Sveučilište u Zagrebu

Fakultet elektrotehnike i računarstva

Zavod za visoki napon i energetiku

**Nuklearno inženjerstvo**

Domaća zadaća

Ćelijski proračun

Zagreb, 2010.

## Zadatak

**Nuklearno inženjerstvo, FER 2009/2010 Domaća zadaća 1&2, Ćelijski proračun - zadatak 20**

Koristeći neutronski transportni program DRAGON v4 i 69-grupnu biblioteku udarnih presjeka WLUP JEFF31 potrebno je za standardnu elementarnu ćeliju NE Krško s gorivom obogaćenja 4.4% provesti proračun izgaranja u referentnim uvjetima do odgora od 60 GWd/tU. Referentni uvjeti su temperatura goriva 810.93 K, temperatura košuljice 616.48 K, temperatura moderatora 580.55 K (15.513 MPa, 710.71 kg/m3), koncentracija borne kiseline 500 ppm, gustoća snage 40.4988 W/gU. Proračun ponoviti za specifične gustoće sange 0.2 Pn i 0.5 Pn, držeći sve druge podatke jednake referentnim. Koristiti buckling iteraciju da bi se dobio leakage spektar. Provesti homogenizaciju udarnih presjeka preko cijele ćelije i kondenzaciju u dvogrupnu strukturu (granična energija 0.625 eV).

• Za sva tri slučaja prikazati grafički ovisnost slijedećih nuklearnih podataka o odgoru:  *D1 , D2 ,* Σa1 , Σa2 , ν\*Σf1 , ν\*Σf2 , Φ1 / Φ2 .

• Za sva tri slučaja, za početni i za krajni odgor, izračunati kinf koristeći formulu „četiri faktora“ i približne relacije koje ih vežu s gore navedenim ulaznim podacima. Usporediti dobiveni multiplikacijski faktor s onim koje je izračunao program.

• Prikazati grafički ovisnost beskonačnog multiplikacijskog faktora i atomskih gustoća slijedećih izotopa: U-235, U-236, U-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242 i Am-241 o odgoru.

Korak ćelije je 1.2319 cm. Polumjeri goriva, unutrašnje i vanjske strane košuljice su: 0.409575, 0.41783, 0.47498 cm. Pretpostaviti da je efektivna gustoća UO2 10.34 g/cm3, da je košuljica od čistog Zr-91 gustoće 6.51 g/cm3 a da je u zazoru He atomske gustoće 2.350E-04 atoma/barn-cm. Pretpostaviti da borna kiselina koja se koristi za kontrolu reaktivnosti sadrži bor s prirodnom zastupljenošću izotopa B-10 i B-11 i da je tijekom izgaranja koncentracija borne kiseline konstatna. Atomske mase potrebne za računanje izotopskih gustoća materijala uzeti iz poglavlja 6 List of Materials dokumenta WIMS-D Library Update. Shematski izgled geometrije elementarne gorivne ćelije NE Krško prikazan je ispod.

## Ulazna datoteka

Dobiveni input prilagodio sam na sljedeći način kako bi odgovarao mom zadatku:

Izračunao sam koncentracije U235, U238, O16, B, H20 preko sljedecih formula:

Gdje *e* predstavlja obogaćenje gorivog elementa, *wu* predstavlja maseni omjer urana u uranovom dioksidu a *ρ* je gustoća goriva, uranovog dioksida (UO2). Pretpostavljena efektivna gustoća UO2 je 10.3404 g/cm3. Dobivena je od teorijske gustoće UO2 u iznosu 10.96 g/cm3, proizvodnim postupkom realiziranog postotka teorijske gustoće (obično oko 95%) i uzevši u obzir odstupanje geometrije od idealnog cilindra (gubitak od par % zbog udubljenja u sredini i zaobljenja tablete na rubovima).

Atomska gustoća kisika u uranovom dioksidu:

Gdje je *AO* molarna masa kisika.

Atomska gustoća vode računamo kao:

Gustoća vode na tlaku 15.513 MPa i temperaturi 580.55 K je 0.7127494 g/cm3.

Atomsku gustoću bora u vodi dobivamo izrazom:

Gdje su AH20 i AB molarne mase vode i bora.

Za obogaćenja od 4.4% dobivamo slijedeće atomske gustoće.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Obogaćenje | N(U238) | N(U235) | N(O) | N(H2O) | N(B) |
| 4.4% | 2.204781E-02 | 1.027706E-03 | 4.613121E-02 | 4.765360E-02 | 1.989814E-05 |

Prema zadatku, izvršio sam tri proračuna. Za punu snagu 40.4988 MW/t, 50% snage 20.2494 MW/t, i 20% snage 8.09976 MW/t.

## Proračun

Proračun beskonačnog multiplikacijskog faktora:

Izvlačenjem odgovarajućih udarnih presjeka i omjera tokova iz izlaznih datoteka programa „get\_isotopics\_dragon4“ i „get\_xs\_dragon4“ i uvrštavanjem u gornje formule dobiju se faktori za početni korak odgora od 150 MWd/tU i kraj odgora od 60 GWd/tU:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Pn | 0.5 Pn | 0.2 Pn |
| početni odgor | 1.29697748574 | 1.30650577477 | 1.31914507254 |
| kraj odgora | 0.86137902202 | 0.86527738142 | 0.86386752807 |

Program „get\_kinfb\_dragon4“ dobije sljedeće vrijednosti faktora :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Pn | 0.5 Pn | 0.2 Pn |
| početak odgora | 1.275548 | 1.284534 | 1.296452 |
| kraj odgora | 0.8566835 | 0.8605337 | 0.8592702 |

## Grafički rezultati

Ovisnost difuzijske konstante o odgoru za brzu grupu (sve snage): C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\D1.wmf

Ovisnosti difuzijske konstante o odgoru za termičku grupu (sve snage): C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\D2.wmf

Ovisnosti makroskopskog udarnog presjeka za apsorpciju o odgoru za brzu grupu (sve snage): C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\siga1.wmf

Ovisnosti makroskopskog udarnog presjeka za apsorpciju za termičku grupu (sve snage): C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\siga2.wmf

Ovisnosti makroskopskog udarnog presjeka za fisiju za brzu grupu (sve snage): C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\nusigf1.wmf

Ovisnosti makroskopskog udarnog presjeka za fisiju za termičku grupu (sve snage): C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\nusigf2.wmf

Ovisnosti spektralnih omjera (omjer srednjeg brzog i termičkog neutronskog fluksa) o odgoru (sve snage): C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\sr.wmf

Ovisnosti beskonačnih multiplikacijskih faktora o odgoru (sve snage):

C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\kinf.wmf

Ovisnost atomskih gustoća izotopa U-235 i U-236 o odgoru (full power):

C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\235-236.wmf

Ovisnost atomskih gustoća izotopa U-238 o odgoru (full power):

C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\238.wmf

Ovisnost atomskih gustoća izotopa Pu-239, 240, 241, 242, Am-241 o odgoru (full power):

C:\Users\Vedran\Desktop\Borna\Borna\Pu.wmf

# Ulazna datoteka

## Puna snaga

\*----

\* NEK Pin Cell; 4.4% U-235, 500 ppm boron

\* std pin region 1 sector 1

\* 2-D CARTESIAN CELL

\* WIMSD4 69 GROUPS LIBRARY FILE endfb6

\*----

\* specific irradiation power W/g=MW/t

REAL Power := 40.4988 ;

\* step initial and final burnups MWd/tU

REAL Burni Burnf := 0.0 0.0 ;

\* current/final burnup

REAL Burnc := 60000.0 ;

\* step initial and final times day

REAL Timei Timef := 0.0 0.0 ;

\* step time and burnup change

REAL Delt Delb := 0.0 0.0 ;

\*----

\* Define STRUCTURES and MODULES used

\*----

LINKED\_LIST

GEOM DISCR1 DISCR2 LIBRARY CP FLUX BURNUP OUT EVODAT ;

SEQ\_BINARY

TRKSPC ;

MODULE

LIB: GEO: EXCELT: SHI: ASM: FLU: EVO: EDI: UTL: GREP:

DELETE: END: ;

INTEGER f := 1 ;

\*

EVODAT := UTL: :: CREA 'bstep' 35 =

0. 150. 500. 1000. 2000. 3000. 4000.

5000. 6000. 8000. 10000. 12000. 14000. 16000.

18000. 20000. 22000. 24000. 26000. 28000. 30000.

32000. 34000. 36000. 38000. 40000. 42000. 44000.

46000. 48000. 50000. 52000. 56000. 60000. 70000.

;

GREP: EVODAT :: GETVAL 'bstep' <<f>> >>Burnf<< ;

\*

\*----

\* Microscopic cross sections and depletion data

\* from file endfb7 format WIMSD4

\*----

LIBRARY := LIB: ::

NMIX 4 CTRA WIMS

DEPL LIB: WIMSD4 FIL: jeff31

MIXS LIB: WIMSD4 FIL: jeff31

MIX 1 810.93

O16 = '6016' 0.4613121E-01

U235 = '2235' 0.1027706E-02 1

U236 = '236' 0.0000000E-02 1

U238 = '8238' 0.2204781E-01 1

Pu239 = '6239' 0.0000000E-02 1

Pu240 = '1240' 0.0000000E-02 1

Pu241 = '1241' 0.0000000E-02 1

Pu242 = '1242' 0.0000000E-02 1

Am241 = '951' 0.0000000E-02 1

MIX 2 616.48

He4 = '4' 0.3765181E-04

MIX 3 616.48

Zr91 = '91' 0.4297839E-01

MIX 4 580.55

H1H2O = '3001' 4.765360334E-02

O16H2O = '6016' 2.385653147E-02

B = '1011' 1.989814000E-05

;

\*----

\* Geometry GEOM : cartesian 4 region geometry

\*----

GEOM := GEO: :: CARCEL 3

X- REFL X+ REFL MESHX 0.0 1.2319

Y- REFL Y+ REFL MESHY 0.0 1.2319

RADIUS 0.0 0.409575 0.41783 0.47498

MIX 1 2 3 4

;

\*----

\*----

\* tracking module: excelt:

\* Self-Shielding calculation

\* Transport calculation

\* Flux calculation for B + leakage

\*----

DISCR1 TRKSPC := EXCELT: GEOM ::

EDIT 0

TITLE 'NEK STD 4.4%'

MAXR 50

TRAK TSPC 12 20.0 ;

\* perform self-shielding calculation

\* SHIBA

LIBRARY := SHI: LIBRARY DISCR1 TRKSPC ::

EDIT 0

;

\* assembly module

CP := ASM: LIBRARY DISCR1 TRKSPC :: ;

\* flux transport calculation

FLUX := FLU: CP LIBRARY DISCR1 TRKSPC ::

TYPE B B1 PNL KEFF 1.0 ;

\* output edit

OUT := EDI: FLUX LIBRARY DISCR1 ::

EDIT 3

MERG COMP

COND 0.625 SAVE

;

\*----

\* Burnup loop: for the first step, structure BURNUP is created

\* while for other steps it is modified

\* this leads to two different calls to the LIB: module

\*----

WHILE Burni Burnc < DO

\*

EVALUATE f := f 1 + ;

GREP: EVODAT :: GETVAL 'bstep' <<f>> >>Burnf<< ;

EVALUATE Delb := Burnf Burni - ;

EVALUATE Delt := Delb Power / ;

\*----

\* final time = initial time + time increment

\*----

EVALUATE Timef := Timei Delt + ;

\*----

\* separate call for the initial time step

\*----

IF Burni 0.0 = THEN

BURNUP LIBRARY := EVO: LIBRARY FLUX DISCR1 ::

EDIT 2

DEPL <<Timei>> <<Timef>> DAY POWR <<Power>> ;

\* DEPL <<Timei>> <<Timef>> DAY POWR <<Power>> GLOB ;

ELSE

BURNUP LIBRARY := EVO: BURNUP LIBRARY FLUX DISCR1 ::

EDIT 2

DEPL <<Timei>> <<Timef>> DAY POWR <<Power>> ;

\* DEPL <<Timei>> <<Timef>> DAY POWR <<Power>> GLOB ;

ENDIF ;

\*----

\* perform self-shielding calculation

\*----

LIBRARY := SHI: LIBRARY DISCR1 TRKSPC :: EDIT 1 ;

\*----

\* compute new flux

\*----

CP := DELETE: CP ;

CP := ASM: LIBRARY DISCR1 TRKSPC :: ;

FLUX := FLU: FLUX CP LIBRARY DISCR1 ::

TYPE B B1 PNL KEFF 1.0 ;

\*

\* - Cross-Sections Condensation

\*

OUT := EDI: OUT FLUX LIBRARY DISCR1 ::

EDIT 3

MERG COMP

COND 0.625 SAVE ;

\*----

\* finish up time step

\*----

EVALUATE Burni := Burnf ;

EVALUATE Timei := Timef ;

\*----

ENDWHILE ;

\*----

DISCR1 TRKSPC := DELETE: DISCR1 TRKSPC ;

END: ;

QUIT "LIST" .

## Polovična snaga

\* specific irradiation power W/g=MW/t

REAL Power := 20.2494 ;

## 20% snage:

\* specific irradiation power W/g=MW/t

REAL Power := 8.09976 ;