

Az atommagtól a konnektorig

Az atomenergia



Csillagörökség

A Föld anyaga négy és félmilliárd évvel ezelőtt szupernóva-robbanásban keletkezett. Ebben a csillagkatasztrófában olyan nagy atommagok is létrejöttek, amelyekben a protonok és a neutronok magas energiaszintekre szorultak. A Földön természetes állapotban található legnehezebb elem, az *urán* atommagjában van a legtöbb proton és a legtöbb neutron, ezért ott szorult a legtöbb részecske magas energiaszintre. Az atomreaktorokban ezeket a nagy atommagokat hasítjuk szét kisebb részekre, s így a protonok és a neutronok alacsonyabb energiájú állapotba kerülnek. Amikor tehát az eközben felszabaduló *atomenergiát* villamos energiává alakítjuk, tulajdonképpen a Föld anyagát létrehozó szupernóva-robbanás energiamorzsáit hasznosítjuk.

Maghasadás

Az atomreaktorban az energiatermelés alapfolyamata a *maghasadás*. Ennek során két kisebb atommag és néhány szabad neutron is keletkezik, és sok energia felszabadul.

Az urán széthasítására a neutronok felelnek meg leginkább (1. ábra). Mivel a neutron elektromosan semleges, nem taszítja el az atommagok nagy pozitív elektromos töltése, így könnyen az atommag közelébe tud férkőzni. Az atommag közelében „ácsorgó” lassú neutront a mag véletlenszerűen befoghatja, és az erős magerők a maghoz köthetik. Minél tovább tartózkodik egy neutron a mag közelében, annál nagyobb lesz a valószínűsége annak, hogy ez a befogódás megtörténik. Ezért a *lassú neutronok sokkal jobbak* ilyen célra, mint a gyors neutronok.

Az ^{235}U atommagnál (amely a természetben található uránnak mindössze 0,71%-a) egy lassú neutron befogódása által kapott energia-többlet éppen elegendő arra, hogy a maghasadás folyamatát elindítsa. Nem így a ^{238}U -nál, amely a természetes urán legnagyobb részét kitevő! Ezért egyes erőművek üzemanyagában a ^{235}U részarányát 3–5%-ra felnövelik: az üzemanyagot a ^{235}U komponensben *dúsítják*.

Sűrű energia

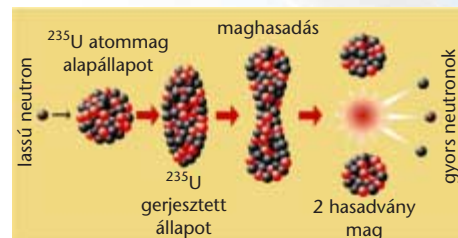
Egy atommaghasadás sok milliószor több energiát ad, mint egy szénatom „elégetése”. Ugyanannyi energia termelése *sok milliószor kevesebb uránt* igényel, mint szenet. Néhány gramm uránból elő tudjuk állítani azt az energiát, amihez több tonna szén (kőolaj, földgáz) elégetésére lenne szükség (2. ábra). Ezen túlmenően, az urán hasadásakor *nem keletkezik üvegházhatást okozó szén-dioxid* sem.

Láncreakció

A maghasadást neutron indítja el, de a folyamatban átlagosan kettőnél valamivel több neutron is keletkezik. Ha a keletkezett neutronokból mindig 2 neutron okozna új maghasadást, akkor a neutronok száma mértani sor, 2 hatványai szerint szaporodna. Húsz generáció után 2^{20} ~ milliószorosra nőne a neutronok száma – és ezzel a felszabaduló energia mennyisége is. Könnyen látható, hogy így igen rövid idő alatt el lehet érni a makroszkopikus mennyiségű energia felszabadításához szükséges mennyiséget. A neutronok ilyen módon történő sokszorozódását *neutronos láncreakciónak* nevezzük. Ennek ötletét *Szilárd Leó* szabadalmaztatta 1934-ben.

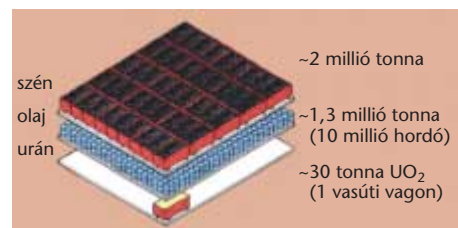
Moderátor

Mivel a maghasadást *lassú neutronok* tudják nagy valószínűséggel létrehozni, a keletkezett gyors neutronokat le kell lassítani. Erre olyan kis rendszámú anyagok felelnek meg, amelyek atommagjaival ütközve a neutronok át tudják adni mozgási energiájuk nagy részét, de amelyek nem nyelik el a neutronokat. Az ilyen anyagokat *moderátornak* hívják.



1. ábra. Neutronnal kiváltott maghasadás

A víz a legolcsóbb ilyen anyag, mert nagy protontartalma miatt jól lassítja a neutronokat. Sajnos a víz protonjai nemcsak lassítanak, hanem el is nyelik a neutronok egy részét (deutérium keletkezik). Ezért könnyűvíz-mo-



2. ábra. Ugyanannyi energia megtermeléséhez szükséges szén, olaj, urán

derátoros atomerőművekben (ilyen a Paksi Atomerőmű is) az üzemanyag kis mértékű (3–5%) dúsításával kompenzálják a víz neutronelnyelő hatását. Sokkal jobb (de sokkal drágább) moderátor a nehézvíz, és a nagy tisztaságú grafit. Grafittal, vagy ne-

hézvízzel moderált erőművekben már természetes összetételű urán is használható. *Grafittal* lassították a neutronokat a történelem első atom-máglyájánál Chicagóban 1942-ben, de ilyenek még napjainkban is működnek a volt Szovjetunió területén. *Nehézvízzel* lassítják a neutronokat a romániai Cernavodában működő CANDU (CANadian Deuterium Uran) reaktorok.

Moderátor és biztonság

Fontos megérteni, hogy a moderátor jelenléte *segíti* a láncreakciót, hasonlóan, mint ahogyan egy katalizátor is segít egy kémiai reakciót. Ennek nagyon fontos biztonsági következményei vannak. Ha a reaktorunk teljesítménye nő, növekszik a moderátor hőmérséklete is, ezért a gyorsabban mozgó moderátor-atommagokkal ütközve a neutronok nem tudnak annyira lefékezni. A gyorsabb neutronok viszont rövidebb ideig tartózkodnak az atommagok közelében, ezért kisebb valószínűséggel hoznak létre maghasadást. Azaz *a hőmérséklet növekedése fékezi a láncreakciót*. Ha

sékletekig ott marad), ezért ezek kevésbé biztonságosak. Ilyen volt a bal esetet szenvedett csernobili atomerőmű reaktora is. Az ilyen reaktorok veszélyeire a *Teller Ede* által vezetett amerikai reaktorbiztonsági bizottság már az 1950-es évek közepén felhívta a figyelmet. Ennek következtében a nyugati világban fokozatosan leállították a grafittal moderált, vízzel hűtött reaktoros atomerőműveket. Ma már csak a volt Szovjetunió területén működik még néhány, de ezek leállítása is tervbe van véve.

Atomenergiától a villamos energiáig

A láncreakcióban felszabaduló energia legnagyobb része a keletkezett hasadványok mozgási energiájának formájában jelenik meg. Ezek még az üzemanyagban lefékeződnek, és az üzemanyagot melegítik. Az üzemanyagpálcákat a primerkörben keringő hűtőközeg hűti, és viszi tovább hő formájában az ott felszabadult energiát (3. ábra).

Ezzel a hővel a gőzfejlesztőben vizet forralunk, és ez a „szekunderköri” gőz hajtja meg a gőzturbinákat, amelyek generátorokat forgatnak, így alakítva az atomenergiát végül villamos energiává. A villamos energiává nem alakítható „hulladék” hőt a tercier hűtőkör viszi el, és adja le a környezetnek (ennek egy része hő formájában továbbhasználható, pl. lakótelepek fűtésére).

Szabályozott láncreakció

Az atomreaktorokban a láncreakció neutronokkal valósul meg, ezért a szabályozás is a neutronokra hat. Az egyik megoldás az, hogy szervomotorok *neutronelnyelő rudakat* húznak

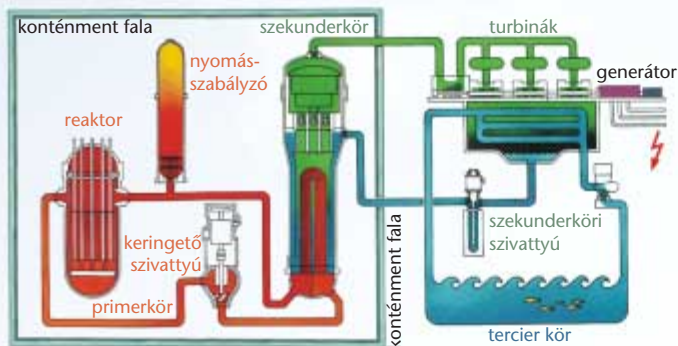
ki vagy tolnak be az aktív zónába annak megfelelően, hogy a teljesítményt növelni, vagy csökkenteni kell. A rudakkal történő szabályozás gyors beavatkozásokat tesz lehetővé. A másik módszer az, hogy *a moderátorvízbe neutronelnyelő anyagot* (pl. bórsavat) kevernek, és ez köti le a felesleges neutronokat. Ahogy a hónapokig tartó üzem során csökken az üzemanyag-kazettákban lévő ²³⁵U mennyisége („kiég” belőlük az urán), hígítják a bórsavat, hogy a láncreakció kevesebb hasadóanyaggal is fennmaradjon. Egy energiatermelési *kampány* addig tart, amíg annyi urán ki nem ég, hogy már bórsav nélküli vízzel sem lehet fönntartani a láncreakciót. Ilyenkor a reaktort le kell állítani, és az elhasznált kazettákat frissekre kell cserélni. Ez az *átrakás*. A Paksi Atomerőműben egy kampány körülbelül egy évig tart.

Kockázatok

Minden emberi tevékenység – így a villamosenergia-termelés is – kockázattal jár. A fosszilis tüzelőanyagokból történő villamosenergia-termelés sem kockázatmentes. Itt nemcsak a szénbányászat vagy az olaj- és gáztermelés baleseteire kell gondoljunk, hanem arra a sok millió tonna szén-dioxidra is, amelynek kibocsátása Földünk klímáját fenyegeti. Felelősséggel és szakértelemmel üzemeltetve az atomenergia megbízható, biztonságos, olcsó és környezetbarát energiaforrás. Üzemzavarok, balesetek természetesen minden tevékenység közben előfordulhatnak, de ezek hatásait gondos tervezéssel és megfelelő biztonsági kultúrával alacsony szintre lehet szorítani. Az autóközlekedésnek, a repülésnek is vannak kockázatai, az emberiség mégsem mond le ezekről a hasznos tevékenységekről, hanem megpróbálja őket biztonságosabbá tenni. Miért éppen az atomenergiával kellene másképpen cselekedni?

Sükösd Csaba

BME, Nukleáris Technika Tanszék



3. ábra. Nyomottvízes atomerőmű felépítése

pedig a moderátor még el is tud forrni (pl. víz, vagy nehézvíz), akkor a gőzfázisban lényegében megszűnik a neutronok lefékezése, és a láncreakció magától leáll! Ez a vízzel (nehézvízzel) moderált atomreaktorokat különösen biztonságossá teszi. A grafít moderátorú reaktoroknál ez a hatás nem érvényesül (hiszen ott a grafít nem „forr el”, hanem magas hőmér-