

# JEGYZŐKÖNYV KORSZERŰ VIZSGÁLATI MÓDSZEREK LABORATÓRIUM

---

REAKTOR-ÜZEMELTETÉSI GYAKORLAT

---



**ELTE**  
EÖTVÖS LORÁND  
TUDOMÁNYEGYETEM

- Mérést végezte : Brindza Mátyás
- Mérőtársak : Kovács Benjamin, Németh Olivér
- Mérés időpontja : 2023.03.31.

# Tartalomjegyzék

1. A mérés célja	3
2. A reaktorok stabilitása	3
3. A tanreaktor mérőláncai	4
4. A mérés menete	5

# 1. A mérés célja

A mérés célja a BME Nukleáris Technikai Intézetének Tanreaktorával való megismerkedés. A reaktor üzemeltetői imsertették a reaktor felépítését, működését és működtetését.

## 2. A reaktorok stabilitása

A maghasadáskor keletkező neutronok gyors neutronok, melyek kicsi eséllyel tudnak további hasadásokat előidézni. Ezek egy neutronciklus alatt bekövetkező számbeli sokszorozódását írja le a sokszorozási tényező ( $k_\infty$ ), melyet a négyfaktor formulával (1) adunk meg. A  $\infty$  index a reaktor méretére utal, ugyanis a neutronok kiléphetnek a reaktorból. Ezt a korrekciót az effektív sokszorozási tényező ( $k_{\text{eff}}$ ) veszi figyelembe (2).

$$k_{\text{eff}} = k_\infty \cdot P \quad (1)$$

$$k_\infty = \epsilon \cdot p \cdot f \cdot \eta \quad (2)$$

- $\epsilon$  a gyorshasítási tényező : a gyors neutronok ( $\approx 2\text{MeV}$ ) által okozott  $^{238}\text{U}$ -hasadások járuléka, értéke kicsit nagyobb, mint 1
- $p$  a rezonancia tényező : annak a valószínűsége, hogy egy gyors neutron nem szenved el hasadás nélküli rezonanciabefogást egy  $^{238}\text{U}$  magban, értéke kisebb, mint 1
- $f$  a termikus hasznosítási tényező : a lelassult, termalizálódott neutronok ( $\approx 0.025\text{eV}$ ) mekkora hányada lép reakcióba a hasadó anyag atommagjaival (ahelyett, hogy a szerkezeti anyagban vagy a moderátorban befogódna), értéke kisebb, mint 1
- $\mu$  a termikus neutronhozam : egy termalizálódott, és egy hasadó magban befogódott neutron által kiváltott magreakcióban hány új neutron keletkezik, értéke nagyobb, mint 1
- $P$  a kilépési tényező : annak a valószínűsége, hogy egy neutron nem lép ki a reaktorból, értéke kisebb, mint 1

A  $k_\infty$  és a  $k_{\text{eff}}$  tényezők mellett további fontos jellemzők a reaktivitás ( $\rho$ ) és a késő neutronok részaránya ( $\beta_{\text{eff}}$ ), hiszen ezek a reaktor stabilitásáról árulkodnak. A reaktivitás az effektív sokszorozási tényező 1-től való relatív eltérése.

$$\rho = \frac{k_{\text{eff}} - 1}{k_{\text{eff}}} \quad (3)$$

A reaktor kiritikus, ha  $k_{\text{eff}} = 1$ , azaz  $\rho = 0$ . A reaktorok akkor működnek jól, hogy időben  $\rho = 0$  körül ingadozik a reaktivitás, ugyanis ekkor a neutronfluxus időben állandó. Szubkritikus a reaktor  $\rho < 0$  esetén, ekkor időben lecsengő a neutronfluxus. Szuperkritikus reaktorról beszélünk, ha  $\rho > 0$ , ekkor a neutronfluxus nő az idő függvényében.

Késő neutronoknak nevezzük a hasadványok  $\beta^-$ -bomlása után keletkező magból kilépő neutronokat. Ezek kisebb energiájúak, ezért reaktívabbak is. A reaktorteljesítmény ug-rásszerűen megnő  $\rho = \beta_{\text{eff}}$  környékén,  $\rho > \beta_{\text{eff}}$  esetén pedig promptkritikussá válik. Ezért a jelen lévő  $\beta^-$  bomló izotópok mennyisége és felezési ideje igen fontos tényező a reaktor akkor biztonságos működtetésében. A reaktor teljesítménye arányos a neutronfluxussal. A teljesítményváltozás  $0 < \rho < \beta_{\text{eff}}$  esetén lassú, de pozitív, mivel a prompt neutronok

önmagukban nem teszik kritikussá a reaktort. Amennyiben  $\rho > \beta_{\text{eff}}$ , a reaktort pusztán a prompt neutronok is szuperkritikussá teszik. A  $\rho/\beta_{\text{eff}}$  mennyiséget centtel, illetve \$-ral is szokás kifejezni. Egy cent felel meg  $\rho/\beta_{\text{eff}} = 1/100$ -nak. A tanreaktor esetén ez névleg 80cent körül van.

Ezeket a folyamatokat ún. moderátorokkal<sup>1</sup> lehet kontrollálni, melyek lelassítják a gyors neutronokat, ezzel megnövelve a maghasadások gyakoriságát. Azonban a neutronok el is nyelődhetnek a moderátorban. Túl kevés moderátor esetén a moderátor telítődik, lassul le elég neutron további maghasadások fenntartásához. Túl sok moderátor esetén túl sok neutron nyelődik el, így csökkentve a neutronfluxust. Az alul- és felülmoderált állapotok között van egy globális maximum. Ennél a  $V_{\text{moderátor}}/V_{\text{üzemanyag}}$  aránynál lesz a legnagyobb  $k_{\text{eff}}$ .

A reaktivitás pozitívvá válása teljesítménynövekedéshez vezet, mely hőmérsékletnövekedéshez is. Víz-moderátoros reaktorokban ez a  $V_{\text{moderátor}}/V_{\text{üzemanyag}}$  csökkenésével jár. A felülmoderált reaktorok teljesítménye ilyenkor megnő, ugyanis közelebb viszi a reaktort a  $k_{\text{max}}$  állapothoz - öngerjesztő folyamat. Alulmoderált reaktorok esetén a  $V_{\text{moderátor}}/V_{\text{üzemanyag}}$  arány a teljesítmény csökkenésével jár, ezért ezek önszabályozó, ún. belső biztonságú reaktorok - ilyen a BME tanreaktora is.

Az üzemanyag hőmérsékletének növekedésével növekszik a rezonanciabefogás valószínűsége, mivel kiszélesednek az  $^{238}\text{U}$  rezonanciacsúcsai. Ezt nevezzük Doppler-visszacsatolásnak, mely stabilizáló hatással van a reaktorra.

### 3. A tanreaktor mérőláncai

Reaktorok a teljesítmény arányos a az aktív zóna átlagos neutronfluxusával, így az állandó teljesítményre való szabályozással is fenn tudjuk tartani a reaktor stabilitását. Alacsony teljesítményen hasadási kamrákkal mérhető a neutronok időegységenkénti beütésszáma, míg magasabb teljesítményen  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^2\text{Li}$  reakción alapuló, gamma kompenzált egyenármű ionizációs kamrák használatosak. A gamma kompenzált detektorokban két azonos geometriájú gáztér van, melyek egyike a gamma-beütéseket méri, míg a másik a gamma és a neutron beütések összegét - pontosabban az ezek által keltett egyenáramot. Ezzel egyéltelműen meghatározható a neutronfluxus. A BME tanreaktorában található mérőláncok is e két elv alapján működnek

- Impulzus üzemi detektorok : I1 és I2, hasadási kamrák
- Egyenáramú mérőláncok :
  - E3 : periódusidő mérésére
  - E4 és E5 : teljesítmény korlátozására
  - E6 : teljesítmény mérésére ( + a többi lánc kalibrációjára) és (automatikus) szabályozására

A reaktorba épített redundáns elektronika gondoskodik arról, hogy a periódus határérték túllépésekor automatikusan leálljon a reaktor. A moderátorokat tartó elektromágnesek elengednek, így szubkritikussá téve a reaktort. Ez egy igen jó megoldás, mivel esetleges áramszünet esetén is automatikusan leáll a reaktor.

<sup>1</sup>Alacsony atomszámú anyagok, mely sok energiát vesznek át a neutronoktól rugalmas ütközéskor.

## 4. A mérés menete

Az irányítópultot bekapcsolás után alaphelyzetbe állítjuk, majd beállítjuk és ellenőrizzük a műszereket. A reaktorban található üzemanyag önmagában nem tud láncreakciót fenntartani, ezért az indító neutronforrást be kell vinni a zónába. A reaktorban négy moderátor célt ellátó rúd található, egy-egy kézi illetve automatikus vezérlésű, illetve két biztonsági rúd. A biztonságvédelmi rudak kihúzása után a szabályozórudak beállításai alapján következtetünk a reaktor energetikai állapotaira, illetve a rudak értékességére, és ezek rúd-pozíció függésére. Teljesítmény növelésekor ügyelni kell a műszerek mérés-határainak beállítására, ugyanis amint kilép a mért érték a méréshatár tartományából, automatikusan leáll a reaktor<sup>2</sup>. A teljesítményt fokozatosan növeljük, az indító neutronforrás 1 W teljesítményen eltávolítható. Amikor a teljesítmény 10 kW körül jár, már szemmel látható a Cherenkov-sugárzás, és még biztonságos a reaktor tetején tartózkodni (ld. 1. ábra).



1. ábra. A reaktor tetejéről megfigyelhető Cherenkov-sugárzás

Automata üzemmódban megfigyelhető az automata szabályzó rendszer működése is. Mérés végeztével visszaengedjük a rudakat a zónába, és kikapcsoljuk a berendezéseket.

---

<sup>2</sup>Ez a reaktorba integrált biztonsági eljárás gondoskodik arról, hogy a reaktor ne üzemeljen emberi felügyelet nélkül.