

Az atomerőművekről

A 11.-es kísérleti tankönyv 27. “Veszélyesek-e az atomerőművek?” című leckéje teljes egészében az atomerőművek témáját taglalja. Ebben egy tömör leírás szerepel a kérdéskörrel. A tankönyv röviden leírja az ide tartozó legfontosabb szakmai megfontolásokat.

Az alábbi oktatási segédanyagban egy részletesebb leírás szerepel erről a témáról. Alapvetően egy részletesebb cikk alapján történő feldolgozási javaslat olvasható. Ez egy gyermekeknek (is) szóló konferencián került nyilvános feldolgozásra.

Valamint javasolt olvasmányok is szerepelnek, internetes linkek formájában

A segédanyag tartalma:

1. Feldolgozási javaslat az előadás alapján:

A nukleáris energiatermelés új lehetőségei

1.1. Nukleáris TOTO

1.2. Alapismeretek az atomerőművekről

1.3. Főbb reaktortípusok

1.4. Reaktorméreg

1.5. Néhány adat a tervezés alatt lévő Paks2 blokkokról

1.6. Irodalomjegyzék

2. További ajánlott irodalom és elektronikus források a nukleáris energiáról és az atomerőművekről

1. FELDOLGOZÁSI JAVASLAT AZ ELŐADÁS ALAPJÁN:

A NUKLEÁRIS ENERGIATERMELÉS ÚJ LEHETŐSÉGEI [1]

1.1. Nukleáris TOTO

Előadásunkat egy úgynevezett Nukleáris totóval kezdtük, melyet olyan rendezvényeken szoktunk használni a beszélgetés elindításához, melyeken kifejezetten azért veszünk részt, hogy tájékoztassuk a lakosságot a nukleáris energiáról.

A helyesnek tartott válaszok vastag betűvel szerepel, ahol lehet ilyenről beszélni.

- 1) Mi jut eszébe, ha meghallja azt a szót, hogy atom?
 - (a) energia
 - (b) bomba
 - (c) magas színvonalú technika
 - (d) bomba és energia
 - (e) az anyagok építőeleme
- 2) Mit gondol a nukleáris energiáról?
 - (a) hasznos
 - (b) káros
 - (c) veszélyes az emberiségre nézve
 - (d) megfelelő technikával hasznos
 - (e) szükséges, de veszélyes
 - (f) veszélyes, de megfelelő biztonsági technikával alkalmazható
- 3) Milyen megoldást javasol a jövő energiaigényének kielégítésére?
 - (a) kőolaj, földgáz
 - (b) szénenergia
 - (c) napenergia
 - (d) nukleáris energia
 - (e) biomassa
 - (f) vízenergia

- 4) Mit tud az atombombában végbemenő folyamatokról?
- (a) **szabályozatlan nukleáris reakció**
 - (b) kémiai reakció
 - (c) magfúzió
 - (d) semmit
- 5) Mit tud az atomerőműben végbemenő folyamatokról?
- (a) **szabályozott nukleáris reakció**
 - (b) szabályozott kémiai folyamat
 - (c) magfúzió
 - (d) semmit
- 6) Ön szerint egy atomerőmű környezetében – normál üzemi szituációban – hányszorosára emelkedik a sugárzási szint a természetes háttérsugárzáshoz képest?
- (a) nem növekszik
 - (b) **elhanyagolható mértékben növekszik**
 - (c) kétszeresére nő
 - (d) tízszeresére nő
 - (e) veszélyes mértékben növekszik
- 7) Ön szerint melyik erőműtípus nem bocsát ki üvegházhatású gázokat?
- (a) Szénerőmű
 - (b) Olajtüzelésű erőmű
 - (c) Kombinált gáz/gőzerőmű
 - (d) **Atomerőmű**

- 8) Ön szerint fertőző-e a sugárbetegség?
- (a) Igen
 - (b) **Nem**
 - (c) Igen, de csak cseppfertőzés útján
 - (d) Igen, de csak nemi úton terjed
- 9) Hol, milyen célból alkalmaznak radioaktív sugárforrásokat?
- (a) Hegesztési varratok ellenőrzésére
 - (b) Mezőgazdasági termékeke sterilizálására
 - (c) Rákos daganatok elpusztítására
 - (d) **Ezekre mind**
- 10) Ha egy radioaktív atommag felezési ideje 1 év, akkor 1000 darab ilyen magból mennyi marad 3 év múlva?
- (a) **125 darab**
 - (b) 1525 darab
 - (c) 250 darab
 - (d) $\sqrt[3]{1000}$ darab
- 11) Ön szerint a Paksi Atomerőművet érheti-e a csernobilihoz hasonló katasztrófa?
- (a) Igen, bármikor előfordulhat
 - (b) **Nem, mert más típusú reaktorok üzemelnek Pakson, amelyekben reaktorfizikailag sem állhat elő a csernobilihoz helyzet**
 - (c) Igen, de megfelelő üzemeltetéssel ez megelőzhető
- 12) Ismeri-e a Paksi Atomerőmű honlapját?
- (a) Igen
 - (b) Nem
 - (c) Sejtettem volna, hogy van

13) Hogyan fizeti a Paksi Atomerőmű Zrt. a nukleáris hulladék elhelyezésének és az erőmű majdani leszerelésének költségeit?

- (a) Eladja a kiégett fűtőelemeket Oroszországnak.
- (b) Nem ő fizeti.
- (c) **A Központi Nukleáris Pénzügyi Alapon keresztül, amelybe az eladott villamosenergia után fizet.**
- (d) A paksi dolgozók béréből vonják le.

13+1) Ön szerint mi legyen a paksi atomerőmű jövője?

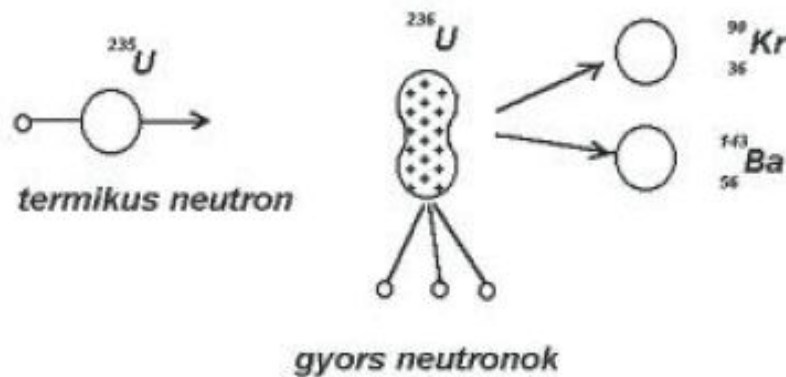
- (a) Üzemeljen az eredetileg tervezett üzemideig a megfelelő műszaki, biztonsági feltételek betartásával.
- (b) Azonnal állítsák le.
- (c) A megfelelő műszaki, biztonsági és gazdasági feltételek teljesülése esetén akár az eredetileg tervezett üzemidő meghosszabbítható.

1.2. Alapismeretek az atomerőművekről

Mit kell tudni az atomerőműben végbemenő folyamatokról?

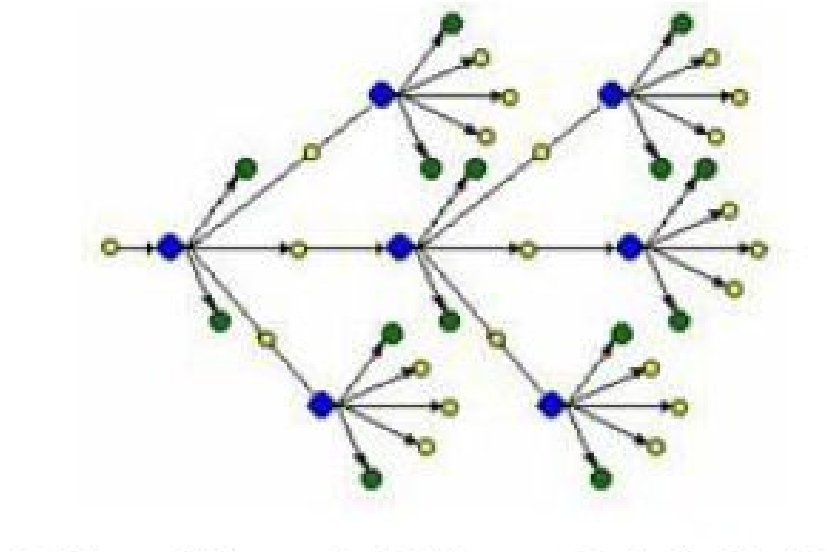
Az atomerőműben úgynevezett **nukleáris reakció** megy végbe, mely konkrétan az urán 235-ös tömegszámú izotópjának két részre hasadása.

Az urán mintegy 30 különféle módon hasadhat, ezek közül egy lehetségest mutat az alábbi ábra (1. ábra).



1. ábra: a maghasadás folyamatának ábrázolása

Mivel egynél több neutron keletkezik (átlagosan 2,3), ezért további hasadások jöhetnek létre, úgynevezett **láncreakció** alakulhat ki (2. ábra).



2. ábra: a láncreakció folyamata

1.3. Főbb reaktortípusok

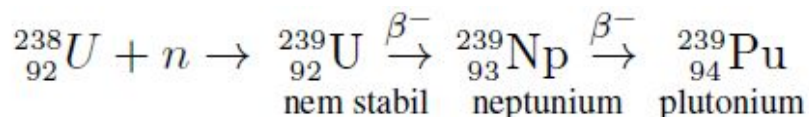
Termikus és gyors reaktorok

A maghasadás során **gyors** neutronok keletkeznek. Amennyiben ezeket a gyors neutronokat lelassítják, azaz akkora energiájuk lesz az úgynevezett moderátoranyaggal történő ütközések során, mint amekkora az adott hőmérsékleten jellemző átlagos mozgási energia, akkor **termikusnak** nevezik. Innen az elnevezés.

A **gyors** neutronok egy részét képes befogni az urán másik izotópja, a 238-as tömegszámú, mely így átalakul szintén jól hasadó plutóniummá.

Ebben az esetben a reaktor működése során keletkezik az újabb hasadóanyag, ezért ezt a típust **tenyésztőreaktornak** is nevezik. Ilyen reaktorokból kevés működik energiatermelési céllal.

Több kísérleti típust fejlesztettek, és fejlesztenek ki napjainkban. A villamos energia előállításában főleg a **termikus reaktorok** vesznek részt, ezért a továbbiakban ezekkel foglalkozunk.



Az energiaellátásban *négy fő típus* vesz részt, melyek a következők:

1. **Könnyűvíz moderátoros**, mely 12-15 MPa nyomáson van, ezért ezt nyomttvizes típusnak is nevezik. Ez a típus adja a működő reaktorok 65%-át, és Pakson is 4 darab ilyen üzemel.
2. **Nehésvíz moderátoros** (típusmegjelölése: **CANDU**). Ez a típus adja a működő reaktorok 5%-át. Ilyenek üzemelnek Kanadában, Indiában és van egy reaktor Romániában.
3. **Forralóvizes típus**, melyek elsősorban Japánban és Németországban üzemeltek, körülbelül 100 darab, mely 22%-ot jelent.
4. **Grafít moderátoros**, vízhűtéses, csatorna típusú reaktor, melyek a volt Szovjetunió utódállamaiban épültek.

Nyomott könnyűvízes típusú atomerőmű

Példaként nézzük végig, milyen energiaátalakulások történnek egy nyomott könnyűvízes típusú **aterőműben!**

Az úgynevezett fűtőanyag ebben az esetben az urán 235-ös izotópja, mely a természetesen uránban csak 0,7%-ban van jelen. De ebben **nem lenne önfenntartó a láncreakció, ezért az uránt ebben az izotópban dúsítják.**

Jelenleg 4,2%-os dúsítást alkalmaznak.

Az **üzemanyag tehát 4,2%-ban dúsított uránoxid**, melyet **kis tablettákban** töltenek be egy hosszú, úgynevezett **üzemanyagpálcába**, mely cirkóniumból készül.

Majd ezeket a pálcákat **kötegekké** rendezik. Ez az úgynevezett **üzemanyagrúd**.

A Paksi Atomerőmű egy reaktorblokkjában 42 tonna urán található.

Az urán 235-ös tömegszámú izotóp elhasad két kisebb rendszámú atommagra, miközben 2-3 neutron szabadul fel.

Egy hasadás során 32 pJ energia szabadul fel, mely **milliószorosa a kémiai reakciók során felszabaduló energiának.**

De mit kell ezen az energia-felszabaduláson érteni? Hogyan jelenik ez meg?

A hasadványok és a neutronok *mozgási energiájaként.*

A fűtőanyag kicsiny üzemanyag tablettákban van jelen, melynek részecskéi ütközni fognak a nagy mozgási energiával rendelkező hasadványokkal és neutronokkal.

Sok-sok ütközés zajlik le, melynek során sok részecske fog gyorsabban mozogni, tehát **növekszik a kapszula hőmérséklete.**

A felmelegedett üzemanyag kazetta vízzel van körülvéve (**primer kör**), melynek **szintén növekszik a hőmérséklete.**

A primer körben a vizet nagyon nagy nyomáson tartják (120-150 bar), emiatt az még a magas üzemi hőmérsékleten (300-330 C) sem forr fel.

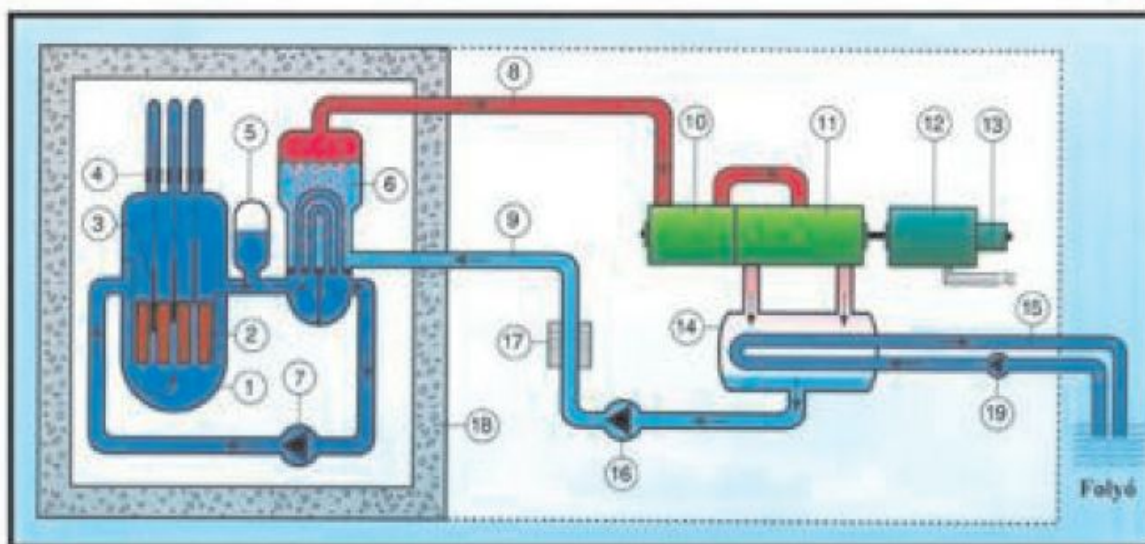
(A magas primer körű nyomásról kapta a típus a nevét.)

A primer körű víz az úgynevezett gőzfejlesztő kis átmérőjű csöveiben átadja hőjét a **szekunder kör** vizének, azaz lehűl, majd **alacsonyabb hőmérsékleten jut vissza a reaktorba.**

A szekunder körben levő **víz nyomása sokkal alacsonyabb** (40-60 bar), mint a primer körben lévőé, emiatt a gőzfejlesztőben a felmelegedett víz felforr. Innen kerül (cseppleválasztás után) a gőz a nagynyomású, majd a kisnyomású turbinára. A turbinából kilépő gőz a kondenzátorban cseppfolyósodik, ahonnan előmelegítés után újra a gőzfejlesztőbe kerül.

A primer és a szekunder kör vize nem keveredik egymással.

A gőzfejlesztőben is csöveken keresztül adódik át a primer oldal hője. Így elérhető, hogy a hűtőközegbe került **radioaktív anyagok a primer körben maradjanak, és ne kerülhessenek a turbinába és a kondenzátorba** (3. ábra).



1. Reaktortartály	8. Frissgőz	14. Kondenzátor
2. Fűtőelemek	9. Tápvíz	15. Hűtővíz
3. Szabályozó rudak	10. Nagynyomású turbina	16. Tápvíz szivattyú
4. Szabályozórúd hajtás	11. Kisnyomású turbina	17. Tápvíz előmelegítő
5. Nyomástartó edény	12. Generátor	18. Betonvédelem
6. Gőzfejlesztő	13. Gerjesztőgép	19. Hűtővíz szivattyú
7. Primer körű keringtető szivattyú		

3. ábra: a Paksi Atomerőmű működésének folyamatábrája /forrás: [5]/

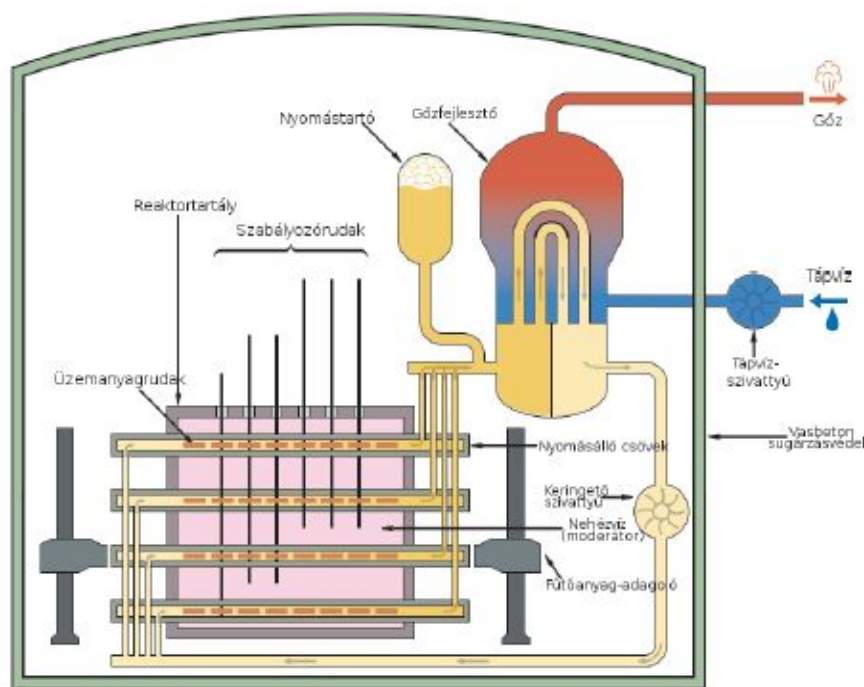
CANDU típusú reaktorok

Az elnevezés a következő szavakból alkotott mozaikszó: Canada, Deutérium, Urán.

Ebben a típusban **nehésvizet alkalmaznak moderátorként**.

A nehésvízben a hidrogén nehéz izotópja, a deutérium található. Ennek atommagjában a proton mellett még egy neutron is van.

Ez *jobb moderátor, mint a könnyűvíz*, mely ugyan kis mértékben, de elnyel neutronokat. E miatt ebbe a típusba **nem kell dúsítani az uránt** (4. ábra).



4. ábra: CANDU típusú reaktor

A CANDU típusnak *több előnye is van a hagyományos könnyűvíz moderátort használó reaktorokkal szemben:*

- A reaktortartály több száz csővel van mintegy keresztüldöfve. Ezekben a csövekben vannak az üzemanyagrudak, amik így külön-külön elérhetők, lehetővé téve az üzem közbeni üzemanyagrud-cserét.
- Az üzemanyagrudakat könnyen át lehet helyezni működés közben – attól függően, hogy mennyi hasadóképes atommag maradt bennük.
- A reaktortartálynak nem kell nyomástűrőnek lennie, mivel a moderátor csak a keresztirányú csövekben van nagy nyomás alatt.

Grafit moderátoros reaktor

A reaktor úgynevezett **aktív zónája** 25 x 25 cm-es grafitömbökből áll, melyek között függőlegesen helyezkednek el a nagy nyomás alatt tartott csövek. Ezek magukba foglalják a **fűtőelemeket**, 190 tonna uránt, és a közöttük áramló **hűtőközeget**.

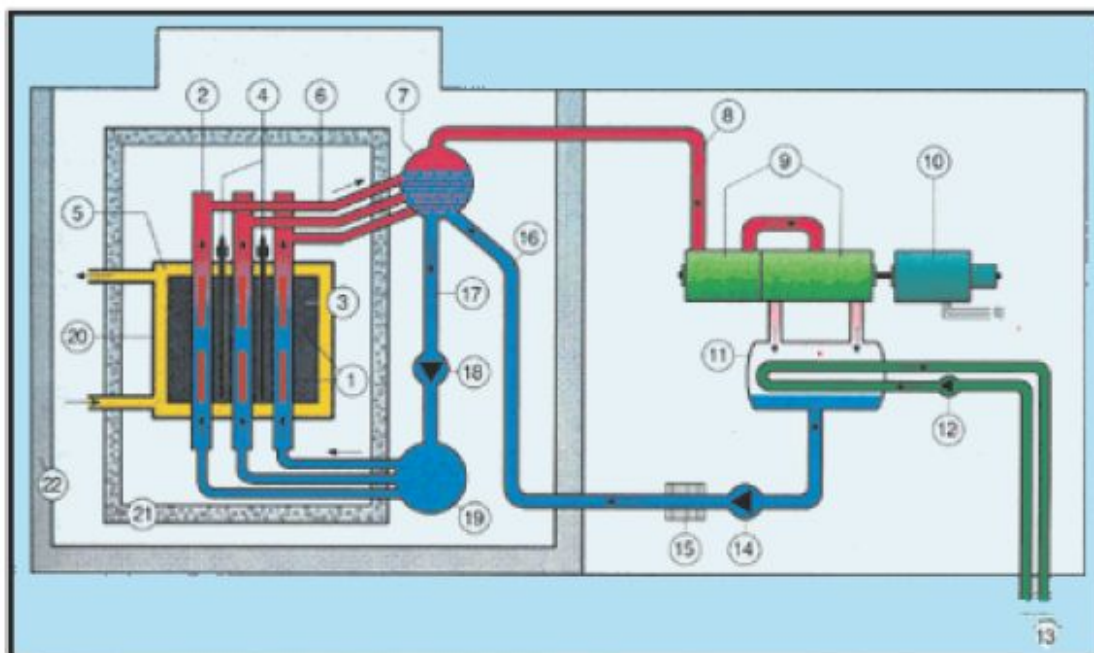
Az aktív zónából víz-gőz keverék lép ki, tehát a reaktor forralóvizes.

Az itt elválasztott gőz kerül a turbinára, majd lecsapatják, és előmelegítés után visszaszivattyúzzák a reaktorba.

Ilyen típusú reaktorok csak a volt Szovjetunió néhány utódállamában működnek.

A típusnak *műszaki és gazdasági szempontból sok előnye, azonban a biztonság szempontjából jelentős hátrányai vannak:*

- A reaktor előnyei közé sorolható az elérhető nagy teljesítmény: mivel nincs szükség reaktortartályra, a csatornákból pedig elvileg akármennyit egymás mellé lehet tenni, így a kivehető teljesítménynek elméletileg nincs felső korlátja.
(A csernobili reaktorok például 1000 MW elektromos teljesítményűek voltak.)
- Másik nagy előnye, hogy szemben a könnyűvízes reaktorokkal (hasonlóan a CANDU típushoz) a kiégett üzemanyag átrakása, és cseréje üzem közben is megoldható (6. ábra).



1 Urán-üzemanyag	9 Gőzturbina	16 Tápvíz
2 Nyomócső	10 Generátor	17 Víz visszafolyás
3 Grafit moderátor	11 Kondenzátor	18 Keringtető szivattyú
4 Szabályzórud	12 Hűtővíz szivattyú	19 Vízelosztó tartály
5 Védőgáz	13 Hőelvezetés	20 Acélköpeny
6 Víz/gőz	14 Tápvízszivattyú	21 Betonárnyékolás
7 Cseppeválasztó	15 Előmelegítő	22 Reaktorépület
8 Gőz a turbinához		

6. ábra: grafit moderátort alkalmazó reaktor folyamatábrája

1.4. Reaktorméreg

Az olyan atommagokat, melyek elnyelik a neutronokat a reaktorban, ezáltal **csökkentve a sokszorozási tényezőt, rontják a láncreakciót**, nevezzük **reaktormérgeknek**.

A legfontosabb ezek közül a **hasadási folyamatban folyamatosan keletkező Xe-135**-ös tömegszámú izotóp.

A *neutronelnyelés oka*: a Xe-135-ös tömegszámú atommagban a neutronok száma 81, ami majdnem mágikus (82).

Az elektronszerkezet leírásakor megismert módon kvantumszámokkal lehet jellemezni az atommagban lévő nukleonokat, protonokat és neutronokat: a **Pauli-elv** felhasználásával a nukleonokat el lehet helyezni a különböző energiaszintekre.

Ez az **atommag héjmodellje**, mert ez a modell határozott indoklást ad arra, hogy az atommagban meghatározott energiával jellemezhető **energiaszintek** vannak, és utal a lezárt és így **különösen stabil magot képező izotópok** létre.

Az ezekhez tartozó nukleonszámokat **mágikus számoknak** is szokás nevezni, amelyek az alábbiak: 2, 8, 20, 50, 82, 126.

A neutronelnyelés során keletkező Xe-136 izotóp atommag gyakorlatilag stabil (a természetes előfordulás 8,9%-a).

A Xe-135 más módon is eltűnik a rendszerből, $T = 9,1$ óra felezési idővel Cs-135-re bomlik.

Az üzemeltetés során szokás **alkalmazni** úgynevezett **kiégő mérget**, melyre a friss üzemanyag **behelyezésekor** a **túl nagy reaktivitás lekötése miatt** van szükség.

Így **hosszabb lehet a kampányidőszak**.

A neutronbefogás után olyan izotóppá alakul, mely már nem fog be neutron. Így eltűnik a rendszerből.

Például ilyen a **gadolínium**.

1.5. Néhány adat a tervezés alatt lévő Paks2 blokkokról

Elsőként a **biztonsági meggondolásokat** emeljük ki.

Az új blokkoknak rendelkezniük kell azokkal az *ügynevezett harmadik generációs erőművekre jellemző biztonsági rendszerekkel, műszaki megoldásokkal*, amelyekkel a **súlyos baleseti események következményei is csak az erőművön belül** jelentkeznek.

A jelenleg Pakson működő *500 MW teljesítmény helyett* a tervezett két új blokk **1200 MW villamos teljesítményű** lesz.

Típusjelzése AES-2006, ahol a 2006-os szám arra az évre utal, amikor az első blokk tervei elkészültek.

Főbb paraméterek:

- A **reaktortartály** *belső átmérője 4,25 m* lesz.
- Az **aktív zónában** *163 kazetta* található, *egy kazetta 533 kg UO₂ üzemanyagot* fog tartalmazni, mely **mindösszesen majdnem 87 tonna uránoxid töltetet** jelent, a jelenlegi 42 tonna helyett.
- A **kazetták:**
 - *Hatszög keresztmetszetűek*, hasonlóan a mostanihoz.
 - Ám *egy kazettában 123 helyett 312 fűtőelemrúd* lesz.
 - A *rudak aktív hossza* jelenlegi 2,5 m helyett *3,7 m* hosszúságú lesz.
 - A kazettát a jelenlegitől eltérően **nem veszi körül zárt kazettafal**.
 - Néhány *külső merevítő elem* gondoskodik arról, hogy a kazetta alakja üzemelés közben ne tudjon megváltozni.
 - A **szabályozó rudak a kazetták belsejében** helyezkednek el.
 - A 18 darab szabályozó rúd egy közös meghajtóval irányított klaszterban mozog a kazettán belüli megvezető csövekben.
 - A kazetták **üzemanyag része az üzemelés során végig a zónában van**.
- A **fűtőelemek burkolata cirkónium ötvözetből** készül.
- **60 éves üzemidővel** számolnak.

Az előbbiekkal szemben a **jelenleg üzemelő VVER-440 reaktorok ettől eltérő megoldással működnek:**

- A szabályozó és biztonságvédelmi kazetták felső részét bóracél elnyelő alkotja.
- Alsó részében pedig a munkakazettákhoz hasonló elrendezésben, UO₂ üzemanyagot tartalmazó rudak vannak.
- Amikor a bóracél szakaszt betolják a zónába, akkor az alatta található, uránt tartalmazó rudak a zóna alá kerülnek.

Az új blokkok további főbb jellemzői:

- Az új blokkokban a **reaktor** és a primerkör a **védőépületen (konténmenten) belül** fog elhelyezkedni.
- Szintén a primerkör a **védőépületen (konténmenten) belül** találhatóak a **vészhűtő rendszerek** is.
- A **kettős falú**, 50 méter átmérőjű épület **megakadályozza radioaktív anyagok kikerülését** a környezetbe és védi a berendezéseket a külső veszélyekkel szemben.
- A *harmadik generációs* reaktorokat úgy tervezik, hogy azokban **megfelelő eszközök** álljanak rendelkezésre a **súlyos balesetek kezelésére**.
- Az AES-2006 tervezői olyan megoldásokat alkalmaznak, hogy **egy súlyos reaktorbalesetnek az erőművön kívül ne legyen hatása a környezetre**.
- A **zónaolvadással járó súlyos balesetek kezelésére több megoldást** is kínálnak.
 - Az AES-2006 erőműben a védőépület felső részében elhelyezett *passzív autokalitikus rekombinátorok* megakadályozzák a robbanásveszélyes állapotok kialakulását.

Indoklás:

A zóna sérülését követően, a cirkónium-vízgőz reakció következtében keletkező hidrogén veszélyeztetheti a védőépület épségét, ahogy azt a fukusimai baleset is mutatta.

- A zónaolvadás továbbfejlődésének megakadályozására a reaktortartály alatt úgynevezett *olvadékcsapdát* alakítottak ki.
- A *kettősfalú konténmentet* úgy tervezték, hogy *el tudja viselni egy nagyméretű utasszállító repülőgép rázuhanását is*.

További információként egy összehasonlító táblázatot közlünk a jelenleg Pakson működő VVER-440-esben és a tervezett AES 2006-os reaktorokban használatos üzemanyag-kazetták jellemzőiről (1. táblázat).

	VVER-440	AES 2006
Kazetta hossza	2600 mm	4033 mm
Aktív hossz	2480 mm	3730 mm
Forma	hatszöges	hatszöges
Rudak száma	126	312
Tabletta	7 mm átmérő, 10 mm magas	7 mm átmérő, 10 mm magas
Kazettafal	van	nincs
Kulcsméret	145 mm	235 mm
He nyomás	6 bar	20 bar
Kazetták száma	349 = 312+37 (szabályzó)	163
Dúsítás (235 izotópban)	4,2 %	4,2 %
Kazetta tömege (UO₂)	121 kg	533 kg
Töltet tömege	42 tonna	87 tonna
Kiegészítő	gadolínium	gadolínium

1. táblázat: a tervezett AES 2006-os reaktorokban használatos üzemanyag-kazetták jellemzői

1.6. Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Radnóti Katalin – Nagy Mária: A nukleáris energiatermelés új lehetőségei
In: A játéktól a kutatásig, Matematikai és természettudományos tanár – diák tehetséggondozó program kiadványa (Szerkesztette: Pálfalvi Józsefné), 77 – 86. oldal
A Nemzeti Tehetség Program NTP-MTI-13-0138 pályázatából készült,
Budapest: Varga Tamás Tanítványainak Emlékalapítványa 2014.
http://www.vtamk.hu/ma_files/konyv-egybe.pdf

- [2] Hózer Zoltán, Pázmándi Tamás (2014): Új blokkok a paksi atomerőműben
Nukleon. VII. évfolyam, 1. szám, 152-es cikk
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_7_1_152_Hozer.pdf

- [3] Keresztúri András és mtrrai (2014): Negyedik generációs reaktorok
Fizikai Szemle. LXIV. Évfolyam, 4. szám
http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1404/Kereszturi_A_PatakiI_TotaA.pdf

- [4] Király Márton (2012): Egy részben elfelejtett technológia nyomában
Nukleon. V. évfolyam, 3. szám, 114-es cikk
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_5_3_114_Kiraly.pdf

- [5] Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. hivatalos honlapja
<http://www.atomeromu.hu/hu/Lapok/default.aspx>

- [6] Wikipédia: CANDU típusú reaktorok
<https://hu.wikipedia.org/wiki/CANDU>

- [7] BME Nukleáris Technikai Intézet: 20 éve történt a Csernobili Atomerőmű balesete
<http://www.reak.bme.hu/csernobil/index.htm?rbmk>

2. TOVÁBBI AJÁNLOTT IRODALOM ÉS ELEKTRONIKUS FORRÁSOK A NUKLEÁRIS ENERGIÁRÓL ÉS AZ ATOMERŐMŰVEKRŐL

- [8] Dr. Radnóti Katalin Az atomenergia elfogadása a tanulóifjúság körében
Fizikai Szemle L. évfolyam 2000/7. szám 251-253. oldal.
(<http://www.fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0007/tart0007.html>)
<http://members.iif.hu/rad8012/atomfizika/TOTO-kiertekeles.doc>
- [9] Dr. Radnóti Katalin (2006): 20 évvel Csernobil után.
A Fizika Tanítása. XIV. évfolyam 2006/5. szám 3-12. oldalak
kapcsolódó link:
A 2006-os Bugát Vetélkedő döntőjén tartott előadás: 20 éve történet Csernobili
baleset ppt
<http://members.iif.hu/rad8012/bugat/csernobil.ppt>
- [10] Radnóti Katalin (2011): 25 évvel Csernobil után.
A Kémia Tanítása. MOZAIK Oktatási Stúdió. Szeged. XIX. Évfolyam 2. szám
16-26. oldalak
kapcsolódó link:
http://members.iif.hu/rad8012/kemia/csernobil25_japan.ppt
- [11] Radnóti Katalin (2011): Mi történhetett a japán atomerőművekben?
A Kémia Tanítása. MOZAIK Oktatási Stúdió. Szeged. XIX. Évfolyam 3. szám
3-11. oldalak
- [12] Király Márton – Radnóti Katalin (2012): Az energiáról és az energiatermelésről I.
rész.
A Fizika Tanítása. MOZAIK Oktatási Stúdió. Szeged. XX. Évfolyam 2. szám 8-18.
oldalak
[http://www.mozaik.info.hu/Homepage/pdf/folyoirat/A_fizika_tanitasa_2012-2.
pdf#page=8](http://www.mozaik.info.hu/Homepage/pdf/folyoirat/A_fizika_tanitasa_2012-2.pdf#page=8)

- [13] Király Márton – Radnóti Katalin (2012): Az energiáról és az energiatermelésről II. rész.
A Fizika Tanítása. MOZAIK Oktatási Stúdió. Szeged. XX. Évfolyam 3. szám 3-12. oldalak
http://www.mozaik.info.hu/Homepage/pdf/folyoirat/A_fizika_tanitasa_2012-3.pdf#page=3
- [14] Király Márton – Radnóti Katalin (2012): Az energiáról és az energiatermelésről III. rész.
A Fizika Tanítása. MOZAIK Oktatási Stúdió. Szeged. XX. Évfolyam 4. szám 3-14. oldalak
http://www.mozaik.info.hu/Homepage/pdf/folyoirat/A_fizika_tanitasa_2012-4.pdf#page=3
- [15] Horváth András – Radnóti Katalin (2012): A Becquerel-sugaraktól a chicago-i reaktorig I. rész
Nukleon. V. évfolyam, 2. szám, 110-es cikk
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_5_2_110_Horvath.pdf
- [16] Horváth András – Radnóti Katalin (2012): A Becquerel-sugaraktól a chicago-i reaktorig II. rész
Nukleon. V. évfolyam, 3. szám, 116-es cikk
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_5_3_116_HorvathA.pdf
- [17] Horváth András – Radnóti Katalin (2012): A Becquerel-sugaraktól a chicago-i reaktorig III. rész
Nukleon. V. évfolyam, 5. szám, 125-es cikk
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_5_5_125_Horvath.pdf
- [18] Radnóti Katalin – Király Márton (2015): Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük.
Nukleon. VIII. évfolyam, 1. szám, 177-es cikk
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/8_1_177_Radnoti_o.pdf

- [19] Dr. Radnóti Katalin: Az tomenergia felhasználása
<http://members.iif.hu/rad8012/fiz-programok/Atomenergia.doc>
- [20] Dr. Radnóti Katalin: Modern fizika Emberközelben c. oktatási CD



http://members.iif.hu/rad8012/index_elemei/Page842.htm

különösen javasoltak ebből az alábbiak:

- [21.1.] 3. Az atombomba
<http://members.iif.hu/rad8012/atomfizikacd/Video/Atomrobb.avi>
- [21.2.] 5. Csernobil a baleset után
<http://members.iif.hu/rad8012/atomfizikacd/Video/cserno.avi>
- [21.3.] 10. Az első nukleáris reaktor
<http://members.iif.hu/rad8012/atomfizikacd/Video/elso.avi>
- [21.4.] 12. Az atombomba ledobása után
<http://members.iif.hu/rad8012/atomfizikacd/Video/Hirosima.avi>
- [21.5.] 17. A Paksi Atomerőmű
<http://members.iif.hu/rad8012/atomfizikacd/Video/paks.avi>

- [21.6.] 20. BME Tanreaktor
<http://members.iif.hu/rad8012/atomfizikacd/Video/Tanreak.avi>
- [21.7.] 21. Nukleáris hulladékot szállító vonat ütköztetése kísérletképp
<http://members.iif.hu/rad8012/atomfizikacd/Video/Vonat.avi>
- [21] Király Márton: Atomtörténet 1945-55 I. rész
Nukleon. VI. évfolyam, 4. szám, 148-as cikk
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/6_4_148_Kiraly.pdf
- [22] Király Márton: Atomtörténet 1945-55 II. rész, A szovjet atombombához vezető út
Nukleon. VII. évfolyam, 1. szám, 156-os cikk
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_7_1_156_Kiraly.pdf
- [23] Puskás-Farkas Boglárka: Az atomenergia megítélése az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának hallgatói körében
Nukleon. VI. évfolyam, 4. szám, 149-es cikk
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/6_4_149_Puskas.pdf
- [24] Cserhádi András: Kisebb atomerőművekről
Nukleon. VI. évfolyam, 3. szám, 143-as cikk
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_6_3_143_Cserhati.pdf
- [25] További nukleáris témához kapcsolódó írások:
A **Nukleon** c. folyóirat egyéb cikkei
<http://nuklearis.hu/nukleon/cikkek>