

Egy reaktormag (aktív zóna) szerkezete. Ha a szabályozórudakat betolják, elnyelik a felesleges neutronokat. Ha a rudakat kihúzzák, a több szabad neutron több maghasadást vált ki.

A forralóvízes reaktort tartalmazó tartály nyomásálló; ez az úgynevezett *reaktortartály*. Ez kerül a hagyományos szénérőmű kazánja helyére az atomerőműben, hogy a vizet gőzzé alakítsa a magenergia segítségével. A mintegy $70 \cdot 10^5$ Pa nyomású gőzt turbinákra vezetik, melyek a velük közös tengelyen lévő generátort forgatják. Természetesen az atomerőműben is a generátor termeli a villamos áramot.

A példánk szerint 16 cm vastag reaktortartályban található a *reaktormag*, ahol a láncreakció következtében felszabaduló hő elpárologtatja, gőzzé alakítja a rajta átáramoltatott vizet. A reaktormag megközelítőleg 800 *fűtőelem*ből áll. A fűtőelemet a fémből készült *fűtőelem-kazetta* burkolja úgy, hogy nyílásain a víz akadálytalanul ki és be tudjon áramolni. A

kazettában a hűtővíz alulról felfelé haladva körülöleli a 64 darab *üzemanyagrudat*. Az üzemanyagrud egy fémcső, amit *üzemanyag-tablettákkal* töltenek meg. Az üzemanyag-tabletta pedig lényegében dúsított urán, urán-dioxid (UO_2) alakjában. A maghasadás következtében felszabaduló energia a hűtővizet gőzzé alakítja. A reaktorban áramló víz látja el a lassítóanyag, a moderátor feladatát is, azaz a maghasadás során keletkező gyors neutronokat lefékezi, így azok képesek lesznek további uránmagok hasítására.

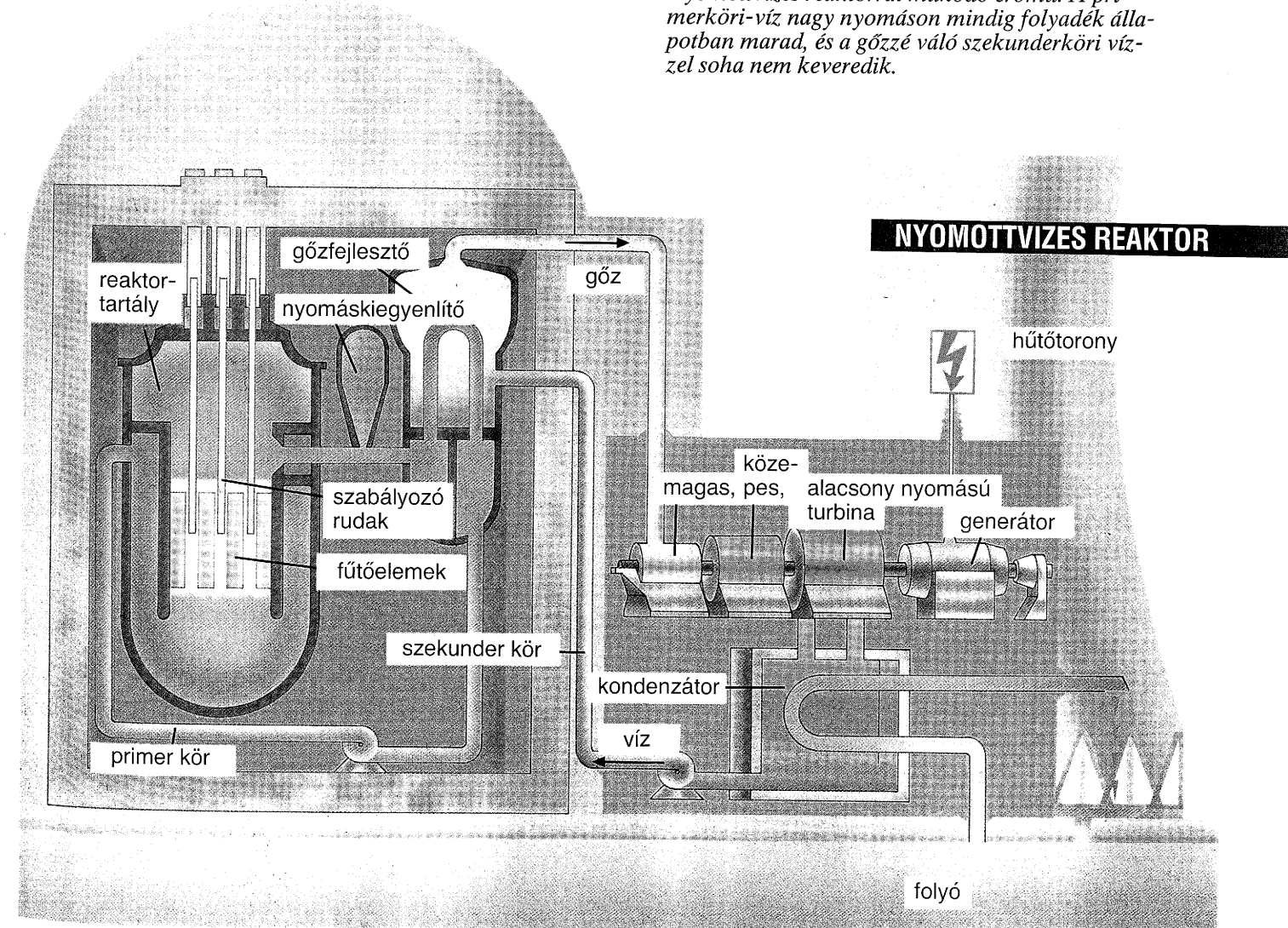
Mint láttuk, minden egyes maghasadás-kor két vagy három szabad neutron keletkezik. Ha a keletkező neutronok mindegyike újabb maghasadást okozna, a reaktor ellenőrizhetetlenné válna, túltölt sok energia szabadulna fel, a szabályozott láncreakció *megszaladna*. Ennek a megakadályozására minden reaktor tartalmaz neutronelnyelő, neutron abszor-

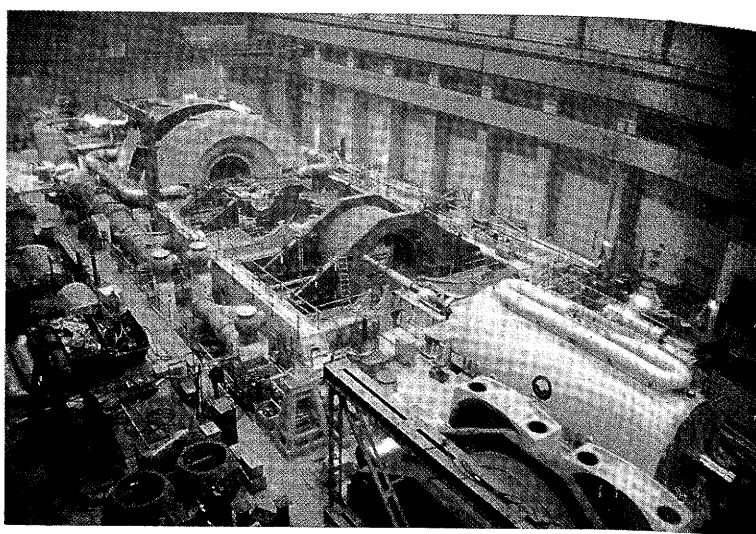
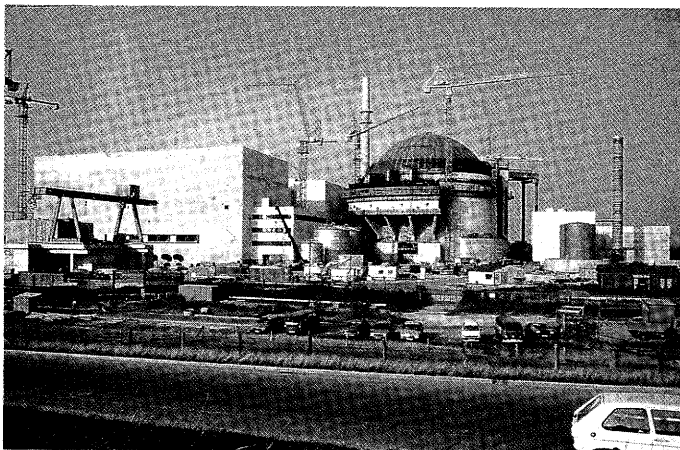
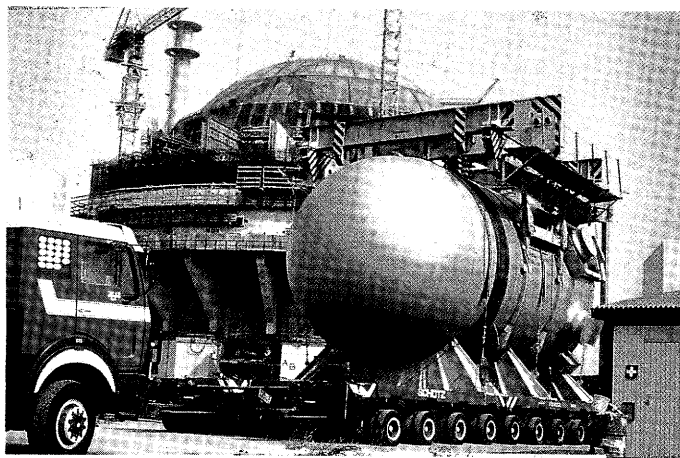
beáló anyagokat, bórt vagy kadmiumot, melyek pontosan annyi neutront nyelnek el, amennyi ahhoz kell, hogy a reaktor energiatermelése állandó maradjon. A neutronelnyelő anyagokat a *szabályozó rudak* tartalmazzák. A szabad neutron mennyiségét a szabályozó rudakkal lehet beállítani úgy, hogy a rudakat kihúzzuk a reaktormagból, vagy mélyen betoljuk. Ha a szabályozó rudak kihúzott állapotban vannak, kevesebb neutront nyelnek el, több maghasadás jön létre az aktív zónában. Ha viszont a rudakat betolják, több neutront fognak be, kevesebb hasításra alkalmas neutron marad, csökken a felszabaduló energia mennyisége. Tehát a szabályozó rudak ki- és betolásával az energiatermelés jól kézben tartható, vagy kívánságra le is állítható. Ha egy atomreaktort először helyeznek üzembe, az első neutronokat neutronfor-

rás segítségével kell előállítani. Erre nincs szükség, ha a reaktort egy időleges leállítás után újraindítják, mert a fűtőelemek megfelelő mennyiségű neutront szolgáltatnak ahhoz, hogy a reaktor indításához elegendő legyen a szabályozó rudakat kihúzni.

Az előbbieken láttuk, hogy a forralóvízes reaktor által termelt gőzt közvetlenül a turbinalapátokra vezetik. A nyomottvízes reaktorban a reaktormaggal érintkező víz nem forr fel. A víz nyomása olyan nagy ($150 \cdot 10^5$ Pa), hogy magas hőmérséklete ellenére is folyadék marad. A reaktormaggal közvetlenül érintkező vizet nevezzük *primerkörü-víznek*. A primerkörü-víz egy kacskaringós csővezetéken, a *gőzfejlesztőben* adja át az energiáját a *szekun-*

nyomottvízes reaktorttal működő erőmű. A primerkörü-víz nagy nyomáson mindig folyadék állapotban marad, és a gőzzé váló szekunderkörü vízzel soha nem keveredik.





Épül az atomerőmű. Szállítják a reaktortartályt (balra fent) az építkezés helyszínére (balra lent). A jobb felső képen a gépház látható a turbinákkal és a generátorral.

derkőri-víznek úgy, hogy vele közvetlenül nem érintkezik, miközben 330 °C-ról 290 °C-ra hűl. Mivel a szekunderkőri-víz alakul a gőzfejlesztőben gőzzé, és ez a gőz hajtja a turbinákat, illetve a generátort, a primerkőri-vízet vissza lehet szivattyúzni a reaktorba, hogy ott ismét 330 °C-ra melegedjen fel. Egy nyomáskiegyenlítő gondoskodik arról, hogy a víz nyomása mindig állandó maradjon.

Egy átlagos kiépítésű, 1300 MW-os nyomottvízes reaktorban, a reaktormagban körülbelül 200 fűtőelem van, egyenként 300 üzemanyagrudalal. A reaktor szabályozása egyrészt úgy történik, hogy a primerkőri-vízbe kisebb-nagyobb higításban neutronelnyelő anyagot, bórolatot kevernek el, másrészt kadmiumtartalmú szabályozó rudakat alkalmaznak, melyeket felülről lehet a reaktormagba betolni vagy onnan kihúzni. A forralóvízes reak-

torhoz hasonlóan a víz egyben neutronlassító-anyag, moderátor is. Ezenkívül a víznek más különleges feladata is van: a szabályozás. Ha a reaktor túlságosan felmelegszik, a primerkőri-víz sűrűsége csökken, ezáltal kevesebb gyors neutron tud lefékezni, kevesebb energiaszabadulással járó maghasadás történik, így lehűl az egész rendszer a megfelelő üzemi hőmérsékletre.

A forralóvízes és a nyomottvízes reaktorokat könnyűvízes reaktoroknak is szoktuk hívni, mivel mindkettő hűtőközege a könnyűvíz (H_2O), és nem a nehézvíz (D_2O).

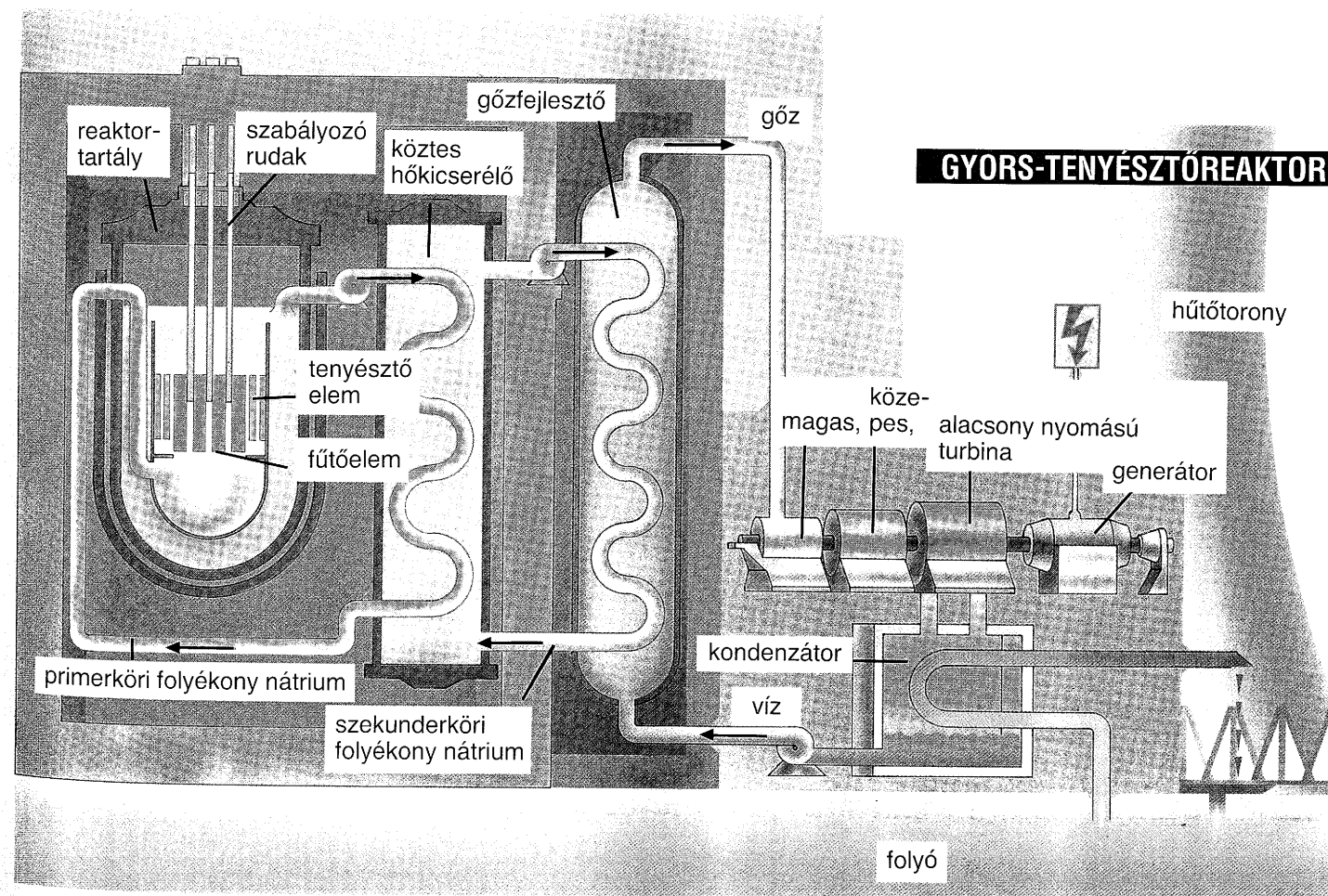
Mint már korábban láttuk, az U-238-as atommag befogja a neutronokat, majd bétabomlással plutóniummaggá alakul át. A plutónium jó hasadóanyag, azaz könnyen hasad neutronok hatására, és hasadáskor tetemes mennyiségű energia szabadul fel. A *tenyésztőreaktor* pontosan ezt használja ki. Ha hasadó-

anyagként plutónium-239-et használunk, minden egyes hasadásakor két vagy három szabad neutron keletkezik. A neutronok egy része a láncreakció fenntartásához szükséges, a többi neutron pedig befogják az U-238 magok, melyek ezáltal plutónium-239-cé alakulnak, azaz új hasadóanyag keletkezik. A tenyésztőreaktor tehát ideális esetben több hasadóanyagot termel, mint amennyit elhasznál. A többi megismert reaktortípus is szaporítja a hasadóanyagot, de nagyon csekély mértékben. Mivel az U-238 nagy mennyiségben áll rendelkezésünkre a Földön, a tenyésztőreaktor valószínűleg fontos szerepet fog betölteni a jövő század energiatermelésében, a jelenleg meglévő technikai nehézségek ellenére is, hacsak addig nem sikerül az energiatermelés veszélytelenebb formáját kidolgoznunk. A tenyésztőtechnika segítségével a különben értéktelen U-238 magok nagy részét jól hasadó magokká lehet alakítani, így a Földön rendelkezésünkre álló uránkészletet hatvenszor jobban lehet kihasználni, mint a hagyományos reak-

tortípusokkal. Az U-238 plutóniummá alakítása sokkal gazdaságosabb gyors neutronokkal, mint lassúakkal. A „gyors-tenyésztőreaktorokban” a tenyésztőfolyamat érdekében a gyors neutronokat használják hasításra, ez azonban kis plutónium tartalom mellett nem működik. Ezért a gyors-tenyésztőreaktorokban a hasadóanyag 20-30 százaléka plutónium, és csak 70-80 százaléka urán-238. A hasadóanyag mennyisége tízszerese az eddig megismert reaktorok üzemanyagmennyiségének. Az ilyen reaktorok építése és üzemeltetése sok nehézséggel jár, és sok veszélyt rejt magában az üzemanyag nagy mennyisége miatt.

Ezek után már könnyű megérteni, miként is épül fel a gyors-tenyésztőreaktor. A reaktorban kétféle üzemanyagrud van: a fűtőelem rudak, amelyekben a maghasadás az energiát termeli, és a tenyésztőru-

Gyors-tenyésztőreaktorral működő erőmű. Ezek a reaktortípusok más országokban, például Franciaországban már optimális üzemanyag-felhasználással üzemelnek.

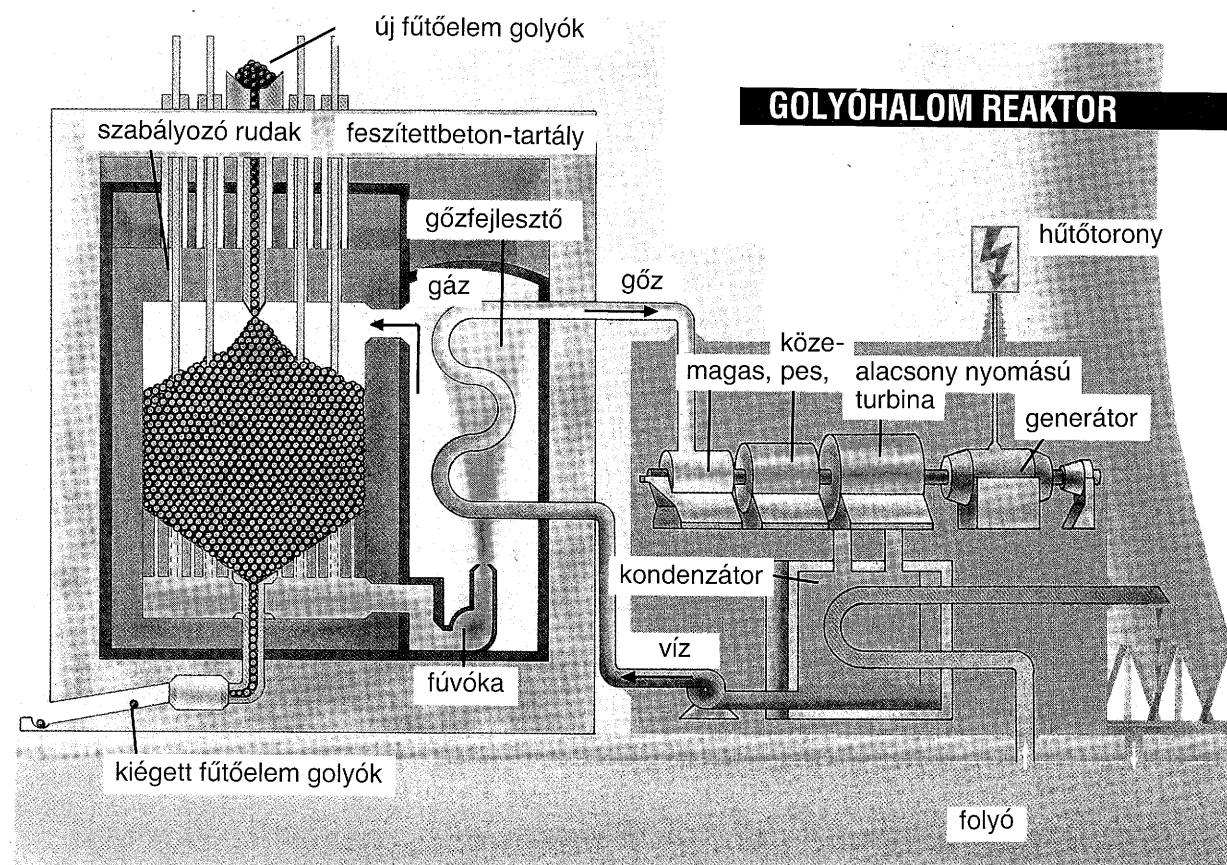


Milyen a tenyésztőreaktor?

dak, amelyekben a hasadóanyag termelődik. A hasadóanyag nagy aránya következtében a fűtőelemrudak hőleadása is nagyon nagy. A reaktort ezért folyékony nátriummal hűtik, aminek nagyon jó a hővezetőképessége, viszont a neutronokat alig fékezi, és ez különösen előnyös, mivel itt éppen arra van szükség, hogy a neutronok gyorsak maradjanak. A primerköri folyékony nátrium felmelegíti a szekunderköri nátriumot, ami a gőzfejlesztőben gőzzé alakítja a vizet. A gőz ezek után meghajtja a turbinákat és a vele közös tengelyen levő áramtermelő generátorokat.

Egy újabb reaktortípussal ismerkedünk meg, a *magashőmérsékletű-reaktorral*, amelynek valószínűleg nagy jövője van. Ez a reaktorfajta az urán mellett tórium-232-t is használ üzemanyag gyanánt. A tórium-232 urán-233-ból keletkezik, neutronbefogással. Az üzemanyag teniszlabda nagyságú grafit-gömbökbe ágyazott kicsiny, egymásra

Hogyan működik a magas-hőmérsékletű reaktor?



rétegzett részecskékből áll. A grafit egyben neutron lassító anyag, moderátor is. Az aktív zónában fejlődő hőenergiát valamilyen gáz veszi fel, lehet például hélium is, miközben 900 °C-ra melegszik fel. A forró gáz a gőzfejlesztőben a vizet elgőzölteti, és ez a gőz meghajtja a turbinákat.

A magashőmérsékletű-reaktornak számos előnye van. A magas hőmérséklet miatt nagy hatásfokkal üzemel. A vegyipar is igen jól felhasználhatja a magas hőmérsékletet, például szén elgázosításra.

Míg a nyomottvizes és a forralóvizes reaktorok ma már éppúgy nem számítanak technikai csodának, mint az autók vagy a repülőgépek, továbbá míg a tenyészítő és a magashőmérsékletű

Magas hőmérsékletű reaktormal működő erőmű. Az üzemanyag-részecskék teniszlabda nagyságú grafitgolyóba vannak beágyazva.

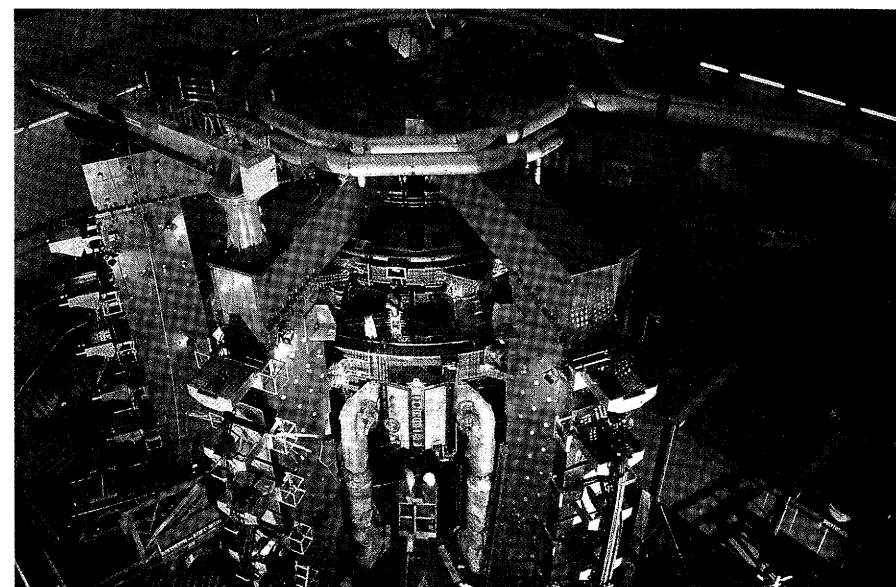
GOLYÓHALOM REAKTOR



A biblisi atomerőmű látképe. A hűtőtornyok már messziről felismerhetők.

reaktoroknak már folynak az üzemi próbái, addig a fúziós reaktor csak a messzi jövőben látszik megvalósíthatónak. A technikai problémák egyhén szólnak nagyok, mert az üzemanyagot, a deutérium és trícium (hidrogén) izotópokat százmillió (!) fokra kellene felmelegíteni. Viszont a nyereség is nagy. A fúziós reaktor minden energiagondot megoldana, hiszen 1 kg deutériumból az ilyen módon nyerhető energia 24 millió kWh. Ez a hatalmas energia 3 millió kg kőszén elégetésével volna csak előállítható. Természetesen nincs a Földön olyan edény, ami ezt magas hőmérsékletet elviselné. Folynak olyan kísérletek, amelyekben az üzemanyagot erős mágneses térrel

tartják együtt, vagy az üzemanyag-gömböcskéket rövid ideig tartó lézer-impulzusokkal próbálják meg felhevíteni, hogy azután a beinduló fúzió során felszabaduló energia melegítse tovább, azaz önfenntartó legyen a fúzió. Ez eddig még nem sikerült. Az úgynevezett „hideg” módszerrel is folytatnak kísérleteket, a mionoknak nevezett parányi részecskékkal, ez azonban túl bonyolult dolog. Az önfenntartó magfúzió technikai megvalósításától (kivéve a hidrogénbombát) még messze vagyunk. A technika rohamos fejlődése talán lehetővé teszi, hogy a jövő évszázadban a fúziós reaktor fontos szerepet kapjon majd az energia-termelésben és az űrutazásban.



A brit Culhamban épülő fúziós berendezés, a JET (JET = Joint European Torus = Egyesült Európai Tórusz). Az építést az Európai Gazdasági Közösség támogatja. Száz millió fokos hőmérsékleten egyesül a deutérium- és a tríciummag héliummá, hatalmas energiafelszabadulás közepette.

Az üzemanyag körforgalma

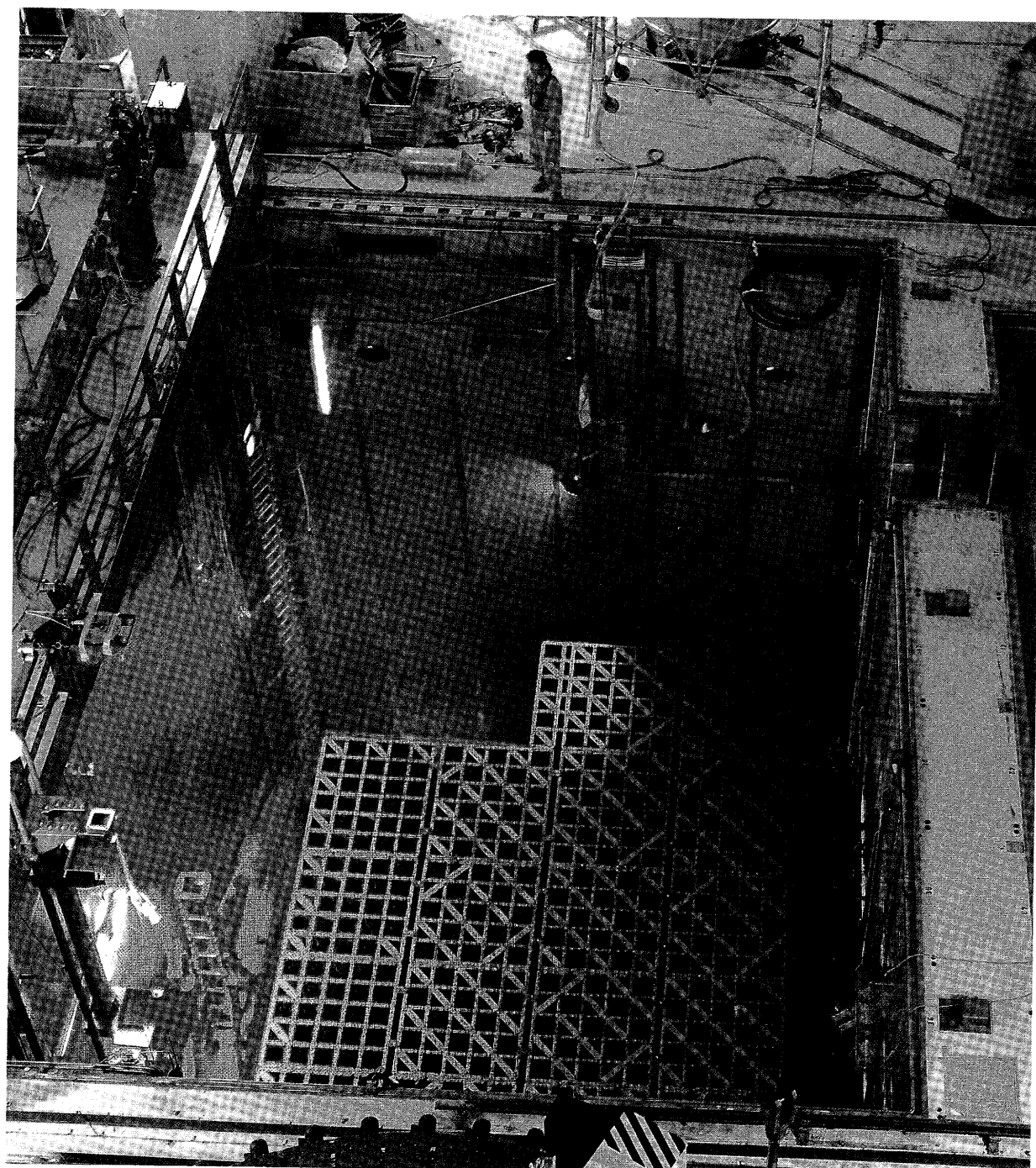
Uránbányászat — fűtőelemgyártás és újrafelhasználás

Az atomerőműveket egyrészt el kell látni nukleáris üzemanyaggal, másrészt a kiegészítő fűtőelemeket el kell távolítani, és biztonságos helyre szállítani. Az elhasznált üzemanyagban visszamaradt

Mit értünk a nukleáris üzemanyag körforgásán?

hasadóanyagot érdemes kivonni, a használatatlan, veszélyes radioaktív atomhulladékot biztonságos helyen el kell temetni. Ezeket az eljárásokat nevezzük együttesen *üzemanyag-körforgásnak*.

Az üzemanyag-ellátás és eltávolítás létkérdés az atomerőmű üzemeltetésében. A képen látható kiegészítő fűtőelemeket pihentető teknőben tárolják.



A körforgás a bányászattal kezdődik. Az uránt és a tóriumot vagy föld alatti vágatokban, vagy a szabad ég alatt, külszíni fejtéssel bányásszák. Mielőtt a kész fűtőelemeket az erőműhöz szállítanák, az ércet fel kell dolgozni, az uránvegyületet kémiaiilag át kell alakítani, és az üzemanyagban az U-235-ös izotópot a megfelelő arányra fel kell dúsítani. Az erőműben a kiegészítő üzemanyag eltávolítása éppen olyan fontos, mint az üzemanyag-ellátás. A kiegészítő fűtőelemeket egy daruszerű átrakógéppel kivesszik a reaktortartályból, és vízzel hűtött, pihentető medencébe teszik. Kétévi pihentetés után az atomreaktor hulladéka a köztes tárolóba kerül, majd innen pár év múlva újrafeldolgozómuibe viszik. Itt választják el a hulladékot a hasznos anyagoktól. A hasznos anyagokból fűtőelemeket készítenek. A radioaktív hulladék az előkezelőbe kerül, ahol tömör burkolattal látják el, majd biztonságos, föld alatti atomtemetőbe helyezik örök nyugalomra.

Az urán nehézfém, uránércből vonható ki.

Hogyan vonható ki az érc urántartalma?

A legismertebb uránérc a legtöbbször tonnás darabokban található uránszurokérc, melynek 95 százaléka urán-oxid. Sajnos a legtöbb uránércnek nagyon kevés az urántartalma. Az

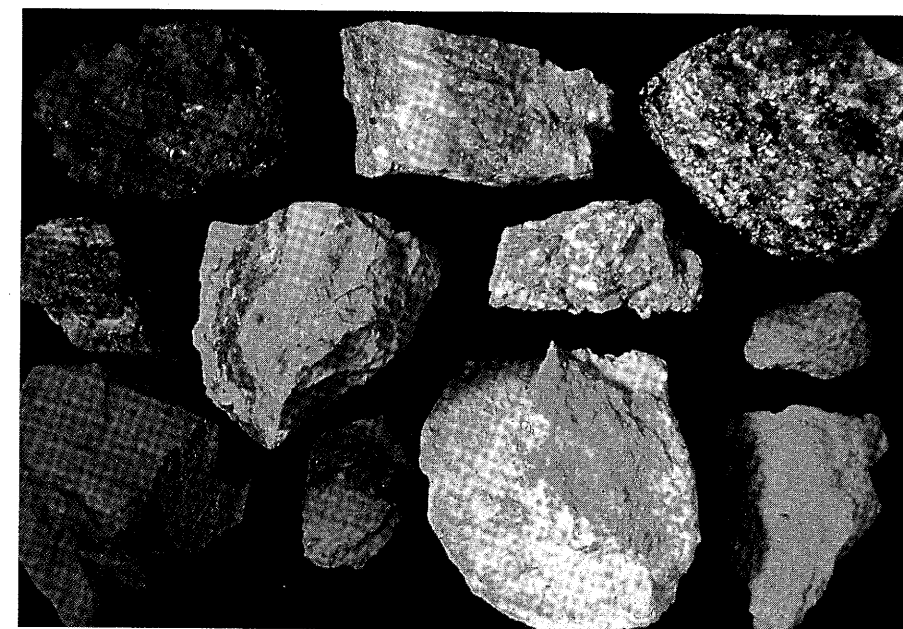
uránbányászat akkor gazdaságos, ha egy tonna ércben legalább egy kilogramm tiszta urán van. A külszíni fejtésből vagy föld alatti bányákból kitermelt uránércet legelőször is feldolgozzák. Az ércet először összeűzzák, majd megdarálják, végül kilúgozzák. A feldolgozási folyamat végére egy 70 százalékos urántartalmú masszát kapunk, az úgynevezett „Yellow Cake”-et, magyarra fordítva „sárga kalácsot”. Az ércfeldolgozás végtermékét, a sárga masszát egy másik üzembe szállítják, további feldolgozásra.

A tiszta, természetes urán az atomerő-

Hogyan dúsítható az urán?

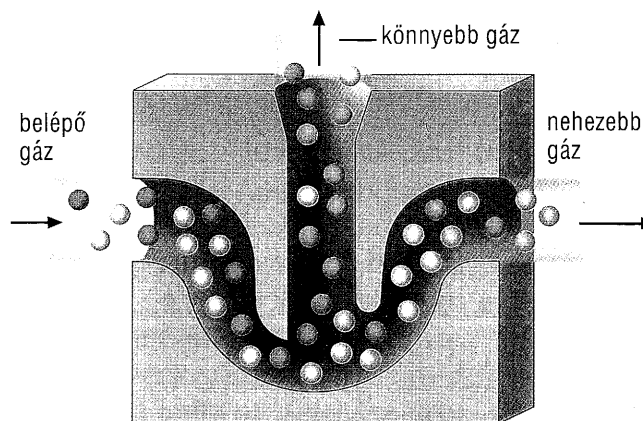
műhöz nélkülözhetetlen U-235-ös izotópot csak 0,7 százalékban tartalmazza, a fennmaradó 99,3 százalék

a valamivel nehezebb, nem hasadó U-238. A Paksi Atomerőműnek 3–4 százalékos U-235 tartalmú üzemanyagra van szüksége, ezért a U-235 koncentrációját növelni kell, tehát *dúsítják* az uránt. Mivel az uránizotópok kémiaiilag nem különböznek, vegyipari módszerekkel nem választhatók szét, fizikai módszereket kell alkalmazni, kihasználva a közöttük levő tömegkülönbséget. A dúsításhoz az uránt először fluor segítségével gázzá alakítják. A keletkező uránhexafluorid (UF_6) az

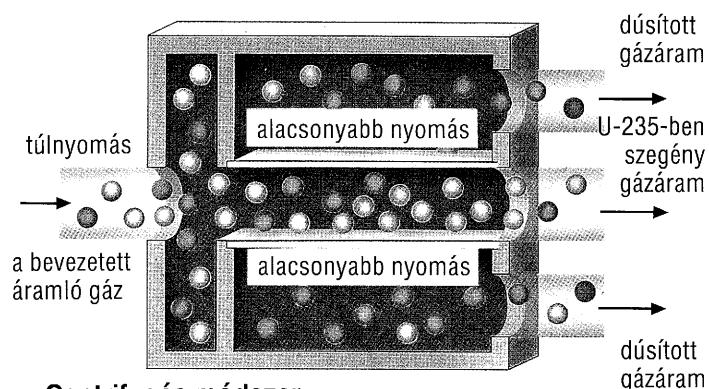


Az uránércet vagy külszíni fejtéssel, vagy földalatti vágatokban bányásszák. A képen uránérc darabok láthatók.

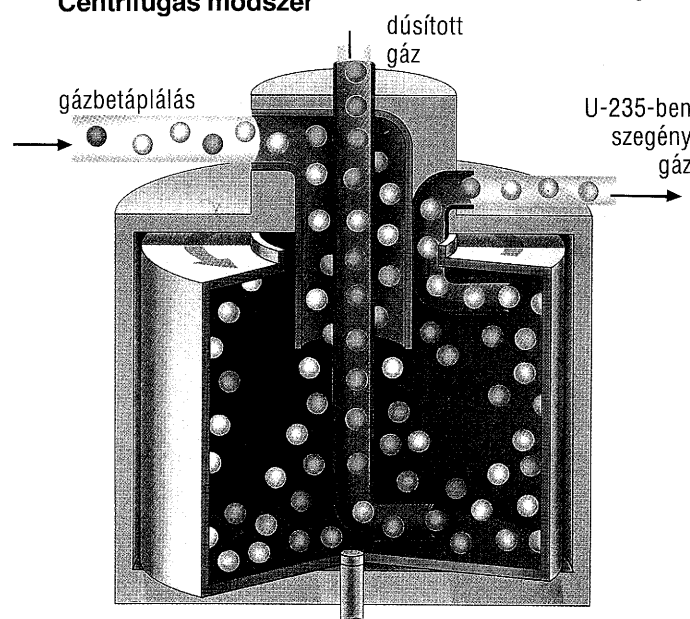
Fúvókás módszer



Gázdifúziós módszer



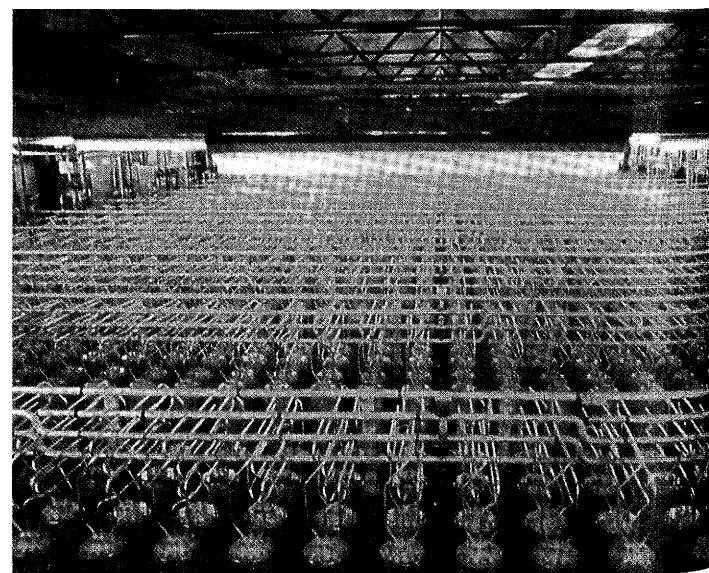
Centrifugás módszer



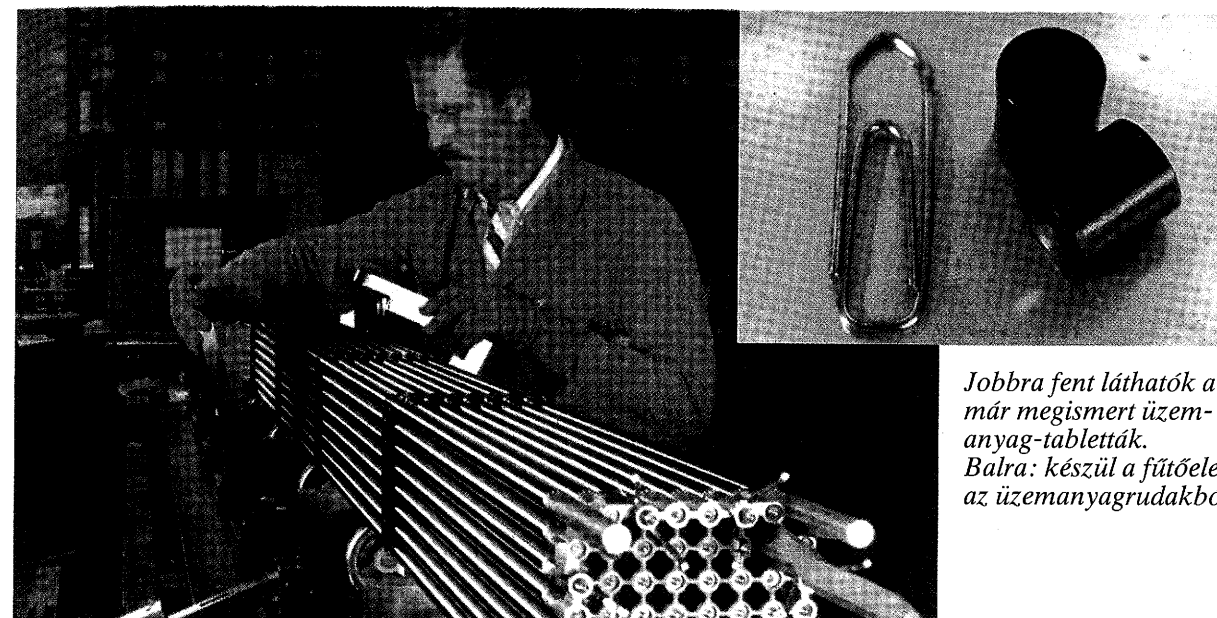
A három legismertebb dúsítási módszer. A cél az U-235 tartalom növelése. Az U-235-ös mag piros, az U-238 kék.

urán és a fluor vegyülete. Az uránizotópok szétválasztására több különböző módszer lehetséges. A fúvókás szétválasztás során az UF_6 gázt egy félkör alakban meghajlított, kicsiny, vékony csőbe, a fúvókába préselik. A félkör alakú pálya következtében fellépő centrifugális erő hatására a gáz U-238 tartalma a csővecske külső fala mentén nagyobb, így a nála könnyebb U-235-től el lehet választani, mivel az U-238 nagyobb tömege miatt nagyobb ívű pályára kerül. Természetesen nem különíthető el tökéletesen a kétfajta izotóp. Ha azonban több kis, fúvókás berendezést egymás után lépcsőzetesen sorba kapcsolunk, végül is ezeken végighaladva a gázban az U-235 izotóp fokozatosan feldúsul a kívánt mértékre.

A gázdifúziós módszer alkalmazásakor az UF_6 gázt egy membránon nyomják át. A könnyebb U-235 atomok mozgékonyabbak, könnyebben átszivárognak, diffundálnak a membrán pórusain, mint a nehezebb U-238 atomok. Természetesen ebben az esetben is csak részleges a szétválasztás. A centrifugás módszerben — ahogyan a nevéből is kiderül — a gázt egy nagyon gyors centrifugában pörgetik. A centrifuga közepében a könnyebb U-235-ös atommagok nagyobb arányban halmozódnak



Egy urándúsító berendezés képe. A sok kis egységet egymás után sorba kapcsolják.



Jobbra fent láthatók a már megismert üzemanyag-tabletták. Balra: készül a fűtőelem az üzemanyagrudakból.

fel, mint a fal közelében, mivel az U-238 magok nagyobb tehetetlenségük miatt nagyobb ívű pályára kényszerülnek. Ezzel ismét szétválaszthatók az U-235 és U-238 atomok. Természetesen itt is több centrifugát kell egymás után sorba kapcsolni, hogy elérjék a kívánt dúsítást. Azok a berendezések, melyek a szükséges dúsítást egy lépésben oldják meg, még kísérleti állapotban vannak.

Könyvünk előző fejezeteiben már láttuk,

Miként állítják elő a fűtőelemeket?

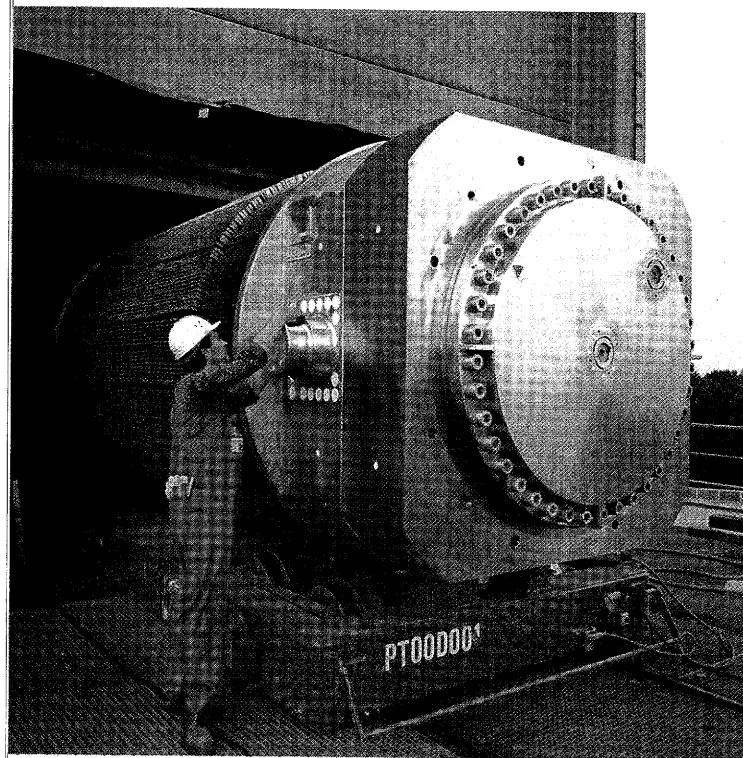
hogy az atomerőmű üzemanyagrudai uránoxidból (UO_2) készült üzemanyag-tablettákat tartalmaznak. Az urán-oxidot a dúsított UF_6 gázból állítják elő, majd 1,5 cm magas és 1 cm átmérőjű tablettákká préselik. Ezek a méretek természetesen minden, ebben a könyvben tárgyalt erőműtípus esetén is változhatnak, nem is beszélve arról, hogy országról országra is változnak. A fent említett méretek nagyjából az átlagos jellemző méretek. A nyers, sajtolt tablettákat ezután 1700 °C-ra hevítik, hogy elérje a megfelelő sűrűséget és szilárdságot. A lehűlt tablettákat 0,0001 mm pontossággal

megmunkálják, és a burkolócsövekbe töltik. A jobb hővezetés és hőleadás érdekében a csöveket héliummal töltik meg. A csöveket sohasem töltik ki teljesen a tablettákkal, hogy a maghasadás során keletkező gáznak elegendő helye legyen. Ezt a kis üreget *hasadási gáztérnek* nevezzük. A megtöltött és légmentesen lezárt burkolócsöveket nevezzük üzemanyagrudnak. Ezeknek a szabályozórudakkal egybeépített tömbje alkotja a szabályozó rudat. A fűtőelemek felépítése szintén helyről helyre változhat. A foralóvízes reaktorokban legtöbbször 7 · 7-es üzemanyagrud-kötegek vannak. Ezek alkotnak egy fűtőelemet. A nyomottvízes reaktorban 15 · 15-ös vagy 20 · 20-as kötegek vannak egy fűtőelemben. A kötegekben elhelyezkedő szabályozórudak helyzete is erősen függ a reaktortípustól, illetve az országtól.

Az előző részekben láttuk, hogy az atom-

Hogyan szállíthatók a kiégett üzemanyagrudak?

mag hasadása során közepnehéz atommagok keletkeznek, melyek erősen radioaktívak lehetnek, és nagyon veszélyes sugárzást bocsátanak ki



Épül a kiégett fűtőelemek szállítótartálya. Ez a tartály a mai technika egyik legbiztonságosabb konstrukciója.

magukból. Egy elhasznált üzemanyagrud nagy mennyiségű, az élő szervezetre veszélyes anyagot tartalmaz, de marad benne még használható U-235, és hasznosítható plutónium is keletkezik. Ha a szerkezeti anyagoktól és a burkolócsőtől eltekintünk, a kiégett üzemanyagrud körülbelül 3 százalék erősen aktív anyagon kívül 95 százalékban tartalmaz U-238-at, 1 százalékban U-235-öt, és kevesebb mint 1 százalékban plutóniumot, ami a szaporítás során U-238-ból keletkezett.

Hogy ezek a veszélyes anyagok a környezetbe ne kerülhessenek, ahhoz nagyon szigorú biztonsági előírásokat kell betartani. Ezért a Német Szövetségi Köztársaságban (és hazánkban is) a következőképpen járnak el: A kiégett fűtőelemeket eltávolítják a reaktorból, és a reaktorépületben levő pihentető medencébe teszik, ahol több évig pihen. Itt lassan csökken az aktivitása, és hőtermelése is kisebb lesz. Pár év pihentetés után a fű-

tőelemeket tovább kell szállítani. A szállításhoz 50 cm falvastagságú, speciális tartályokat készítenek. A tartály jól elzárja a külvilágtól a veszélyes anyagokat, s még akkor is leárnyékolja a sugárzást, ha valamilyen baleset miatt erős külső hatás éri. A tartálynak egyaránt ki kell bírnia félórás tüzet és erős ütődést is, pl. ha 9 m magasról kemény talajra esne. Egy ilyen, akár 120 tonna tömegű tartályban kilenc kiégett fűtőelemet lehet ideiglenesen tárolni, vagy az újrafeldolgozó üzembe, azaz a reprocesszációba szállítani. A német atomerőművek évente 250 t atomhulladékot termelnek, a Paksi Atomerőmű évente kb. 56 tonnát. Ez az óriási mennyiség hatalmas követelményt támaszt mindazon cégekkel szemben, amelyek a kiégett fűtőelemek hasznosításával, illetve raktározásával foglalkoznak.

Egy atomerőműben a fűtőelemeknek mintegy harmadát kell évente újakra kicserélni. Egy 1300 MW-os nagy erőműben évről évre 30 t kiégett üzemanyagot távolítanak el. (Pakson 56 tonnát). 2000-re a Német Szövetségi Köztársaságban az elhasznált urán mennyisége várhatóan 11 000 t lesz. Ezek az anyagok, a hasadási melléktermékek, veszélyesek az élő szervezetre, sugárfertőzést okoznak. Ugyanakkor azonban értékesek is, hiszen újrafelhasználható hasadó atommagokat tartalmaznak. Ezért a kiégett fűtőelemek eltávolítása és újrafeldolgozása a környezet, de a gazdaságos termelés szempontjából is igen fontos.

A biztonság érdekében a következő módon járnak el: A kiégett fűtőelemeket először körülbelül egy évig tárolják az atomerőmű pihentető medencéjében (Pakson a tárolási idő öt év), utána az ideiglenes köztes tárolóba szállítják. A kiégett fűtőelemek itt a szállítótartályban maradnak, ahol az abszolút biztonságos tárolás

következtében a külső környezetet a legcsekélyebb sugárzás sem éri. Újabb pihentetés után kerülnek a rudak *újrafeldolgozásra, reprocesszációra*. A még hasznosítható üzemanyagot kivonják, és ismét üzemanyagrudakat készítenek belőle. A veszélyes hasadványokat elkülönítik, örökre eltemetik az úgynevezett *atomtemetőkben*. Természetesen a kiégett fűtőelemeket újrafeldolgozás nélkül is örök nyugalomra lehet helyezni.

A reprocesszáció olyan újrafeldolgozó

Mi a reprocesszáció-mű?

üzem, gyár, ahol a kiégett fűtőelemeket feldolgozzák. Az üzem gépei, berendezései szétválasztják az üzemanyagrudak különböző alkotórészeit, elkülönítik a radioaktív hulladékot. A maradék U-235 és a felszaporodott plutónium újrafelhasználásra kerül. Az el nem hasadt U-235 magok mellett a kiszolgált üzemanyagrud plutónium-239-et (Pu-239) is tartalmaz, ami az U-238-ból keletkezett neutronbefogással és magátalakulással. A plutóniumot hasadó

anyagként lehet hasznosítani. A kiégett fűtőelemeket egy ideig az atomerőmű pihentető medencéjében tárolják, majd a köztes tárolóhelyre viszik. Ezután kerül az anyag szállítótartályokban az újrafeldolgozó üzembe. Mivel a rudak még mindig erősen sugároznak, a gyár személyzetét vastag betonfalakkal és ólomüveg ablakokkal védik. A munkások ólomablakok mögött dolgozva darabolják a rudakat. A feldolgozás további része teljesen automatikus. A rudakat darabolás után salétromsavban feloldják. Az urán, a plutónium és a hasadványok majdnem teljesen feloldódnak a savban. Az üzemanyagrud darabkái azonban visszamaradnak, nem oldódnak fel. A sugárzó darabkákat cementbe ágyazzák, és biztonságos tárolóhelyen eltemetik.

Egy sor kémiai eljárással az uránt és a plutóniumot három lépcsőben választják el a hasadási termékektől. Az uránt és a plutóniumot további elkülönítés és tisztítás után egy másik gyárba szállítják, ahol új üzemanyagrudakat készítenek belőlük. A radioaktív atomhulladékot pedig atomtemetőbe viszik. (A Paksi Atomerőmű kiégett fűtőelemeit az Uralon túlra szállítják.)

Távírányítású manipulátorok segítségével dolgoznak a radioaktív hulladékokkal a karlsruhei reprocesszáció üzemben. Az üzemanyagrudakat ollókkal darabolják fel.

