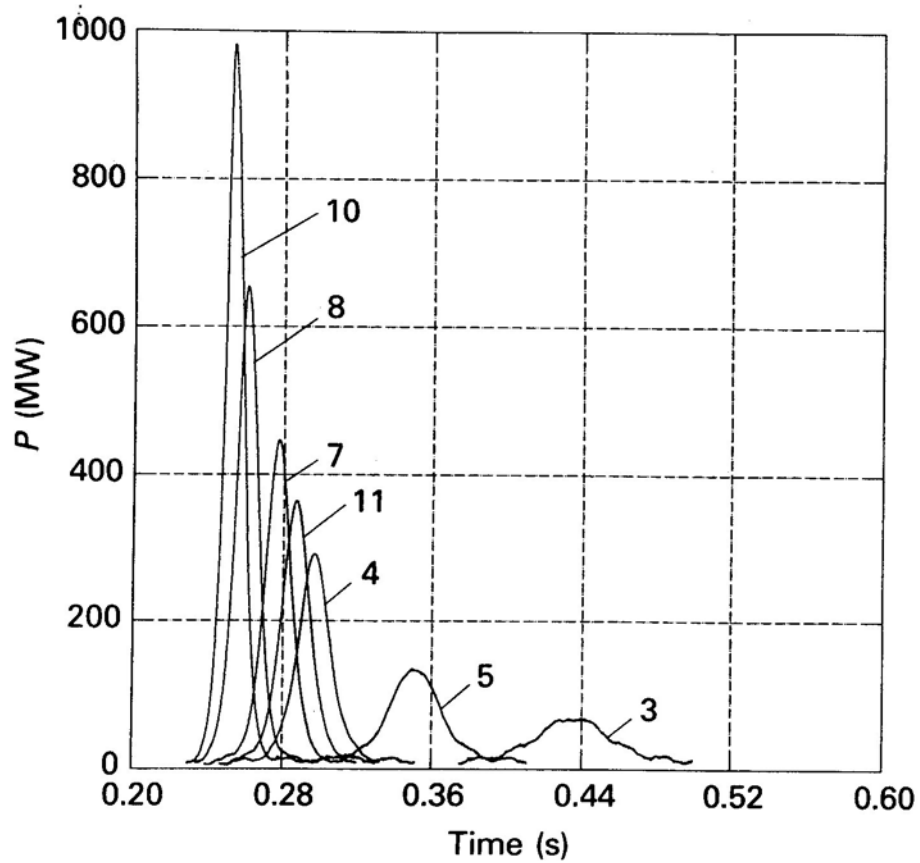

Luka Snoj
Andrej Trkov

PULZNI EKSPERIMENT



Ljubljana, december 2012

revizija 0

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za matematiko in fiziko
Jedrska tehnika
Tehnika jedrskega reaktorja

Prejšnje izdaje:

1. izdaja 1986, avtor: Matjaž Ravnik

Revizija: 0

2. izdaja, december 2012

Avtorji: *Luka Snoj, Andrej Trkov*

Shranjeno v datoteki: *08_pulzni_eksperiment.doc*,
zadnjič shranjen *30.11.2012 13:31:00*

Tiskano: *30.11.2012 13:31:00*

KAZALO

1	KRATEK OPIS IN NAMEN VAJE	4
2	FIZIKALNI OPIS	4
3	IZVEDBA VAJE	6
3.1	SPLOŠNI NAPOTKI.....	6
3.2	OPREMA PRI VAJI.....	6
3.3	NAPOTKI	6
4	POROČILO O VAJI.....	7
5	LITERATURA	7

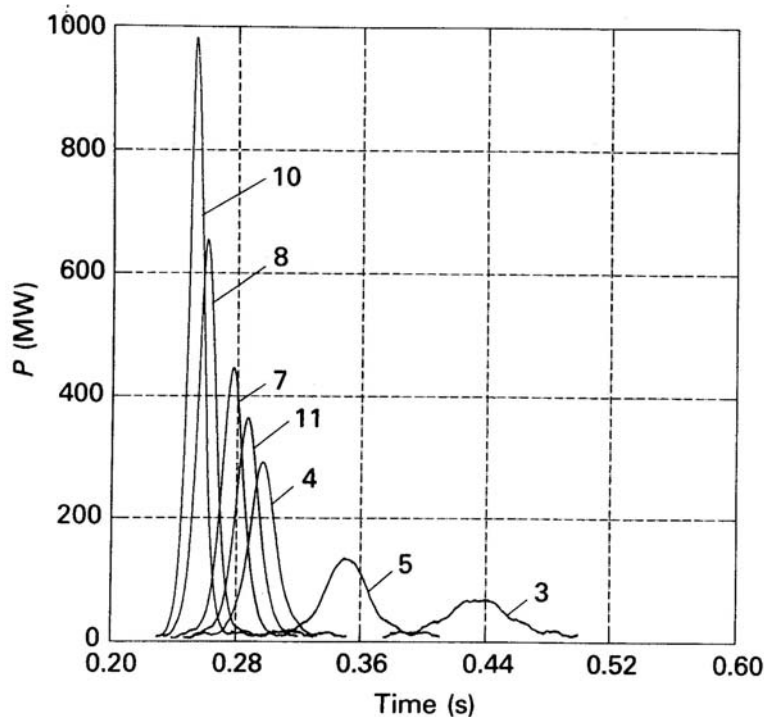
1 KRATEK OPIS IN NAMEN VAJE

Namen vaje je eksperimentalna preveritev fizikalnega modela, s katerim lahko opišemo parametre reaktorja (maksimalna moč, sproščena energija) pri pulziranju.

2 FIZIKALNI OPIS

Pulzni eksperiment se izvaja na reaktorju TRIGA. Podroben fizikalni opis reaktorja in pulziranja je podan na spletni strani http://www.rcp.ijs.si/ric/pulse_operation-s.html. V nadaljevanju je podan kratek povzetek.

Reaktor TRIGA je zgrajen tako, da lahko zelo hitro izvlečemo (pnevmatsko izstrelimo) eno od kontrolnih palic, ki jo imenujemo pulzna ali tranzientna palica. Reaktor postane v kratkem času močno nadkritičen in moč začne eksponencialno naraščati s časovno konstanto nekaj ms. Moč naraste za nekaj dekad. Skupaj z močjo pa začne naraščati tudi temperatura, ki povzroči povečanje absorpcije nevtronov predvsem zaradi Dopplerjevega efekta. Ko se temperatura dovolj poveča, se verižna reakcija upočasni ali prekine in moč se zmanjša na začetni nivo. Tako dobimo kratek a visok pulz moči. Posnetki časovnega poteka moči med pulzom so prikazani na Sliki 1 v prilogi za več pulzov, ki se med seboj razlikujejo po vstavljeni reaktivnosti.



Slika 1: Izmerjena moč v odvisnosti od časa za pulze z različnimi vstavljenimi reaktivnostmi.

Celotna sproščena energija v pulzu je relativno majhna (tipično 10 MWs) in ne povzroči poškodb reaktorja. Sproščena energija in višina pulza sta odvisni od tega, kolikšna je reaktivnost reaktorja po izstrelitvi pulzne palice. Reaktivnost lahko spreminjamo tako, da pulzno palico ne izstrelimo do konca iz sredice, ampak samo do določenega položaja. Namen vaje je preveriti zvezo med pulzno reaktivnostjo in osnovnimi parametri pulza, ki nam jo podaja teoretični model.

Časovni potek pulza lahko izračunamo s pomočjo enačbe točkovne kinetike, če zanemarimo prispevek zakasnelih nevtronov in če upoštevamo, da se med pulzom reaktivnost zmanjšuje sorazmerno s sproščeno energijo. Obe predpostavki sta fizikalno upravičeni: prva zato, ker je pulz kratek v primerjavi s časom, ko se sprostijo zakasneli nevtroni (10 μ s) in druga zato, ker je pulz tako kratek, da v tem času ne pride do znatnega prenosa toplote iz goriva in se torej vsa sproščena energija v resnici porabi za gretje goriva. Zaradi tega tak približek imenujemo tudi adiabatni, celotni teoretični model pa ima ime Fuchs-Hansenov. Izpeljava je podana v dodatku, za razumevanje in izvedbo vaje pa povzemimo samo nekatere pomembne rezultate:

- višina pulza je sorazmerna kvadratu "promptne reaktivnosti" ρ'
- sproščena energija je linerno odvisna od ρ'
- širina pulza je obratno sorazmerna ρ'
- časovna konstanta pri eksponentnem naraščanju moči (imenujemo jo tudi 'perioda'), je sorazmerna ρ'

Promptna reaktivnost ρ' je po definiciji (glej prilogo) enaka dejanski vstavljeni reaktivnosti, zmanjšani za β ,

$$\rho' \equiv \rho - \beta \quad (1.1)$$

kjer je β efektivni delež zakasnelih nevtronov, ki znaša za reaktor TRIGA $\beta = 0.007$. V enotah β reaktivnost običajno tudi merimo. Kot oznaka za to enoto se je zakoreninil dolarski znak, torej $1 \beta \equiv 1 \$ = 0.007$, da bo zmeda večja pa se uporablja še 'enota' pcm $\equiv 10^{-5}$, torej $1 \beta \equiv 1 \$ \equiv 700 \text{ pcm} \equiv 0.007$. Pri vajah bomo izvajali pulze s promptno reaktivnostjo ρ' med 0 in ρ' . Celotna reaktivnostna vrednost pulzne palice je približno 3β , kar pomeni, da bomo pri največjih pulzih pulzno palico skoraj v celoti izstrelili iz reaktorja.

Reaktivnost ρ je količina, ki meri odstopanje reaktorja od kritičnosti in jo izrazimo s pomnoževalnim faktorjem reaktorja k kot

$$\rho \equiv \frac{k - 1}{k} \quad (1.2)$$

pomnoževalni faktor k pa je definiran kot

$$k \equiv \frac{\text{število nevtronov } j\text{-te generacije}}{\text{število nevtronov } (j-1) \text{ generacije}} = \frac{\text{število cepitev}}{\text{število absorpcij} + \text{pobeg}} \quad (1.3)$$

Če bomo izvedli pulz s promptno reaktivnostjo 1β , bo torej imel reaktor po izstrelitvi pulzne palice pomnoževalni faktor $k \approx 1.014$. Po definiciji pomnoževalnega faktorja to pomeni, da bo vsaka generacija nevtronov za faktor 1.014 številčnejša od prejšnje. Ker je življenjski čas ene generacije približno 10 μ s, število nevtronov in s tem število cepitev in sproščena moč hitro, eksponentialno naraščajo.

S pomočjo zgornjih relacij, ki jih formalno podajajo enačbe 9.82-9.89 v prilogi (Bell-Glastone), lahko določimo nekatere fizikalne lastnosti reaktorja. Iz zveze za totalno energijo lahko določimo efektivni temperaturni koeficient reaktivnosti γ (9.89), iz enačbe za širino

pulza na polovični višini (izpelji!) ali s pomočjo enačbe 9.88 za višino pulza pa še življenjski čas promptnih nevtronov Λ .

3 IZVEDBA VAJE

3.1 Splošni napotki

Reaktor naj bo hladen in nezastrupljen, da ne moti meritev počasi spreminjajoča se negativna reaktivnost zaradi cepitvenega produkta ^{135}Xe . Z reaktorjem upravlja operater. Navodila operaterju daje vodja vaj oziroma demonstrator. Za vstop v halo reaktorja in na ploščad je potrebno dobiti dovoljenje operaterja.

Vse meritve si najprej zapiši in šele nato opravi preračune. Zraven meritev piši tudi komentarje, kaj si spremenil, kaj si izmeril in podobno.

3.2 Oprema pri vaji

- Reaktor TRIGA z vsemi sistemi, strukturami in komponentami
- procesni računalnik

3.3 Napotki

Izvedli bomo več pulzov z različno reaktivnostjo. Pri vsakem pulzu zabeleži:

- položaj pulzne palice pred izstrelitvijo in po njej
- položaj vseh ostalih palic
- moč reaktorja pred pulzom (biti mora zanemarljiva, 1-100W)
- temperaturo goriva pred pulzom
- temperaturo hladilne vode v reaktorju pred pulzom in po njem
- sproščeno energijo v pulzu (odčituj z NVT kanala)
- maksimalno moč v pulzu (odčituj z NV kanala)
- maksimalno temperaturo goriva po pulzu (odčitavaj z rekorderja)

Vsi instrumenti, s katerih odčitavaš, so na komandnem pultu reaktorja. Promptno reaktivnost določi iz položaja pulzne palice po izstrelitvi s pomočjo umeritvene krivulje za to palico, ki podaja zvezo med (negativno) reaktivnostjo palice in njenim položajem.

Časovni potek pulzov bomo v digitalizirani obliki posneli na procesni računalnik. Podatke bomo obdelali po končanem eksperimentu in bodo na voljo pri vodji vaje ali v komandni sobi. Ker so bolj natančni kot odčitki z merilnih instrumentov, jih uporabi za obdelavo rezultatov.

4 POROČILO O VAJI

1. Nariši naslednje diagrame:
 - a. sproščena energija v pulzu v odvisnosti od promptne reaktivnosti,
 - b. maksimalna moč v odvisnosti od promptne reaktivnosti
 - c. maksimalna temperatura goriva po pulzu v odvisnosti od promptne reaktivnosti
 - d. širina pulza na polovični višini kot funkcija promptne reaktivnosti.
2. Uporabi rezultate Fuchs-Hansenovega modela (enačbe 9.80 do 9.89 v prilogi) in oceni efektivni koeficient reaktivnosti temperature goriva γ in življenjski čas promptnih nevtronov Λ . Oceni napako in komentiraj odstopanja od modela. Določi začetno periodo naraščanja moči (9.82).
3. Oceni negotovosti rezultatov ter komentiraj rezultate in eksperiment
4. Razmisli, kaj bi lahko izmerili ali raziskali s pomočjo pulznega eksperimenta (v fiziki trdne snovi, jedrski fiziki, biologiji, medicini, kemiji, strojništvu,...). Skušaj biti izviren!

5 LITERATURA

1. Bell-Glasstone, Nuclear Reactor Theory, poglavje 9.6
2. http://www.rcp.ijs.si/ric/pulse_operation-s.html
3. MELE, Irena, RAVNIK, Matjaž, TRKOV, Andrej. TRIGA Mark II benchmark experiment. Part II, Pulse operation. Nucl. technol., 1994, vol. 105, str. 52-59
4. RAVNIK, Matjaž. Experimental verification of adiabatic Fuchs-Hansen pulse model. V: MAVKO, Borut (ur.), CIZELJ, Leon (ur.). 4th Regional Meeting Nuclear Energy in Central Europe, Bled, Slovenia, 7-10 September 1997. Proceedings. Ljubljana: Nuclear Society of Slovenia, 1997, 1997, str. 450-456.