

## Országos Szilárd Leó fizikaverseny

### Döntő, 2015. április 18.

### Szimulációs feladat

A szimulációs feladat a BME Oktatóreaktor egy egyszerűsített modelljének vizsgálata, és a szimuláció segítségével az üzemanyag hőmérséklet reaktivitástényezőjének meghatározása.

#### A program leírása:

A programot az Asztalon lévő „Oktatóreaktor” ikonra kattintva lehet elindítani. Az indítás után meg kell adni az azonosító kódot. A program kezelőfelület 4 fő részből áll:

1. A bal szélső panel mutatja a biztonságvédelmi (BV) rudak pozícióját (a „0” jelenti, hogy a rúd teljes terjedelmével a zónában van, a „600”, hogy teljesen kint van). Ez alatt található a külső neutronforrást kezelő felület. Ezeknek a kezelőszerveknek csak „ki” és „be” állása van.
2. A középső két mutató közül a bal az aktuális teljesítménykétszerezési időt jelzi, míg a jobb a pillanatnyi teljesítményt. Figyeljünk arra, hogy a kétszerezési idő műszerének skálázása „fordított”! A teljesítménymérő skáláját lehet automata és kézi üzemmódban is használni. A való élettől eltérően, a szimuláció során SCRAM (vészhelyzeti leállítás) elkerülése érdekében érdemes az automata üzemmódot választani és csak a kívánt teljesítmény elérésekor kézi üzemmódra átállni.
3. A mutatók alatti panel naplózza az operátor tevékenységét (időrendben), ill. mellette a pillanatnyi hőmérsékletértékek olvashatók le. Ezen a panelen lehet a külső vízpumpát ki/be kapcsolni, így az operátor által megadott hőmérsékletű hűtővíz juttatható az aktív zónába. Kikapcsolt állapotban a természetes cirkuláció hűti a zónát.
4. A jobb szélső panel a két szabályzórud helyzetet mutatja (kézi és a kézi/automata rudak). A „MAN” gombra kattintva lehet az automata rudat teljesítménytartásra állítani. Ekkor pillanatnyi teljesítmény, mint „Előírt teljesítmény” rögzül, melyet az operátor kis mértékben módosíthat a jobb oldali nyilak segítségével.

Az operátor az üzemelés során a szabályzó rudak pozícióját (0-600), a belépő víz hőmérsékletét (20-60 °C), a vízpumpát és a külső forrás helyzetét változtathatja. Minden tevékenység naplózásra kerül, a szimuláció végeztével (a program bezáráskor) a program automatikusan egy txt fájlba kiírja az összes üzemi adatot és a naplózott tevékenységet. A naplófájl szerepe a zsűri dolgának. Kérjük a naplófájl a mérés végeztével ne módosítsák és ne töröljék le!

#### A reaktor indítása, a kritikus állapot beállítása

1. A reaktor csak akkor indítható el, ha a neutronforrás a zónában van! Ehhez a neutronforrás alatti „Be” gombra kell kattintani. A vízpumpa legyen kikapcsolva. A teljesítmény méréshatár mutatója legyen automata.
2. A Biztonságvédelmi rudakat egyenként ki kell húzni a zónából. (Ezek a rudak csak a kétféle végállásban lehetnek – kihúzásához a BV rudaknál elég egyszer kattintani a fel nyílra.)
3. A szabályzó rudak közül a jobb oldali az automata rúd, amit a „MAN” üzemmód esetében kézzel lehet irányítani. A bal oldali kézi rudat állítsuk nagyjából a zóna kétharmadára (~400-as pozíció), ekkor a reaktor még subkritikus. Majd az automata rudat kezdjük el óvatosan kihúzni a zónából, miközben figyeljük a kétszerezési idő értékét! Ha a pillanatnyi kétszerezési idő mutatója átlépi a 10 s értéket vészleállítás következik be (SCRAM). Ha csökken a kétszerezési idő, akkor a rudat állítsuk meg, majd az kétszerezési idő növekedése után folytassuk a rúd húzását.
4. A reaktor állapotáról úgy győződhetünk meg, ha adott rúdpozíció mellett kivesszük a forrást a zónából. Ha ezután nő a kétszerezési idő, akkor a rendszer subkritikus állapotban van. Ebben az esetben helyezzük vissza a forrást és folytassuk a rúd húzását.
5. Ha a forrás kivétele után a kétszerezési idő nem nő, akkor a rendszer superkritikus állapotban van. Ekkor állítsunk be egy megfelelő kétszerezési időt (15-12 s) és növeljük a teljesítményt a kívánt értékre. Amennyiben ezt elértük, a „MAN” gombra klikkelve automatára („AUTO”) állítsuk a szabályzó rudat, ekkor az automatika úgy változtatja a rúd helyzetét, hogy a teljesítmény állandó maradjon. Ekkor a rendszer kritikus.

## SCRAM (Vészleállítás)

Bizonyos események hatására a rendszer az összes szabályozó rudat a zónába ejti, így a reaktor szubkritikus állapotba kerül és leáll a láncreakció. Ez az alábbi események hatására következik be:

- ha a teljesítmény mutatója átlépi a 11-es értéket (ezért érdemes a való élettől eltérően a méréshatár váltását automatára állítani);
- ha a kétszerezési idő 10 s alá csökken.

SCRAM esetén a szimuláció leáll, ekkor törölni kell a hibajelzést és a reaktort ekkor lehet újraindítani. Figyelem! A reaktor újraindítása időigényes, ezért törekedjünk a vészleállítás elkerülésére!

## Állandósult állapot

A kritikus reaktor csak a teljesítmény (láncreakció) szempontjából időben állandó, sok esetben a felszabaduló energia miatt előálló hőmérsékletváltozások még nem érik el az egyensúlyi állapotot. Állandósult állapotnak azt a reaktorállapotot nevezzük, amelyben a teljesítmény mellett a különböző hőmérsékletértékek is állandónak tekinthetők.

## A reaktivitástényezők

A moderátor ( $\Delta T_m$ ) és az üzemanyag ( $\Delta T_u$ ) hőmérsékletének megváltozása hatással van a reaktor reaktivására ( $\Delta \rho$ ), ez az alábbi képlettel írható le:  $\Delta \rho = \alpha_D \Delta T_u + \alpha_m \Delta T_m$ , ahol  $\alpha_D$  a Doppler-együttható,  $\alpha_m$  a moderátor hőfoktényező. A reaktor méretei és áramlástanai paraméterei miatt az üzemanyag és moderátor hőmérsékletének megváltozása egymással erősen csatolt ( $D T_m \propto D T_u$ ), ezért nincs lehetőség mindkét együttható egymástól független meghatározására. A szimulációban használt konfigurációban  $|a_m| < |a_D|$ . Amennyiben a reaktor állapotát a mérés során úgy változtatjuk hogy  $|D T_m| < |D T_u|$ , úgy  $|a_m D T_m| \ll |a_D D T_u|$ , ezáltal jó közelítéssel  $D r \approx a_D D T_u$ , és ilyen módon a Doppler-együttható meghatározható.

## Feladatok:

1. Indítsuk el a reaktort, majd állítsunk be  $\sim 10$  kW állandósult állapotot a vízpumpa bekapcsolása nélkül. Ha a reaktor kezdeti teljesítménye  $\sim 1 \mu\text{W}$  és a legkisebb lehetséges kétszerezési idő 10 s, akkor legalább hány percig tart elérni a 10 kW teljesítményt?
2. A kritikus állapot elérése után,  $20^\circ\text{C}$ -os bemenő hűtővíz mellett kapcsoljuk be a vízpumpát. Mit tapasztalunk?
3. Mit gondolunk, a Doppler együttható értéke pozitív-e vagy negatív, és miért? Mi lehet a helyzet a moderátor együtthatóval?
4. Mérjük meg a Doppler-együttható értékét! Tekintsük a  $20^\circ\text{C}$ -os keringetett hűtővíz mellett 10 kW-on kritikus reaktort kiindulási állapotnak.
5. Készítsünk jegyzőkönyvet a fenti kérdésekre adott válaszokból, az elvégzett feladatokról, a tapasztalatokról és a következtetésekről!
6. **Bónusz** feladatként készíthetünk mérést olyan módszerrel is ahol  $D T_m \approx D T_u$ . Becsüljük meg így is a Doppler-együttható értékét. Mit gondolunk, nagyjából hogyan arányul egymáshoz  $a_m / a_D$ ?

### Információk, javaslatok a feladatokhoz

- A reaktor maximális teljesítménye 100 kW.
- A reaktivitás mértékegysége \$, aminek váltó mértékegysége a cent, ahol 1\$ = 100 cent.
- Emlékeztető: kritikus reaktorban a reaktivitás nulla.
- Az automata rúd okozta reaktivitás-változás a 100-500 pozíciók között lineáris, egységnyi elmozdulás 0,2 cent reaktivitás-változást okoz. ( $\Delta\rho = (poz1 - poz2) \cdot 0,2 \text{ cent}$ ). A 100-500 intervallumon kívüli pozíciókban egyik rúd sem változtatja a reaktivitást.
- Kritikus reaktorban automa teljesítmény tartás mellett, ha valami miatt megváltozik a reaktivitás, akkor azt a rendszer az automata rúd elmozdításával kompenzálja.
- A feladatoknál mindig várjuk meg, amíg egy állapot állandósul (kivéve persze azt, amikor a reaktor szuperkritikus), és csak az után írjuk fel az adatokat!
- Tizedesjegyeket a mérés és számítás során csak a becsült mérési bizonytalanság keretein belül szükséges felírni.

### Javaslatok a jegyzőkönyvhöz

Az elfogadható jegyzőkönyv olyan, ami alapján a mérés megismételhető, tehát minden lényeges információ, paraméter és adat megtalálható benne. A beadott jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell:

- A versenyző kódszámát
- A mérés körülményeit, a mérés menetét
- A méréshez használt módszert, annak indoklását
- A mért adatokat
- A mért adatokból számított / kikövetkeztetett adatokat és a számítás menetét
- Ha szükséges, ábrá(ka)t
- A mért eredmények szöveges értékelését, a levont konklúziókat
- A mérési bizonytalanság és szisztematikus hiba becslését

A jegyzőkönyv beadható papíron és elektronikus formátumban is a versenyző preferenciájától függően (egyik sem jelent pontbeli megkülönböztetést). Amennyiben a jegyzőkönyv egyébként rendezett és értelmezhető, úgy a külalak és extra formázás szintén nem jelent pontbeli előnyt.

Mellékelhetők elektronikus fájlok (pl. word dokumentum, a versenyző által írt program, excel táblázat, képernyőkép stb.), de csak ha a fájlnev egyértelműen tartalmazza a versenyző kódját. A fájlok olvashatóságáért és megnyithatóságáért a versenyző felel. Ha egynél több elektronikus fájlt adunk be azokat helyezzük egy mappába a munkaasztalon, ahol a mappa neve a kódunk. Amennyiben csak elektronikus fájlokat adunk be, papír jegyzőkönyvet akkor is **KÖTELEZŐ** beadni, ez esetben írjuk rá hogy „A jegyzőkönyvet lásd: <fájlnev>”.

Az elmúlt évek tapasztalata alapján egy maximális pontot érő tömör, ugyanakkor minden lényeges információt tartalmazó jegyzőkönyv nem kell feltétlenül hosszabb legyen 1.5-2 oldalnál (adatokkal, ábrákkal stb. együtt).