el.

A besugárzás mennyiségének, vagyis a sugárterhelésnek, azaz a dózisanak a fizikai mértékegysége Joule/kg, megnevezése: gray, rövidítve: Gy.

Az egységnyi idő alatti besugárzási dózis a fizikai dózisteljesítmény, mértékegysége: Gy/óra, vagy Gy/nap, vagy Gy/év.

A fizikai dózis biológiai hatása attól is függ, hogy a testünk milyen fajta ionizáló sugárzásnak van kitéve, hiszen kaphatunk röntgen vagy gamma sugárzást, de kaphatunk elektromosan töltött vagy töltés nélküli részecskékből álló sugárzást is.

Ezért a fizikai dózisterhelést átszámítják biológiai hatású egyenértékű dózisterhelésre. Ennek mértékegysége a Sievert, rövidítve: Sv. Gamma sugárzás esetén  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$ , egyéb sugárzások esetén pedig a Gy-ban mért dózisterhelést az illető sugárzashoz tartozó szorzótényezővel számítják át, és mivel a Sievert túl nagy dózist jelent, helyette inkább az ezredrészét (milli-Sievert = mSv) vagy milliommód részét (mikro-Sievert =  $\mu\text{Sv}$ ) szokás használni.

A Kárpát Medencében a természetes háttérsugárzásból egy év alatt nagyjából 0,8 – 1,3 mSv dózisterhelésnek van kitéve egy ember, attól függően, hogy melyik földrajzi térségben lakik, és hogy az idejének nagyobb részét a szabadban, vagy épületen belül tölti.

Nemzeti és nemzetközi egészségvédelmi szabványok írják elő, hogy egy ember évenként mekkora dózisterhelést viselhet el egészségkárosodás nélkül. Mivel az emberi test szervei (csont, vese, máj, agy, stb.) eltérő érzékenységek, ezért külön megadják az egyes szervekre a dózishatárt, az egész testre pedig a legérzékenyebb szervek terhelhetőségét veszik alapul.

A Földön a természetes háttérsugárzás nagyjából akkora, hogy abból mintegy 5000 év alatt lehetne összegyűjteni akkora dózist, amely a szabványok szerint komolyabb egészségi kockázattal járhat.

Az 1980-as években Prof. Dr. Marx György akadémikus és munkatársai háttér sugárzási méréseket végeztek, és felmérték, hogy abban a faluban, utcában, vagy háztömbben, ahol mértek, milyen gyakori a daganatos megbetegedés. Az eredmény azt mutatta, hogy nem csak a magas dózis terhelés, de a túl alacsony háttér sugárzási szint is növeli a daganatos megbetegedések gyakoriságát. Más szóval: az egészségünkhöz is szükséges bizonyos mennyiségű ionizáló sugárzás, ebben is van optimális középút.

## **„Természetes” atomreaktorok**

Érdemes megemlíteni, hogy a Földön létezik több természetes eredetű atomreaktor is.

Az afrikai Gabon államban működő természetes eredetű földalatti atomreaktor például több millió évvel ezelőtt jött létre a földmozgások során, amikor még az urániumban az U235 izotóp aránya 3% körül volt, és a lassú termonukleáris folyamat magától be tudott indulni.

### ***Dr. Héjjas István***

#### **IRODALOM**

BESANÇON, Robert M.: The Encyclopedia of Physics, Van Nostrand Reinhold Company, 1985

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: World Energy Outlook, OECD, Paris, 1998

JÁROSI Márton:

– Életem a magyar energetikáért, Püski Kiadó, Budapest, 2010

– A magyar energiapolitika alapjai, Polgári Szemle, 2012. december

Dr. FAZEKAS András István: Energetikai forgatókönyvek a 2012 évi WEO jelentés alapján (előadás),

<http://www.youtube.com/watch?v=0zeYlGrj0LE&feature=youtu.be>

NUCLEAR ENERGY IN FINLAND, Ministry of Trade and Industry, Helsinki, 2002

ÖVEGES József: Fegyverek fizikája, Zrínyi, 1972.

RUBBIA, Carlo: Energiasokszorozás, Fizikai Szemle, 1994. április

STOLMÁR Aladár: Az én Csernobilon, Silenos, 2009.

SZABADOS László: Elektromágneses sugárzás a kozmoszból, Magyar Tudomány, 2002/8.

SZATMÁRY Zoltán: Mit old meg Carlo Rubbia tóriumos energiasokszorozója? Fizikai Szemle, 1994. július

TELLER Ede:

– A boszorkányokról, akik nincsenek, Fizikai Szemle, 1991/1.

– Ne féljete, ha nem tudjátok, hogy mitől féltek, Fizikai Szemle, 1991/4.

VAJDA György:

– Az atomerőművek kilátásai, Fizikai Szemle 2000/1.

– Energiaigények, Magyar Tudomány 1999/9.

– Energiaforrások, Magyar Tudomány 1998/6.

– Új kihívások az energetikában, Magyar Kémikusok Lapja, 1993/10-11.

ZOLETNIK Sándor: Szabályozott magfűzió mágneses összetartással, Fizikai Szemle, 2005. március

Ld. még: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Atomreaktor>