

I. Századvég-MET energetikai tanulmányíró verseny

Választott témakör (megfelelőt aláhúzni)

- A megújuló energiaforrásokat felhasználó villamosenergia termelő egységek hozambizonytalanságához kapcsolódó hálózati megoldások
- Fejlesztési lehetőségek Magyarország energetikai hulladékhasznosításában
- Nukleáris fejlesztések hatásai és kockázatai
- Az Európai Unió és Magyarország gázpiacát érintő kihívások és arra adható megoldások
- Az energiaszektor és az ipar fejlesztésének kölcsönhatásai

Dénes Márk

Budapest,

2016. január 5.

Kicsi a bors, de erős – avagy az atommagokban rejlő lehetőségek

Készítette:

Dénes Márk
Eötvös Lorand Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Kémia BSc

Budapest, 2016. január 5.

Rezümé

Dolgozatomban azokat a lehetőségeket (és veszélyeket) kívánom bemutatni, amelyek kevésbé kapnak hangsúlyt a hétköznapokban, amikor az atomenergiáról beszélünk.

„Miért csak erőművekben hasznosítjuk az atomenergiát, miért nem elterjedtek a nukleáris meghajtású járművek? Mit lehet kezdeni a kiégett fűtőelemekkel; szemétként kell-e kezelniük, amivel már nem lehet mit kezdeni? Milyen szempontokat kell(ene) figyelembe venni egy új erőmű építésekor; milyen kiegészítő üzemekre van szükség? ” és ezekhez hasonló kérdésekre próbálok választ adni.

A nukleáris témától egy kicsit távolabb álló és mégis szorosan kapcsolódó problémát is bemutatok a dolgozatomban, ami valószínűleg az egyik legfontosabb fejlesztési területe az atomerőműveknek: az energiatárolási és szállítási nehézségeket, hiszen nem elég megtermelni az energiát, fel is kell használni és nem feltétlenül azonnal. Ebből adódik a következő kérdés:
Milyen fejlesztési lehetőségek adódnak a szupravezetők és az energiatárolókban?

Tartalomjegyzék

| | |
|--|-----------|
| 1.1. Bevezetés , témaválasztás ismertetése..... | 1 |
| 2. Nagy energiák kis helyen | 2 |
| 2.1. Az építőkövek | 2 |
| 2.2. Magreakciók ismertetése..... | 3 |
| 2.3. Atomerőművek általános szerkezete | 7 |
| 3. Fejlesztési lehetőségek | 9 |
| 3.1. Fűtőelemek fejlesztése | 9 |
| 3.2. A kiégett fűtőelem probléma..... | 12 |
| 3.3. Negyedik generációs reaktorok - a jövő reaktorai | 15 |
| 3.3.1 Gyors reaktorok..... | 15 |
| 3.3.2 Nátrium-hűtésű gyors reaktorok | 16 |
| 3.3.3 Ólom-hűtésű gyors reaktorok..... | 17 |
| 3.3.4 Gáz-hűtésű gyors reaktorok | 18 |
| 4. Más megközelítések | 19 |
| 4.1. A fölösleges energia kezelése, integrált üzemek tervezése..... | 19 |
| 4.2. A pazarlás-probléma avagy az energiatermelő - fogyasztó különválásából fakadó gondok és lehetséges megoldásaik | 20 |
| 4.3. Járművek meghajtása nukleáris reaktorokkal - és az ebből adódó környezeti szennyezések..... | 23 |
| 5. Összefoglalás | 25 |
| 5. Források | 26 |

Ábrajegyzék

| | |
|---|----|
| 1. ábra: (Magstabilitás) | 3 |
| 2. ábra: (Bomlási sor) | 4 |
| 3. ábra:(Üzemanyag-kazettatípusok és szabályozórudak) | 8 |
| 4. ábra: (MSR) | 11 |
| 5. ábra: Az ábra címe (LFR) | 17 |
| 6. ábra: Az ábra címe (He-hűtő)..... | 18 |

Táblázatjegyzék

| | |
|--|----|
| 1. táblázat: a táblázat címe A Föld tórium készletei | 10 |
|--|----|

1. Bevezetés

Témaválasztás ismertetése

Dolgozatom témájaként a „Nukleáris fejlesztések hatásai és kockázatai”-t választottam, mivel leendő vegyészként ez a témakör van a legközelebb hozzám a felkínáltak közül és az ezzel kapcsolatos témakört kiemelt fontosságúnak tartom. Más részről, magyarként, jelentős örökséggel rendelkezünk ezen a téren:

első atombomba, hidrogénbomba, a nukleáris láncreakció felismerése, radioaktív nyomkövetés , atomreaktor megálmodása és még hosszasan lehetne folytatni a sort.

...

Életünk jelenlegi formája elképzelhetetlen lenne a magreakciók nélkül, mégis maga a nukleáris* szó démonként szerepel a közéletben...

...

Minden fejlesztés hosszas kutatást igényel, a kutatás pedig a sok időn kívül, sok tőkére kell támaszkodjon és sokszor nem a várt eredményt hozza. Gazdasági szempontok alapján nehéz megítélni, mennyi haszonnal jár egy adott fejlesztés, kutatás; és hogy mennyi időn belül térül meg. Hatásokról pedig még nehezebb beszélnünk, hiszen gyakran fogalmunk sincs, mit rejt a zsák, amelyből húzunk és gyakran csak generációkkal később jelentkezik a hatás és az is keverten.

* nukleáris: Az atommag szerkezetével foglalkozó; az atommagra vonatkozó; az atomenergián alapuló;(a sejtmagra vonatkozó, vele kapcsolatos.)¹

2. Nagy energiák kis helyen

Elméleti áttekintés



2.1. Az építőkövek

A nukleáris szó hallatán a lakosság nagy részének valami sötét, *veszélyes, gonosz* dolog jut eszébe:

„Csernobil, Fukushima, Hirosima, Nagaszaki, a veszélyes sugárzás, szörnyszülöttek, Green Peaces tiltakozás” és hasonló asszociációk.

Szóval a nukleáris kifejezés, valami olyan dolgot takar, ami mesterséges; amit az ember jobb, ha nem piszkál, eddig is csak a bajt hozta ránk és áll a zöld-energiákra...

Aki nem hiszi, álljon meg egy forgalmasabb helyen és kérdezgesse az utca emberét...

... **a nukleáris reakcióknak pedig igenis sokat köszönhetünk**, gondoljunk csak az alábbi egyszerű példákra:

a Napra vagy a Föld belsejére – lehet mégsem az ember által alkotott *démonról* beszélünk?

Mielőtt a jövőről, a fejlesztési lehetőségekről tárgyalunk, az eddigi ismereteinket, tapasztalatainkat összegezzük röviden – hogy a *démon arcába nézzünk*:

A körülöttünk lévő világot vizsgálva azt tapasztalhatjuk, hogy világunk döntő többsége különböző atomokból (nuklidokból) épül fel, amik fizikai módszerekkel tovább bonthatóak atommagokra és elektronburkokra. Minket az atommag és az azt felépítő további részecskék (nukleon) részecskék érdekelnek, mivel azok játszanak döntő szerepet a nukleáris folyamatokban (innen az elnevezés).

Ha energetikai szempontból vizsgáljuk az atommagokat, a következő észrevételeket tehetjük:

A töltéssel rendelkező részecskék (protonok/antiprotonok) között elektrosztatikus kölcsönhatás (taszítás) lép fel, ami a mag „feszültségét okozza”. Azt, hogy a mag mégsem esik szét, azt a **magerőnek** köszönhetjük, ami az atommagban uralkodó kölcsönhatás és (itt) nagyságrendekkel erősebb a Coulomb-erőnél. Ahhoz hogy az atommagot alkotóira bontsuk, energiát kell befektessünk, illetve az atommag szétesésekor energia szabadul fel.

2.2. Magreakciók ismertetése

A magreakcióknak három főtípusát különböztethetjük meg:

a **bomlást**, a **hasadást** és az **egyesülést**.

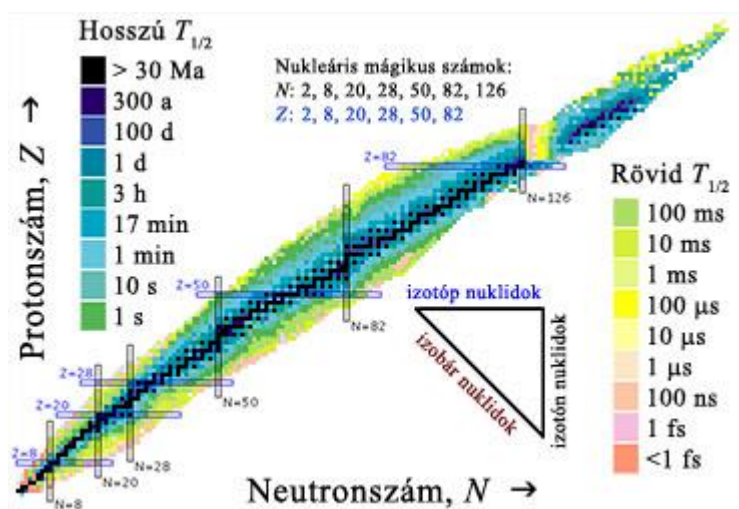
Mielőtt a három típust részletesebben megvizsgálánk, egy újabb fogalmat kell tisztáznunk: a **mag stabilitását**.

A fogalom neve magáért beszél, hogy mit is jelent, viszont ami nem magától értetődő, hogy mi is szabja meg a nagyságát.

Az egyszerűség kedvéért, a matematikai formulákat mellőzve, azt mondhatjuk, hogy a **nuklidot felépítő nukleonok száma, és aránya számít a stabilitásért**.

A stabilitásnak van egy határértéke, a 126-os neutronszám - az utolsó stabil elemeként az ólom illetve a periódusos rendszerben következő elem a ^{209}Bi (legstabilabb Bi-izotóp, felezési ideje is még túlmutat a világegyetem korán), efelett már nem találunk stabilis elemeket, az idő telésével ezek a nuklidok bomlást szenvednek, hogy kisebb, stabilabb formában kezdjenek új életet.

A bomlás gyakoriságát, a **felezési idővel** jellemezzük. A 126-os neutronszám –határ nem jelenti azt, hogy csak efelett találunk instabil elemeket, hanem, ahogy a 1. ábrán is látszik, a nuklidoknál bizonyos izotópok stabilisnak bizonyulnak, mások pedig ugyancsak bomlásnak indulnak, az adott izotópnak megfelelő bomlási állandóval.

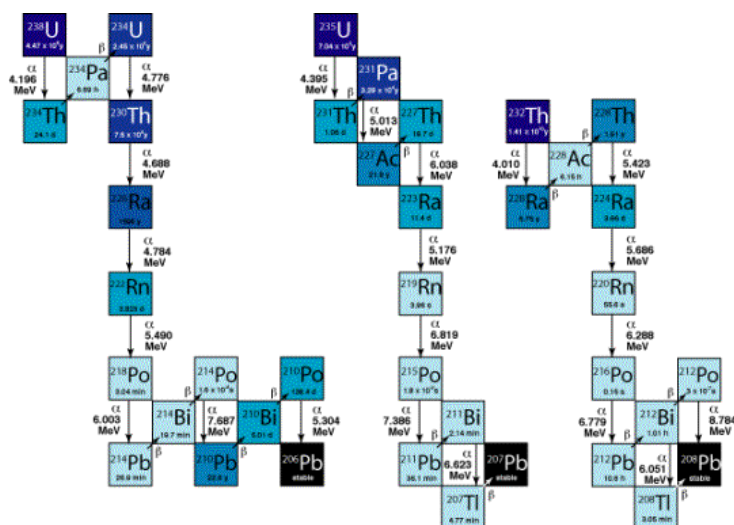


1. ábra

A nuklidok bomlása külső hatás nélkül történik, „véletlenszerűen”, és típusuktól függően megkülönböztetünk α , β és izomer (proton és neutron) bomlásokat.

A bomlás során **leányelemek** keletkeznek, amik akár tovább is bomolhatnak.

Ilyenkor **bomlási sorokat** írhatunk fel, és egy bomlás során az is elképzelhető, hogy többfajta leány képződjön, tehát a sor szétágazzon. Példaként a 2. ábrán láthatjuk az urán bomlási sorait.

2. ábra³

A bomlások során energia szabadul fel, ami különböző sugárzások formájában távozik.

Az α -sugárzás

Az **α -bomlás** során egy α -részecske (egy He-atommag) és 2 elektron távozik a nuklidunkból energia felszabadulás mellett, és ez az energia az atomtömeg változásával arányos, diszkrét mennyiségű lesz. Fontos megjegyezni, hogy a felszabaduló energia értéke hatalmas egy „hagyományos kémiai reakcióhoz” képest nagyjából 6 nagyság renddel nagyobb...

Pl.:

Ra-226-as izotópjából egy He kisugárzása mellett 222-es Radonná alakul.

Az alfa-sugárzás nem nagy energiájú sugárzás, már egy papírlap is felfogja a sugárzását.

A β -bomlás

3 alfaját különböztetünk meg:

a **β^+ -bomlás** során egy proton neutronná alakul és egy pozitron távozik (illetve egy elektron-neutrínó),

β^- -bomlás esetén az egyik neutron protonná bomlik és egy elektron távozik (illetve egy elektron-antineutrínó),

és **elektronbefogásos β -bomlás**-ról beszélünk, amikor az egyik proton egyesül az egyik héjelektronnal neutronná (és egy elektronneutrínó távozik).

Tehát β -bomlások során az atommag összetétele megváltozik, hogy egy stabilabb elemmé alakul.

A γ -sugárzás

A γ -sugárzás akkor alakul ki, amikor gerjesztett atommagok energetikailag kedvezőbb (alacsonyabb) állapotba kerülnek és így nagy energiájú elektromágneses sugárzást bocsátanak ki magukból.

MAGHASADÁS

A maghasadás tanulmányozásával már több, mint 70 éve foglalkozik az emberiség. A kezdeti felismerés, hogy uránmag neutronsugárzás hatására két magra esik szét energia-felszabadulás mellett (γ -sugárzás), arra ösztönözte a kutatókat, hogy olyan reakciók után kutassanak, amik segítségével energia termelhető. A mag neutronnal való ütközése során, nem csak a mag típusa a meghatározó, hanem a neutron sebessége is, amivel becsapódik. A „támadó neutron” a maggal egy átmeneti állapot során gerjesztett állapotba kerül, majd rövidesen bekövetkezik a bomlás. A termékek között nem csak az új atommagokat, hanem nagy mozgási energiájú szabad neutronok is képződnek. Ez egy igen hasznos tulajdonsága a természetnek, ugyanis a neutronok újabb magokat tudnak hasítani és a folyamat önfenntartó lesz. Ezt a folyamatot nevezzük láncreakciónak. Az előző felismerés teremtette meg a módot az első atombomba és atomreaktor létrejöttének. És hogy ki volt aki ezt elsőként felfedezte és szabadalomként bejegyeztette?

A magyar származású **Szilárd Leó**.



Szilárd Leó, úgy gondolom mindenféle túlzás nélkül kijelenthető, hogy a XX. század (egyik) legnagyobb (és legnagyobb hatású) fizikusa. Szilárd Leó első között ismerte fel a nukleáris fegyverek veszélyeit és szólalt fel ellenük. Munkásságának egy másik gyöngyszeme, betegsége során keletkezett. Miután 1960-ban rákos megbetegedést diagnosztizáltak a szervezetében, a sebészeti beavatkozás statisztikai adatait elemezte; majd úgy döntött, jobb ha a saját kezébe veszi betegségének kezelését és Co-60-al új radioterápiát dolgozott ki kezelésére, orvosai segítségével. A kezelés sikeres volt, 66 éves tudós szívinfarktusban hunyt

el 4 évvel később – a boncolás során megállapították, hogy a rákos elváltozások nem újultak ki, a kezelés sikeres volt, a halál kialakulásában a rák nem játszott szerepet.

Szilárd Leó a tökéletes példája, hogy a lehetőségek körülöttünk vannak, és ha észrevesszük és értelmezni tudjuk amit mindenki lát (és mégsem), forradalmi dolgokat vihetünk végre.

Mivel szerepe hatalmas súlyú, még egyszer, a legfontosabb nukleáris fejlesztések, ami Szilárd Leónak köszönhetünk:

- *láncreakció gondolatának felismerése: atombomba (és veszélyének felismerése!), atomreaktor szabadalma*
- *új hűtési módszer (tenyészreaktoroknál azóta is ezt használják, A. Eistein-nel közös szabadalom)*
- *új gyógyászati eljárás kifejlesztése*

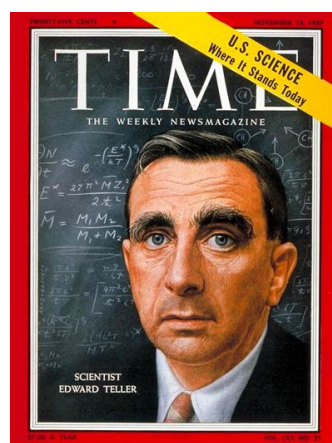
EGYESÜLÉS

Magfúzió során 2 atommag egyesül egy új maggá. A folyamat energiatermelő, hogyha az új mag tömege kisebb, mint a kiindulási magok együttes tömege. A folyamat csak energia befektetéssel valósítható meg, hogyha az előző kritérium ellentétje valósul meg. Magfúzió történik a csillagokban, ahol kettő deutérium egyesül héliummá és energia szabadul fel.

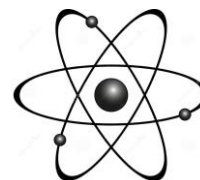
Magfúzió első „sikeres” földi megvalósítása a hidrogénbombában sikerült. A bomba megépítése annyi „könnyebbséggel” jár egy reaktoréhoz képest, hogy a folyamatnak sokkal kevésbé kell szabályozott körülmények között zajlania. A hidrogénbomba kifejezés alatt olyan bombát értünk, melyben egy hasadási bomba található iniciátor anyagként és ez indít el egyesülési reakciót, melyben lítium-deutérium alakul át lítium-tríciummá energia felszabadulás során. A változatosság kedvéért, a hidrogénbomba ötlete és kifejlesztése ismét egy újabb magyar tudóshoz köthető:

Teller Edéhez.

Teller munkásságának egy másik fontos eleme (a teljesség igénye nélkül) az urán-grafit-víz típusú reaktorok (pl. a csernobili is ilyen volt) veszélyének felismerése és visszazorítása; majd a biztonságos reaktorok kifejlesztésében segédkezett.



2.3. Atomerőművek általános szerkezete



Most, hogy megismertük a főbb folyamatokat, beszélhetünk arról, hogyan is lehet őket a hasznunkra fordítani. Nézzük az energiatermelés békés felhasználását (egy egyszerűsített modellen):

Hasonlóan a hagyományos erőművekhez, van egy reaktorunk, ahol a reakciónk hőt termel, a keletkező hőt egy hűtőközeggel elszállítjuk; a fejlesztett gőzzel turbinákat hajtunk meg (amik áramot termelnek), a gőzt kondenzáltatjuk, a maradék hőt hőcserélőkön keresztül elszállítjuk (ezt felhasználhatjuk távfűtés céljára, vagy a kondenzátum előmelegítésére), majd ismét a reaktorba vezetjük...

Sajnos minden energiaátalakítás veszteségekkel jár, épp ezért itt is a reakció során keletkezett energia nagy része pocsékba megy...

...ez sajnos a **hőerőművek** átka (a feleslegbe ment hőenergiára jó példa, hogy például a paksi erőműnél a *Duna be- és kilépési pontjai között 8°C-fok hőmérsékletkülönbség*⁴ van, aminek a környezetre gyakorolt hatása nem feltétlenül elhanyagolható...)

Atomerőművek típusai (a ma leginkább elterjedt energetikai reaktortípusok):

- *Könnyűvízes reaktorok: a moderátor és a hűtőközeg is könnyűvíz*
 1. *Nyomott vizes (PWR)*
 2. *Forralóvízes (BWR)*
- *Nehézvízes reaktorok: a moderátor és a hűtőközeg is nehézvíz*
- *Grafitmoderátoros reaktorok:*
 1. *Gázhűtésű reaktorok (GCR)*
 2. *könnyűvízhűtésű reaktorok (RBMK)*
- *Egzotikus reaktorok (gyors tenyésztő reaktorok és egyéb kísérleti berendezések)*
- *Újgenerációs reaktorok: a jövő reaktoraik⁵*

Milyen reakció termel(het)i az energiát a reaktorban?

A jelenlegi atomreaktorok energiáját hasadási reakciókból nyerjük és a mostani álláspont szerint urán- és plutóniumizotópok alkalmasak a könnyen létrehozott hasadásra; és megfelelő fűtőanyagként szolgálhatnak. Ha a természetben fellelhető uránt megvizsgáljuk, azt tapasztaljuk, hogy a 238-as izotópja 99,3%-ban fordul elő, míg 235-ös izotópja, csak a maradék hányadban. A 238-as urán viszonylag stabilnak tekinthető, mivel nehezen bomlik (csak nagy sebességű neutron hatására), a 235-ös

izotópja viszont annál alkalmasabb hasadási célokra. A keletkező leányelemek igen változatosak: 35 elem 200 izotópja keletkezhet (jelenlegi ismereteink szerint).

Korábban a láncreakció ismertetésében tárgyaltuk, hogy a folyamat megfelelő lefolyása érdekében, a reaktív neutronok számán kívül a neutronok sebessége meghatározó még. Gyors neutronokkal láncreakciót akkor tudjuk fenntartani, hogyha nagy tisztaságú uránunk van. Mint minden tisztítás, az urán dúsítás is jelentős költségekkel jár; minél nagyobb tisztaságú anyagot szeretnék, az ár úgy növekszik exponenciálisan. Éppen ezért egy trükköt alkalmazunk, ami már viszonylag kis tisztaságú anyag esetén is lehetővé teszi a hasadást. Tudjuk, hogy a neutronjaink sebességével arányos, mennyire dús uránra van szükségünk és nekünk csak viszonylag szennyezett urán áll rendelkezésünkre. Mi a megoldás tehát? Lassítsuk le a neutronokat a megfelelő sebességre. Azokat az anyagokat, melyek képesek erre a feladatra, moderátoroknak nevezzük. A moderátorokkal szemben 2 legfontosabb követelményünk: legyenek minél kisebb rendszámúak és minél kevésbé nyeljük el a neutronokat. A jelenleg használatos moderátorok: H: víz és nehézvíz formájában, a grafit és a berílium; a legelterjedtebb ezek közül a víz.

A másik fontos szerkezeti elem a reaktorokban, a szabályozó rudak, melyek a neutronok befogásáért felelősek. Mivel a teljesítményért a hasító neutronok száma felelős, ezért a szabályozó rudakkal tulajdonképpen a reaktor teljesítményét változtathatjuk. Minél nagyobb hányada érintkezik a szabályozó rudaknak, annál kevesebb neutron lesz a láncreakcióban. Jó neutronelnyelő a bór és kadmium. Szabályozásra biztonságvédelmi szempontból is szükség lehet, nem csak a teljesítmény, reaktivitás beállítására. A különbség leginkább az elhelyezésükben van: a veszély esetén történő leállítás során olyan szabályozó anyagot vezetnek a reaktorban, mely egyébként nem érintkezik a hasadó anyag környezetével.



3. ábra – üzemanyag kazettatípusok és szabályozórudak⁶

3. Fejlesztési lehetőségek

3.1. Fűtőelemek fejlesztése

A jelenlegi atomerőművek többsége az uránra támaszkodik, és a jelenlegi fűtőelemek 0,75%-os U-235 tartalom mellett képesek a hasadásra.

Az urán viszonylag széles körben megtalálható környezetünk, azonban a növekvő felhasználása miatt számolnunk kell a bányák kimerülésével, illetve azt is figyelembe kell venni, hogy gazdaságos-e egy idő után urán-alapú reaktort üzemeltetni, milyen világszerte lehet beszerezni a fűtőanyagot. A felsorolt szempontok alapján egyértelművé válik, hogy a reaktorok hosszú távú üzemeltetése során, fontos cél kell váljon a különböző üzemanyagokkal való kompatibilitás vagy átállítás.

A hibridautókat felhozva példaként, célszerű lenne erőműveinket is úgy alakítani, hogy különböző „üzemanyagokkal” is képesek legyenek működni, lehetőleg minimális átállási szereléssel és idővel. Ha ezt sikerül elérni, az éppen aktuális beszerzési áráktól nagyobb mértékben független az erőmű, illetve az éppen szükséges energiaellátási igényekhez tud igazodni.

Idővel mindenképp számolnunk kell az urán helyettesítésével és ebben az esetben is jobb előre gondolkodni.

Tórium-alapú üzemanyag cellák

A tóriumot 1828 óta ismerjük, Berzéliusnak hála. A tórium tulajdonságairól röviden:

egy enyhén radiotív fém, ami a természetben főleg a sziklában és földben található. Az uránnal ellentétben tengerek vizében nem található meg – rossz oldhatóságának köszönhetően -, viszont a tengerek alját borító homokban ismét fellelhető. A tórium természetben is fellelhető izotópja a Th-232, rendkívül stabil, felezési ideje mintegy háromszorosa a Föld korának. A természetben még különböző bomlási sorok közti termékeként felbukkan a 228-as, 230-as, 234-es izotópja, ezeknek a mennyisége és élettartalma azonban elenyésző; rövid idő alatt 208-as ólom izotóppá alakulnak.

Elemi állapotban ezüstös-fehér színű, csillogását hosszasan megtartja. Oxidja egyike a legmagasabb olvadáspontú fémeknek, emiatt izzószálként, illetve kiváló optikai tulajdonságai miatt professzionális lencsékben, mérőberendezésekben is felhasználják. A tórium-oxid (ThO_2) kis reaktivitású, további oxidációra nem hajlamos, szemben az urán(IV)-oxiddal. Nagyobb hővezetéssel, olvadásponttal és alacsonyabb hőtágulással rendelkezik, mint az említett urán-oxid.

A tórium főleg a magmás kőzetekből nyerhető (hasonlóan a többi nehézfémhez), leggyakoribb előfordulási formája a foszfátja, melynek átlagosan 12 tömeg%-a a tórium. A Föld becsült tórium mennyiségét 6,3 millió tonnára becsülik, melyeknek az eloszlása a következő:

| Ország | Tömeg / Tonna |
|---------------------|------------------|
| India | 846,000 |
| Brazília | 632,000 |
| Ausztrália | 595,000 |
| USA | 595,000 |
| Egyiptom | 380,000 |
| Törökország | 374,000 |
| Venezuela | 300,000 |
| Kanada | 172,000 |
| Oroszország | 155,000 |
| Dél-Afrika | 148,000 |
| Kína | 100,000 |
| Norvégia | 87,000 |
| Grönland | 86,000 |
| Finnország | 60,000 |
| Svédország | 50,000 |
| Kazahsztán | 50,000 |
| Többi ország | 1,725,000 |
| Világ teljes | 6,355,000 |

forrás: <http://www.world-nuclear.org/info/current-and-future-generation/thorium/>

A tórium alapú fűtőkazetták **önmagukban hasadásra nem képesek**, ezért neutron-besugárzással átalakítást kell végeznünk rajta, így 233-as uránná aktiváljuk”, ami pedig már szívesen dolgozik nekünk. A neutronforrások egy ígéretes megoldása, a részecske gyorsítóval ellátott reaktor (Carlo Rubbia-elve). A tórium alapú reaktorok egy másik fontos különbsége a jelenlegi urán-alapú reaktorokhoz képest, hogy itt halogénsó-olvadékos hőszállító közeget alkalmaznak(felépítése a harmadik ábrán látható), aminek nagy előnye, hogy nem robbanásveszélyes mivel rendkívül magas forráspontja van és nem gyúlékony. Azonban nagy hátránya, hogy igencsak korrozív, ami jelentősen növeli az üzemeltetési költségeket és egyéb veszélyforrások oka lehet (például szivárgás).

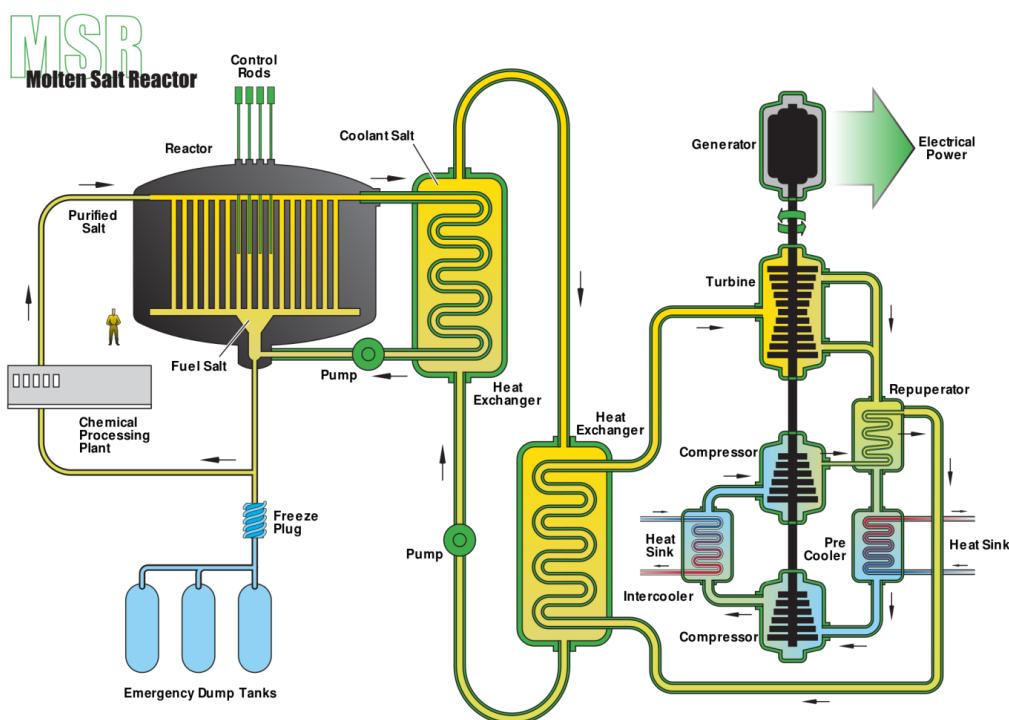
A nehézségek ellenére az első Th-alapú kísérleti reaktort s 1965-ben már működésbe hozták és 4 évig üzemelt is, míg megvonták a támogatást a létesítménytől...

...és igen, megint egy újabb magyar zseni van a háttérben:



Wigner Jenő

Az a Wigner Jenő, aki elsőként javasolta a vizet, mint moderátor anyagot, illetve ő tervezte meg az első vízhűtéses atomreaktorokat, és 37 szabadalmot jegyeztetett be reaktorok fejlesztésével kapcsolatban.



4. ábra⁵

Összefoglalva a tórium előnyeit:

- A természetben gyakoribb, mint az urán (kb. 3-szorosan)
- Több energia szabadul fel azonos mennyiségű fűtőelem felhasználása során, emiatt effektíve kevesebb hulladék
- A sóolvadékos hűtés nem gyúlékony, káros füstök üzembaleset során nem juthatnak ki

és hátrányait:

- nem elterjedt, kevésbé kiforrott technika
- bonyolult átállítás
- korrózív hűtőközeg (szerkezeti elemek romlása, veszélyforrás -feltéve, hogy LFTR-es)

Th-alapú reaktorokra való átállítás másik problémája, hogy a jelenlegi urán alapú erőművek hadügyi szempontból jelentősek, ugyanis plutóniumforrásként szerepelnek, ami nukleáris töltetekhez szükséges...

Jelenleg tehát a tórium bizonyul alternatívának, ha az uránt helyettesíteni szeretnénk a hagyományos reaktorokban (a hűtőkört leszámítva), de a jövőben nagy valószínűséggel, további anyagok és átalakítási reakciók után fogunk kutatni. Az erőművek hatásfokát egyúttal úgyis javíthatjuk, hogy a fűtőanyagok hasadása során a moderátorokat és szabályozó rudakat fejlesztjük. A hálózat optimalizálásával csökkenthetőek az energiaveszteségek, mivel a fűtőelemek kiégésének előrehaladásával a teljesítmény változik, amit a szabályozó rudak változtatásával folyamatosan követnünk kell; és a pontatlan szabályozás során több neutron vesz kárba, így a fűtőelemeket kevésbé tudjuk kihasználni.

3.2. A kiégett fűtőelem probléma

A következő kérdés, a **kiégett fűtőelemek feldolgozása**.

Az atomerőművek elleni legerősebb ellenérv a kiégett fűtőelemek környezetszennyező, veszélyes tulajdonsága szokott lenni. A jelenlegi felfogás, miszerint hulladékként kell kezelni az elhasznált fűtőelemeket, hibás. A feldolgozás fokozott figyelmet igényel, mert veszélyes anyagról van szó, de semmiképp nem tekinthető szemétnak. Az elhasznált fűtőkazetták kezelése jelenleg hatalmas mennyiségű energiaforrásokat emészt fel, eredménytelenül. Problémát jelent a tárolásuk, az elszállításuk. A paksi példát vizsgálva a jelenlegi megoldás, hogy a kiégett kazettát ideiglenesen egy pihentető medencében tárolják, ahol a termelődő hőt a medence vize vezeti el, hűtve a kazettákat. Majd pár évvel később a sugárzás mértéke lecsökken, könnyebben szállíthatóvá válnak, átmeneti tárolóba kerülnek, majd Oroszországba kerülnek a kazetták, ahol egy szeparációt követően a végleges sírba kerülnek többszörös elzárás mellett a „feldolgozott hulladékok”.

Elemezzük röviden, mi is ezzel a probléma:

1. A Pihentető medencés fürdetés

Mit is tartalmaz a kiégett kazettánk?

Többnyire **transzurán elemeket**; a transzurán elemek, ahogy nevük is mutatja, az urán után következnek a periódusos rendszerben. Bomlékony elemek, természetben nem megtalálhatóak.

Emlékezzünk vissza, mi is történik a radioaktív bomlás során?

Kisebb rendszámú elemek keletkeznek és energia szabadul fel
– ezért kell a víz, mint hűtő és árnyékoló közeg.

Mi volt a probléma a Th során?

Az, hogy nem elég reaktív és ezért át kell alakítanunk,

hogy a hasadási folyamat meginduljon és önfenntartóvá váljon.

Mi volt a baj, a U-238-as esetén?

A tóriummal megegyező.

Úgy gondolom, hogy nyilvánvaló mekkora pazarlást végzünk, amikor szemétként tekintünk a kiégett kazettákra. Vegyünk egy képletes példát:

tábortüzet rakunk, az elején viszonylag szép nagy lángokkal ég a rőzse, majd miután a rőzse elégett, a nagyobb farönkök parázslanak már csak. Ahhoz, hogy a nagyobb rönkök begyulladjanak, újabb adag rőzsét kell adjunk, hogy fedezzék az energiát, ami a rönkök begyújtásához szükséges, míg a folyamat önfenntartóvá válik. Tehát tudjuk, hogy a nagy fák begyújtása, energiát igényel (még nedves is egy kicsit esetleg, tehát a füsttel is bajlódunk kell), hőt fog elvonni és választanunk kell mit csináljunk:

a.) további rőzsét pakolunk a farakás közé, kockáztatva, hogy a rőzse hője kárba vész

b.) a parázsló farakást szétkotorjuk, elmegyünk vízért, eloltjuk, majd új tűzrakóhelyet keresünk, ami nem lett vizes az oltás közben és a maradék rőzsét újból meggyújtjuk

...

A pihentető medence során folyamatosan felügyelnünk kell, ami a jelen helyzetben csak az energiaforrásainkat terheli, arról nem is beszélve, hogy komoly biztonsági kérdés a medencék állapota, hogy nehogy a környezetet terhelje radioaktív sugárzás.

2. A szállítás

Ahogy a tárolás, úgy az elszállítás is újabb költségeket termel és ismét kockázati faktor, hiszen veszélyes anyag szállításáról beszélünk.

3. Az ideiglenes tárolás

Az ideiglenes tárolók telepítése, karbantartása, őrzése újabb kiadásokkal jár, ráadásul a lakosság jelentős része ellenérzését váltja ki újabb tárolók telepítése; tehát tiltakozásokkal, feszültségekkel társul, ráadásul nehéz megfelelően biztonságos helyet találni, ahol jók a környezeti adottságok, tároló építésére.

4. Feldolgozás és végleges tárolás

A feldolgozóba szállítás újabb költségekkel terheli az üzemet, a feldolgozásról nem is beszélve. Az értékes összetevőket a feldolgozás után pedig újból borsos áron eladják nekünk, mármint, amit eladnak és nem saját maguk használnak fel
pl.: Pu hadászati célok (ezzel természetesen nem a nukleáris fegyverkezésre bátorítok, de figyelembe kell venni, hogy minden idegen országba küldött feldolgozandó kiégett kazetta, potenciálisan a feldolgozó országnak a nukleáris arzenálját bővíti...)

A feldolgozás nehézsége, a magas szintű gépesítés, a magas munkavédelmi igények és nem utolsósorban a szakképzett munkaerő megléte.

A feldolgozó üzem létrehozásánál a beruházási költségeken kívül azt is figyelembe kell venni, hogy a feldolgozó üzem stratégiai szempontokból is fontos:

függetlenedésre ad lehetőséget.

Gondoljunk csak arra az eshetőségre, hogy az idegen feldolgozó üzem nem tudja vagy nem akarja a továbbiakban fogadni a kiégett fűtőelemeinket. Ez minden esetben egy kiszolgáltatott helyzetet eredményez:

1. eset: másik feldolgozó, illetve tároló hely keresése
2. eset: saját ideiglenes (és esetleg végleges) tárolók bővítése

A tárolók építésénél azt is figyelembe kell venni, hogy nem elég csak a geológiai paramétereknek megfelelnie, elzártnak kell lennie a jövő embereitől, véletlenül nehogy „kihantolják” pár száz év múlva...

Összefoglalva:

a feldolgozás hatékonyságán mindenképp szükséges lenne javítani, mivel a jelenlegi feldolgozás pazarló és rossz hatékonyságú, a tárolás pedig rengeteg problémával társul, a megoldás valószínűleg a *tenyésztő reaktorokban* rejlik.

Fúziós reaktorok:

A reaktorok fejlesztésének egy újabb lehetősége a bomlási reakciók fúziósra való cseréje, ez azért lenne jó, mert gyakorlatilag nem keletkezne káros anyag.

Egyelőre azonban nem sikerült létrehozni olyan reaktort, ahol több energia keletkezne, mint amennyit befektetnek a reakció létrehozására. Személy szerint én nem tudom komolyan venni a fúziós reaktorok fejlesztését – évtizedek óta „már csak pár év és megoldódik” illetve a „forradalmi áttöréshez érkeztünk” szinten tart – ezért nem is kívánok foglalkozni ennél többet a témával.

3.3. Negyedik generációs reaktorok – a jövő reaktorai

A reaktorok fejlesztésének másik irányvonala, hogy a hűtőkört vagy a hőmérsékletet cseréljük le korszerűbb megoldásra:

magas-hőmérsékletű-reaktorok, a már ismertetett olvadási-fázisú hűtések alkalmazása, szuperkritikus hűtőközegű reaktorok, és a gyors(-neutronnal működő) reaktorok.

Összefoglaló néven, **negyedik-generációs reaktorok**nak hívjuk a felsoroltakat; a 2000-ben tartott nukleáris energiaügyi konferencia óta, őket tekintjük potenciálisan a jövő reaktorainak.

3.3.1 Gyors reaktorok

Én a **gyors-üzemű (gyors neutronnal működű, vagy röviden gyors reaktorok)** reaktor típusokat emelem ki az előzőek közül, mert úgy gondolom ezekben van a legnagyobb fantázia és jövő:

A hagyományos reaktoroknál a neutronokat moderátorokkal lassítjuk le a megfelelő sebességre, *nos itt nem erről van szó.*

Előzőleg beszéltünk a kiégett fűtőkazetták felhasználásáról, azaz ki nem használságáról; a gyors neutron felhasználó reaktorok tervezése pontosan ennek a **megoldására** irányul.

A működésüknek az az elve, hogy hasadás során a gyors neutronok újabb hasadásra képes magokat „tenyésztnek” ki (tehát a reakció után több hasadásra képes magunk van, mint előtte), innen a „gyors tenyésztő” elnevezés.

A gyors reaktorok aktív zónája 2 részre bontható:

a **belső mag** tartalmazza a neutronforrást, ahová pl. dúsított uránt – plutóniumot helyeznek, és ezt a magot veszi körül a **dúsítandó zóna**. A reakció végbemenetele után az újonnan keletkezett hasadó anyag visszatáplálható vagy felhasználható hagyományos erőművekben fűtőanyagként. Gyakorlatilag a melléktermékek száma drasztikusan lecsökken, megszüntetve a hagyományos reaktortípusok problémáit.

A hűtőközegekről viszont nem beszéltünk még:
víz ugye a neutron lassítás miatt nem használható...

3.3.2. Nátrium-hűtésű gyors reaktorok

...a kezdeti tenyésztő reaktoroknál nátriumot alkalmaztak. Ameddig nem kerül víz (vagy levegő) a rendszerbe valamilyen sérülés során nincs is gond... viszont a nátrium víz jelenlétében (ez lehet akár a levegő nedvességtartalma is) hidrogént fejleszt, amit oxigén jelenlétében meg is gyújt, bizonyos mennyiség felett pedig be is robbant...

...ami pedig hát nem igazán szerencsés egy atomreaktor esetén – és mivel a víz igencsak elterjedt a bolygónkon, nem szerencsés kockáztatni....

Japánban, Monjuban 20 éve történt egy kisebb baleset épp ebből kifolyólag – zárt rendszer esetén nincs baj, de sajnos a zárt rendszerek egy idő után megszűnnek továbbá zárt rendszernek lenni - tehát véleményem szerint a nátrium-hűtés zsákutca és messze-messze elkerülendő nukleáris reaktorok esetén.



Égő nátrium

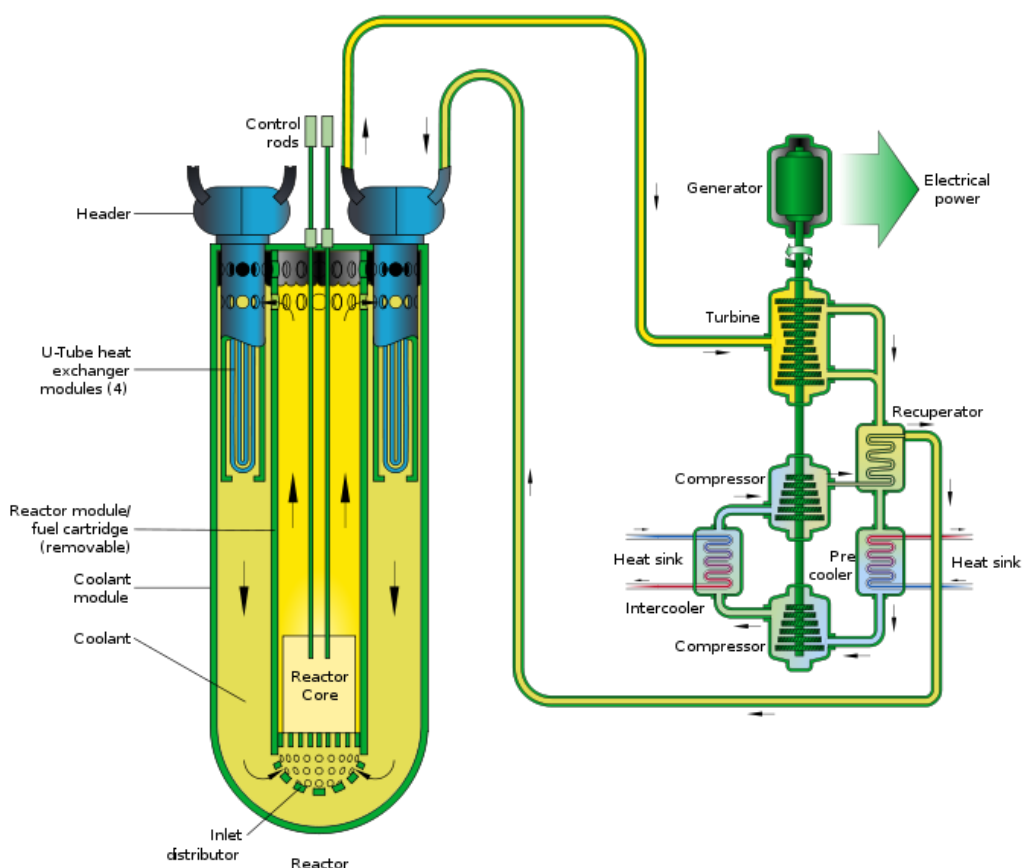
(<http://photos1.blogger.com/blogger/6106/1995/1600/sodium.jpg>)

3.3.3. Ólom-hűtésű gyors reaktorok

Az előzőnél jóval szerencsésebb megoldás, amikor folyékony ólommal illetve valamilyen eutektikumával történik a hűtés. Mivel fémről van szó, kiváló hővezetése van, viszonylag inertnek tekinthető (nem lép könnyen kölcsönhatásba levegővel vagy vízzel) és alacsony nyomáson is alkalmazható. Az ólom alkalmazása mellett beszél az is, hogy gyakorisága miatt alacsony költségekkel telepíthető is, magas forráspontja van, ami magas üzemi hőmérsékletet tesz lehetővé.

A felsorolt szempontok alapján az ólom-hűtés tehát relatív alacsony telepítési ára, biztonságos működése miatt a(z) (egyik) legjobb megoldásnak tekinthető.

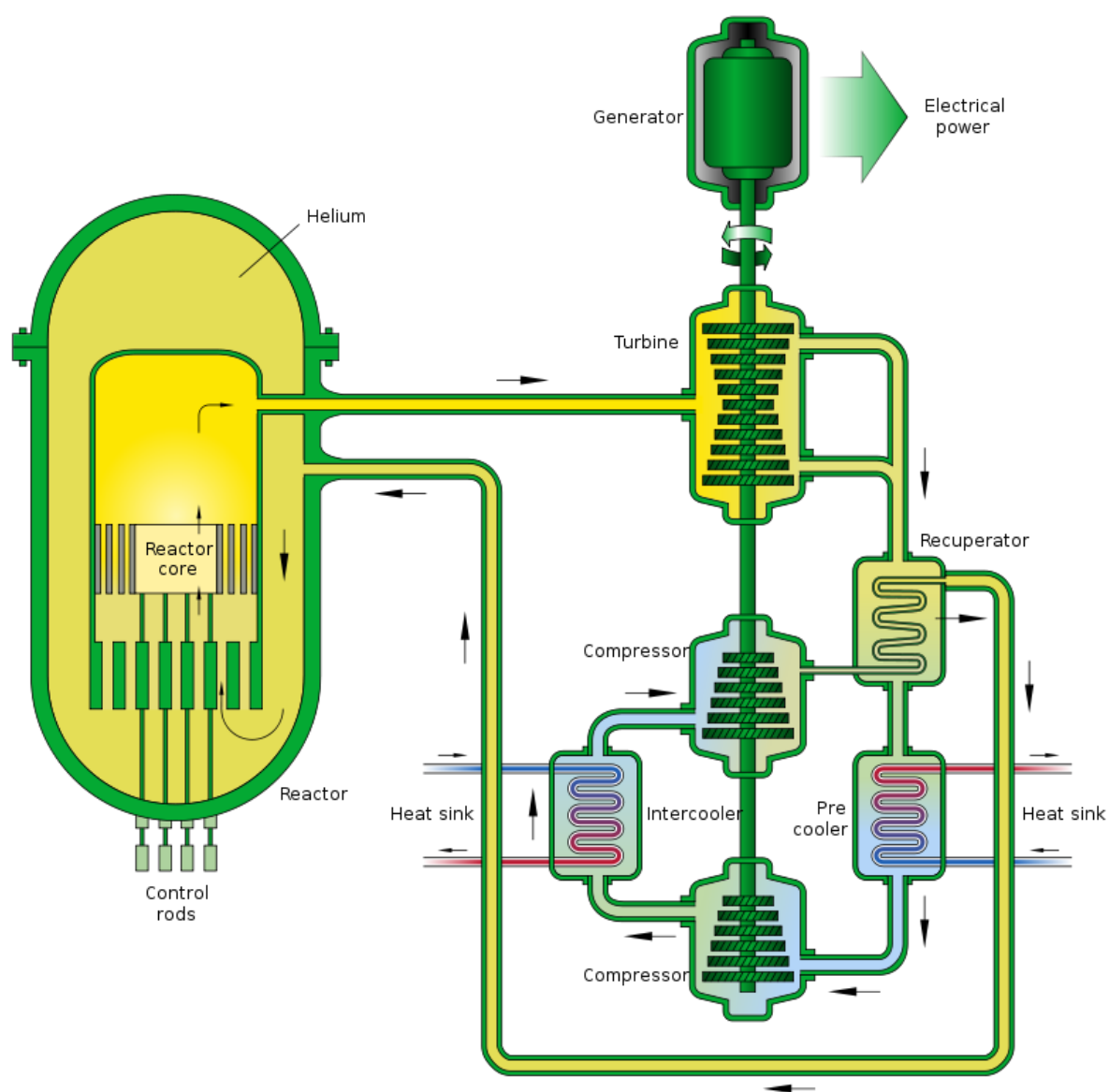
A 5. ábra egy ólom-hűtés elvi vázlatát mutatja be:



5. ábra⁷

3.3.4. Gázhűtésű gyors reaktorok

A gyors neutronokkal működő reaktorok hűtési lehetőségére a gáz-hűtés alkalmazható még. Itt héliumot keringetnek a hűtőrendszerben, a hélium kitűnő hűtőközeg, amit más technológiákban is alkalmaznak (pl. MRI), azonban igen költséges. *A légkörből elszökik, mennyisége így folyamatosan csökken ezért az elemzések szerint, ára pár évtizeden belül rendkívül növekedni fog⁸*, emiatt más hasonló tulajdonságú anyagok használata javasolt.



6. ábra⁹

Az 6. ábrán egy He-os hűtésű reaktor látható.

4. Más megközelítések

4.1. A fölösleges energia kezelése, integrált üzemek tervezése

A jövő reaktorai egy másik érdekes fejlesztést is magukkal hordoz(hat)nak: a keletkező energiával kémiai reakciókat lehet végrehajtani. A leggyakoribb példa, hogy egy hidrogén előállító üzemet kapcsoljunk az erőműhöz, így például vízből lehetne oxigént és hidrogént előállítani, amiből a későbbiek során például áramot lehetne nyerni üzemanyagcellákban. Véleményem szerint ez az ötlet egyelőre erősen elvetendő, **mert túl nagy kockázattal jár, mindaddig amíg nem megoldott a hidrogén biztonságos tárolása**. Ebből kifolyólag nem tartom jó ötletnek, hogy egy erősen robbanásveszélyes üzem kerüljön közel egy nukleáris erőműhöz.

Szerencsére azért a hidrogén előállításon kívül elég sok reakció energiaigényes még, tehát nem kell az ötletet elvetnünk azonnal, találunk más reakciókat. A keletkező energiát tengervízek sótanítására is használhatjuk például, vagy akár a levegő CO₂ tartalmából szénhidrogéneket is előállíthatunk (ami még mindig sokkal kevésbé robbanásveszélyes, mint a hidrogén), vagy vizet szivattyúzhatunk az energiával, ami száraz területek öntözési problémáit oldhatja meg.

Tehát foglaljuk össze: olyan energiatermelési formát használunk, aminek nincsen szén-dioxid kibocsátása, az eddigi nukleáris „szemetet” semlegesíti és a káros anyagkibocsátása minimális, sőt akár oxigént termelhet és megköti a CO₂-ot a környezetből. Elégé futurisztikusan hangzik, de megvalósítható.

Ha kémiai üzemet telepítünk az erőmű mellé, azzal a fogyasztói hálózat ingadozásait is megoldjuk:

a fölösleges energiákat a kémiai üzembe fektetjük, ahol hogyha energiahordozót állítunk elő, az energiahordozó visszaalakításával az ideiglenes megnövekedett igényeket is orvosolni tudjuk.

Az **erőmű vonzáskörében** úgy gondolom egy „sima” **tenyésztő reaktor felépítése** is mindenképpen nyereséges, amivel orvosi illetve kutatási célokra megfelelő izotópokat lehet előállítani a reaktor (fölsleges) termékeiből

4.2. A pazarlás-probléma avagy az energiatermelő – fogyasztó különválásából fakadó gondok és lehetséges megoldásaik

A növekvő energiaigényről, energiaforrások hiányáról szinte naponta hallani lehet, az emberek tudatába beleégett: sokan vagyunk és kevés az energia. A helyzet ennél azonban árnyaltabb: sokan vagyunk és még többet pazarlunk. Az az igazság, hogy energiaéhségünk tényleg hatalmas, de a **főprobléma** nem az, hogy nincs utánpótlása az energiaforrásainknak, hanem hogy a rendelkező **energiaforrásaink** csak **kis hányadát használjuk fel és maradék része pedig kárba vész**. Az újabb erőművek építésénél, illetve bővítésénél általánosan felhozott érv, hogy szükségünk van további energiatermelő egységekre, hogy az igényeket ki tudja elégíteni a rendszer. A jelenlegi energiatermelési és ellátási rendszerrel az a legnagyobb gond, hogy rossz hatásfokú. Kicsi hatásfokúak az erőműveink, kicsi hatásfokúak a fogyasztási berendezéseink, az energiátárolóink és amiről nem gyakran esik szó: vacak hatásfokúak energiaszállítási módszereink.

Összegezve, a rendelkezésünkre álló energiák töredékét használjuk csak ki.

A magyar helyzetet *vizsgálva éves szinten egy kisváros ellátásához szükséges energia veszik el a hálózatban*¹⁰.

Milyen megoldást lehet találni a problémára?

Az egyik lehetőség a hálózat fejlesztése, hogy eredményesebben tudjuk eljuttatni az energiát az energiatermelőtől a fogyasztóig. A másik lehetőség, hogy a távolságot csökkentjük.

Vizsgáljuk meg először a hálózat fejlesztését:

A hálózatnak két feladatot kell ellátnia:

- a.) a villamos energia szállítása
- b.) a villamos energia elosztása

Ahhoz, hogy a szállítás során a veszteség a lehető legkisebb legyen, 3 fázisú, nagyfeszültségű váltóáramot használunk (50 vagy 60Hz). Az áramot elvezetését két féleképpen is megoldhatjuk:

eljuttathatjuk **földalatti kábelek** segítségével vagy **oszlopok közé feszített vezetékeken**. Mindkettő módszer kiépítése energia- és időigényes, ráadásul az oszlopos (vagy szakszerűen szabadvezetékes) megoldás esztétikai és (sűrűbb) karbantartási problémákkal is jár.

A vezetékek alállomásokba futnak be, ahol különböző irányú / feszültségű hálózatok kapcsolódnak illetve ágaznak el. Az egész hálózat egy vezérlő egységgel össze van kötve, ami az igénynek megfelelően irányítja, hogy a rendszer megfelelően kiszolgálja a fogyasztókat. Az egész rendszer meglehetősen összetett.

A legnagyobb veszteség itt az ellenállás okozta hőveszteség. Tehát ebből kifolyólag, ha az ellenállást tudjuk csökkenteni, a rendszer hatásfoka javul.

A hagyományos vezetők közül az ezüstnek a legjobb az elektromos vezetőképessége, de gazdasági szempontokat is figyelembe kell venni, ezért a réz sokkal elterjedtebb megoldás. A **vezetőképesség hőmérsékletfüggő** tulajdonság; a fémek ellenállásával (az ellenállás a vezetőképesség reciproka) hőmérséklet növelésével növekedik, hűtve pedig csökken. Extra alacsony hőmérsékleten (a 0K-hoz közeledve) a kutatók azt tapasztalták, hogy az **ellenállás 0-ra** csökken, ezt a jelenséget nevezik **szupravezetésnek**. A szupravezető tulajdonságot kiterjeszthetjük általánosabb alakra, miszerint ha egy anyag ellenállása 0-ra csökken, akkor az és az alatti hőmérséklet esetén szupravezetésről beszélünk.

Szupravezetés szempontjából 1986 történelmi dátum, ugyanis Alex Müller és Georg Bednorz ekkor fedezték fel a „meleg szupravezetés” jelenségét. Müller és Bednorz felfedezése azért különleges, mert az előttük 75 évvel felfedezett „rendes” szupravezetéssel szemben, itt már jóval 0K felett történik szupravezetés.

Ettől függetlenül sajnos a széleskörű felhasználása egyelőre elmarad, mivel az alkalmazott kerámiák törékenyek és a szupravezetést az áram erőssége illetve a mágneses mező értéke is befolyásolja, megszünteti adott érték felett...

...a szupravezetés jelensége ettől függetlenül nem csak elméleti jellegű, számos gyakorlati felhasználása van jelenleg is:

a mágneses vasutak, MRI-készülékek, részecskegyorsítók a jelenséget használják ki. A szupravezetők kutatása valószínűleg még sok lehetőséget tartogat és energetikai szempontokból is hasznos lehet a jövőben, azonban rövidtávon erre az elvre sajnos úgy néz ki, nem építközhetünk, más irányból kell a kérdést megközelítenünk.

Az energiaszállítási veszteségek minimalizálására a másik lehetőségünk a távolság csökkentése, az erőmű és a fogyasztó között.

Magyar viszonylatokban a jelenlegi határviszonyok mellett (sajnos vagy szerencsére?) a távolság nem igazán meghatározó kérdés, hiszen a legnagyobb távolságok tervezési szempontjából sem számít nagy távolságnak (új erőmű telepítése és a főfogyasztók távolságát általában 500km-es távolságra szokták maximalizálni), azonban ha **világviszonylatokban** gondolkodunk, akkor gyakran megessik, hogy az **500km-es már nem is olyan nagy.**

Meglévő erőművek esetén praktikus tehát a nagyobb energiaszükségletű intézményeket minél közelebb telepíteni, ennek azonban vannak bizonyos korlátai: a már meglévő erőművek száma, elhelyezkedése, jelenlegi kapacitásának kihasználtsága; illetve az újonnan telepítendő üzem szükségleteihez is igazodni kell (pl.: műtrágya gyár esetén a víz igény), hiszen az erőmű közelsége nem jelenti, hogy a telepítendő üzemet feltétlenül oda éri meg a legjobban helyezni.

A másik lehetőség, hogy már meglévő ipari környezetbe helyezzük be az **új erőművet** és úgy próbáljuk elhelyezni, hogy minél több igényt ki tudjon szolgálni. A tervezés során feltétlenül figyelembe kell venni, hogy mérlegeljük, az adott üzemek, amelyekhez igazítanánk az erőművünk teljesítményét, mekkora várható életciklussal dolgoznak még. Egy erőmű kiépítése során értelemszerűen nem csak az erőmű megépítésével, hanem a kiszolgáló hálózat felépítésével is számolnunk kell; és a megtérülés szempontjából nagyon fontos, hogy például a kiszolgáló kohászati üzem ne szűnjön meg 15 éven belül (mert kiapadtak a bányák érckészletei). Fontos szempont még, hogy a kiszolgáló üzem lehetőleg állandó terheléssel dolgozzon, ne csak időszakosan; így a fölösleges veszteségeket elkerülhetjük, amit a teljesítmény megváltoztatása okoz.

Tehát az erőmű szoros kölcsönhatásban van a fogyasztókkal – ilyen szempontok alapján a lakossági igények kiszolgálása jóval egyszerűbb, hiszen kisebb teljesítmény is elegendő és viszonylag állandónak is tekinthető a fogyasztás. Hogyan egyszerűsíthető az erőművek telepítése?

Ha kisebb erőműveket és reaktorokat alkalmaznánk.

A jövőben nagy valószínűségekkel a „lakossági erőművek” megjelenésére számíthatunk. Mit is jelent ez, háztartásonként megjelenik a gáz kazán mellé/helyett a nukleáris erőmű? Nem valószínű. A reaktorok építése csak bizonyos méretek felett válik ésszerűvé, illetve a veszélyes anyagok kezelése miatt a lakossági kezelés elkerülendő; addig jó, ameddig minél kevesebb ember fér hozzá nukleáris anyagokhoz...

...a fokozott biztonsági igényeket csak fokozott ellenőrzés mellett lehet kielégíteni, bár Tellerék „bolondbiztos” alapvetően már megfogalmazták, tökéletesen megvalósítani még nem sikerült és valószínűleg nem is lehet, de a túlélési esélyeket jelentősen javítja, ha minél kevesebb „bolond” lép az erőművekkel kapcsolatba és az átlagfelhasználót a metánnál veszélyesebb anyaghoz nem engedjük közel.

A kisebb reaktorok ötlete tehát nem elvetendő, csak erős fegyelmezettséget kíván, emiatt a legalkalmasabb a jelenlegi nagyobb energiafogyasztókhoz való telepítés lenne, ahol lenne arra is lehetőség, hogy a biztonsági normákat betartsák és a telepítési-, fenntartási költségek megtérüljenek. Ilyen fogyasztók például:

szemétfeldolgozók, a jelenlegi hőerőművek amik a távfűtést fedezik, kórházak, illetve a nagyobb ipari létesítmények

Ha ez a megoldás beválik, utána pár évtizeden belül esetleg érdemes elgondolkodni a különböző városrészek önálló ellátásán – a jelenlegi alállomások ellátása energiatermelő egységekkel.

Kisebbségi reaktorok telepítése a vidéken olyan helyekre lenne célszerű, melyek az adott ország jelenlegi energiatermelő egységeitől nagyon kiesnek, mert perifériára szorultak, de a közelben lévő települések energia igénye összeségben nagy (pl. Szibéria)

4.3. Járművek meghajtása nukleáris reaktorokkal – és az ebből adódó környezeti szennyezések



Járművek meghajtásának elvi, illetve gyakorlati akadálya nincsen, jelenleg is több atommeghajtású tengeralattjáró és anyahajó cirkál a tengereken, azonban biztonsági aggály annál több van a betöltött szerepükről. Amikor a nukleáris reaktorok megjelentek az első felhasználási területe – ahogy általában a kutatásoknak – a hadászatban volt. A nem megfelelő biztonsági intézkedések miatt több baleset is történt (és valószínűleg még több, amiről tudomásunk sincsen); ráadásul a tétet növelte, hogy általában ezek a járművek nukleáris töltetű fegyvereket is szállítottak. A környezetre gyakorolt káros hatásukat nehéz pontosan megállapítani, az viszont biztos, hogy ezek a balesetek többnyire nem csak lokális szinten okoznak/okoztak problémát – az áramlatok a sugárszennyeződéseket a Föld különböző pontjaira széthordják, ami olyan szempontból „hasznos”, hogy a baleset helyszínén a koncentrációjuk csökkent valamelyest, azonban így sokkal több helyen is növelték a háttérsugárzást.

A környezeti terhelést egyébként az is növelte, hogy a mélygeológiai tárolást az egykori nukleáris éllovasok (Franciaország, Szovjetunió, USA) úgy értelmezték, hogy a kiegészített kazettákat a mélytengeri árkokba süllyesszék el...

...hál'Istennek a „nukleáris kőkorszakból” talán már sikerült a „bronzkorba” átlépnünk; és a '80-as évek még rendszeres óceáni szennyezéseinek 1997. szeptember 5-én véget vetettek, amikor a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében közös egyezményt fogadtak el; így legalább már szándékosan nem süllyesztik el a nukleáris „szemetet”.

A repülés esetén ugyancsak hasonlóan biztonsági megfontolások alapján nem szerencsés, nukleáris meghajtást használni – a légkörben a nukleáris szennyeződések rendkívül gyorsan terjednek és sokáig tartózkodnak, fertőzve bolygónkat.



A légkör fő nukleáris szennyezettségét ismételten az -elnézést- eszetlen katonáknak köszönhetjük, akik a kísérleti robbantások során több radioaktív anyagot juttattak a légkörbe, mint amennyit a nukleáris ércek bányászata, a reaktorbalesetek, a reaktorok normál kezelésénél kiszabaduló nukleáris kibocsátások, gyógyászati tevékenységek és fűtőanyagok kezelési munkálatai ÖSSZESEN okoztak¹¹

A józan ész végülis 1962-ben győzedelmeskedett; így Kína és Franciaország kivételével a kísérleti robbantások leálltak.

A repülés speciális esetében, az űrrepülés során viszont a nukleáris reaktorok használata elengedhetetlen tűnik a jövőben – a kicsi tömeg-energia arány miatt, viszont az űrbejuttatása a sugárzó anyagnak itt még veszélyesebb, tekintve, hogy a légkör magasabb részeiben következhet be egy esetleges baleset.

Valószínűleg a legcélravezetőbb megoldás ebben az esetben a tórium és a hasonló kis aktivitású anyagok kijuttatása, amik egy esetleges baleset során is kisebb szennyezést okoznának, de az űrben viszont át lehetne alakítani részecskegyorsítók segítségével (ahogy a Th-reaktorok terveiben) aktívabb uránná, amit már energiaforrásként lehetne használni.

5. Összefoglalás

A nukleáris energiatermelés ellen küzdeni, nagyjából annyira megfontolt dolog, mint a víz ellen tiltakozni – hiszen a vízbe is bele lehet fulladni és nem megfelelő felhasználása mellett megbetegedést is tud okozni, emellett súlyos (anyagi) károkat tud okozni természeti katasztrófák esetén. Mindkettő esetben a nem megfelelő kezelés, az emberi butaság, gondatlanság okozza a kárt, nem maga az anyag; és mindkettő anyag hozzájárul az életszínvonalunk fenntartásához, javításához.

A nukleáris energia nem jelent megoldást mindenre, bizonyos körülmények között nem alkalmazható, nem ajánlott vagy csak nem gazdaságos (autók esete például), viszont az energiaszükségleteink többségét célszerű a felhasználásával előállítanunk. A jelenlegi felhasználása még igencsak gyerekcipőben jár, a legfontosabb fejlesztési irányai, amikkel a jövőben mindenképpen foglalkoznunk kell: a kiégett üzemanyag cellák felhasználása és környezetünk tehermentesítése; az új erőművek sugárzó anyag kibocsátásának minimalizálása.

Véleményem szerint az igények kielégítésére az elkövetkező pár évtizedben a leginkább megfelelő irányzat az **ólomhűtéssel ellátott gyors neutronos reaktorok** építése. Ezeknek a reaktoroknak az alkalmazásával az eddigi nukleáris hulladékok felhasználódnának, ami jelentős gazdasági **előnyökkel** járna: **az olcsó fűtőanyag, a nukleáris hulladéktárolók tehermentesítése, függetlenedés** a jelenlegi drága, ritka és rossz hatásfokú feldolgozó üzemektől és nem utolsósorban függetlenedést jelentene a nukleáris fűtőanyagok piacától, hiszen tulajdonképpen magas szintű hulladékgazdálkodást jelent ez a technika. A környezeti hatásai: **kevesebb károsanyag keletkezése** adott energiámenyiségre vetítve az **eddig szennyezések csökkentése**.

Az ólomhűtésnek köszönhetően **jobb hatásfokú** a jelenlegi nyomott vizes reaktorokhoz képest és **biztonságosabb**, tekintettel hogy az ólom inertebbnek tekinthető, üzemzavar esetén sem fejlődhet hidrogén, ami robbanást okoz. Az újonnan telepített erőművekhez javasolnám **kémiai zöldüzemek telepítését**, így a reaktor közel állandó teljesítményen tartható.

A kémiai üzem környezeti hatásai az adott üzemtől függenek: felhasználásukkal csökkenthető például a légkör CO₂- tartalma (szénhidrogén előállító üzem) – így tulajdonképpen az üzem CO₂-kibocsátása negatív lenne, aminek hatásait azt hiszem nem kell ecsetelni, az üvegházhatás és globális felmelegedés korában.

A jövőben a nagyobb energiaszükségletű ipari üzemekbe remélhetőleg kisebb nukleáris reaktorok lesznek integrálva - így az energiaszállítási és energiaátalakítási pazarlásokat csökkenthetjük - melyeket egy független felügyelő szerv fog irányítani. Ezeknek a reaktorok a fő szerepe már nem az áramelőállítás lesz.

Irodalomjegyzék

1. <http://idegen-szavak.hu/nukle%C3%A1ris>
2. http://nagysandor.eu/nuklearis/index_pictures/NuklTerk_Halflife_Hu_370x250.jpg
3. http://atomfizika.elte.hu/akos/orak/kmod/ml/tau_elemei/image014.gif
4. http://www.atomeromu.hu/hu/Documents/Mukodesi_sema.pdf
5. <http://www.atomeromu.hu/hu/rolunk/technika/HogyMukodik/Lapok/default.aspx> alapján
6. <http://www.mvmpaks2.hu/hu/Atomenergia/IsmeretetoAlap/PublishingImages/K%C3%BCI%C3%B6nb%C3%B6z%C5%91%20t%C3%ADpus%C3%BA%20%C3%BCzanyag-kazett%C3%A1k.jpg> , <http://wordpress.mrreid.org/wp-content/uploads/2014/11/crocus-control-rods-604x377.jpg>
7. https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/image/jpeg/2015-07/msr_02-ga50807-02b_350.jpg
8. <http://www.independent.co.uk/news/science/why-the-world-is-running-out-of-helium-2059357.html>
9. https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_42148/gas-cooled-fast-reactor-gfr
10. <http://www.vg.hu/vallalatok/energia/egy-kisvaros-aramellatasat-fedezo-energia-veszik-el-a-halozatban-328425>
11. <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch08s02.html>

A közvetlenül nemfeltüntetett képek forrása:

2. oldalon szereplő kép:

<https://www.mindflash.com/wp-content/uploads/2013/01/Chunk-Blend.jpg>

Szilárd-arckép (5. oldal):

http://www.nuclearfiles.org/images/library/biographies/bio_szilard-leo.jpg

Teller (6. oldal):

http://img.timeinc.net/time/magazine/archive/covers/1957/1101571118_400.jpg

7. oldalon szereplő kép:

<http://previews.123rf.com/images/tombaky/tombaky0902/tombaky090200345/4407175-atomic-symbol-vector-Stock-Vector-atom.jpg>

Wigner-kép (10. oldal): http://epa.oszk.hu/00700/00775/00048/2002_11_01.jpg