

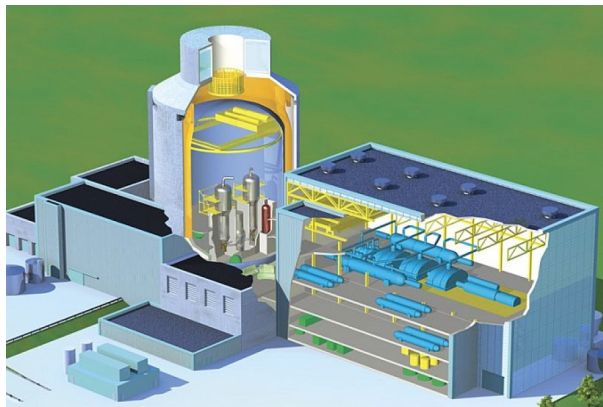
Praca zaliczająca:
Modelowanie procesów fizycznych
w reaktorach jądrowych
**Wpływ konfiguracji kasety paliwowej
na parametry pracy reaktora AP-1000**

1. Charakterystyka reaktora

AP 1000 - reaktor typu APWR (ang. Advanced Pressurized Water Reactor) o mocy 1000 MW, opracowywany od 1994 roku przez Westinghouse oraz grupę towarzystw energetycznych z ośmiu krajów Europy Zachodniej. Jest to prostszy i bardziej ekonomiczny reaktor typu PWR.

Projekt zaawansowanego pasywnego reaktora wodnego ciśnieniowego opiera się na konwencjonalnej konfiguracji z 2 obiegami pierwotnymi i 2 wytwornicami pary, które udoskonalono pod względem wielu szczegółowych rozwiązań. Reaktor AP1000 posiada moc termiczną 3400 MWt w rdzeniu oraz w zależności od warunków lokalizacyjnych nominalną moc 1117 MWe.

Rdzeń zawiera 157 elementów paliwowych. Projekt AP1000 zawiera układy pasywnego awaryjnego chłodzenia rdzenia reaktora oraz chłodzenia obudowy bezpieczeństwa. Oznacza to, że układy aktywne, które są potrzebne wyłącznie do zmniejszania skutków awarii projektowych, zostały zastąpione w AP1000 układami prostszymi, pasywnymi, których działanie opiera się na grawitacji, ciśnieniu sprężonych gazów lub naturalnej cyrkulacji zamiast użycia pomp. Kampania paliwowa trwa 18 miesięcy.



Rysunek 1: Uproszczony schemat budowy reaktora AP-1000.

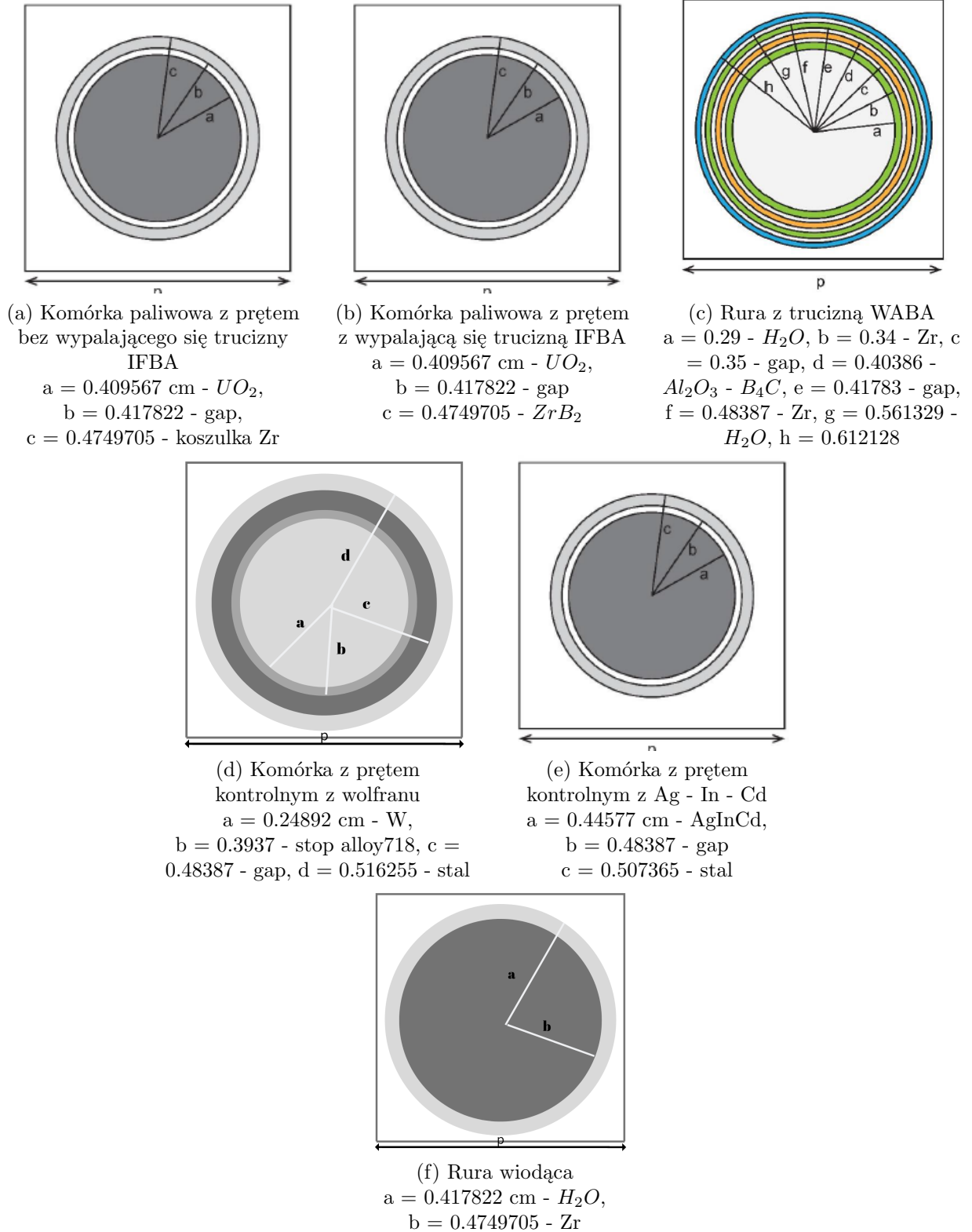
2. Pręty

Kaseta składała się z 6 różnego rodzaju prętów:

- pręt z UO_2 (różne wzbogacenie) bez wypalającej się trucizny IFBA
- pręt z UO_2 (różne wzbogacenie) z wypalającą się trucizną IFBA
- pręt WABA (różna długość) - mokra wypalająca się truciznę WABA (Wet Annular Burnable Absorber) stanowi pierścieniowy koszulkowany absorber wykonany z pastylek z tlenku aluminium zawierających węgiel boru – $Al_2O_3 - B_4C$. W środku absorbera znajduje się kanał, przez który przepływa woda
- szare pręty kontrolne z wolframu
- czarne pręty kontrolne z Ag - In - Cd
- rura wiodąca

Liczba kaset	157
Siatka w kasce	17 x 17
Liczba prętów paliwowych w kasce	264
Skok siatki p	1.259815 cm
Wymiary poprzeczne kasety	21.40162 x 21.40162 cm

Tabela 1: Szczegóły geometrii kaset paliwowych

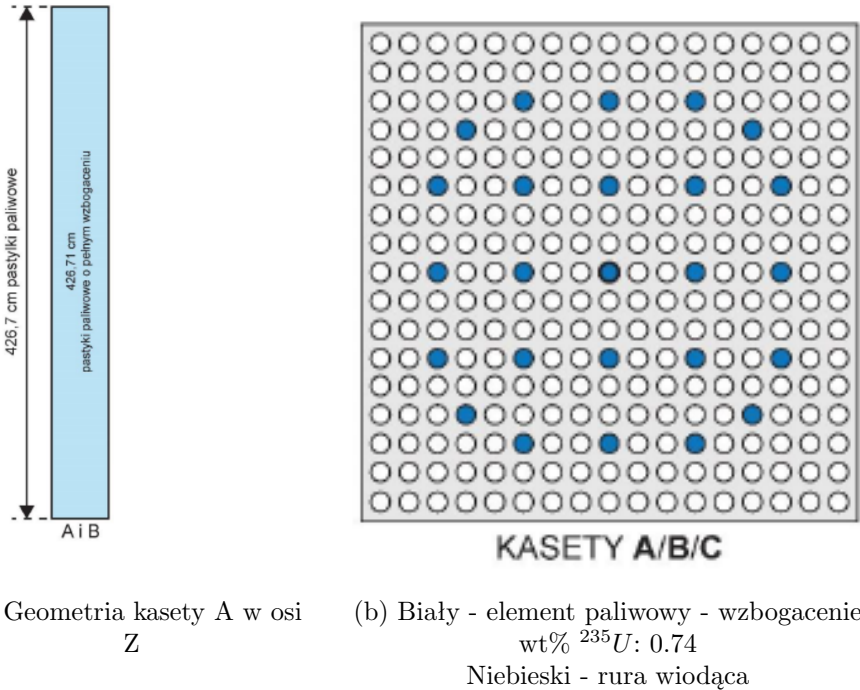


Rysunek 2: Geometria poszczególnych prętów

3. Kasety

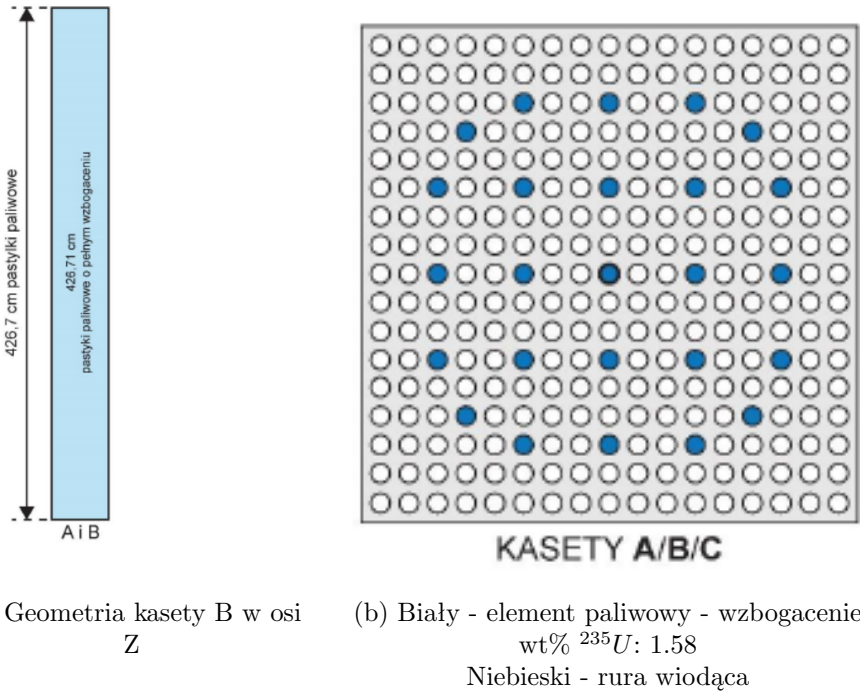
Rdzeń składał się z 9 różnego rodzaju kaset.

3.1 Kaseta A



Rysunek 3: Kaseta A

3.2 Kaseta B

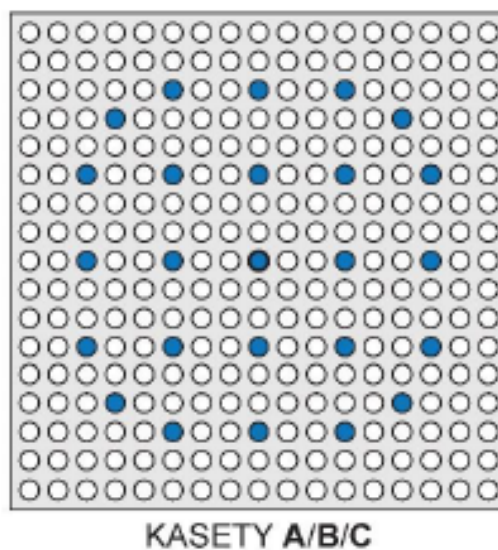


Rysunek 4: Kaseta B

3.3 Kaseta C



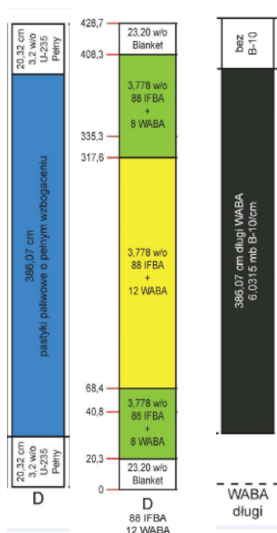
(a) Geometria kasety C w osi Z



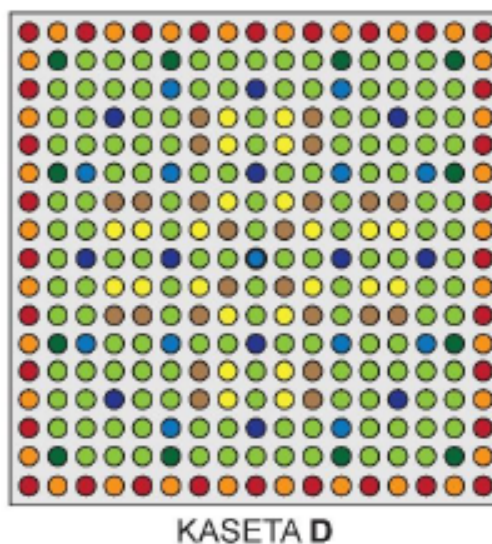
(b) Białe - element paliwowy - wzbogacenie wt% ^{235}U : 3.2
Niebieski - rura wiodąca

Rysunek 5: Kaseta C

3.4 Kaseta D



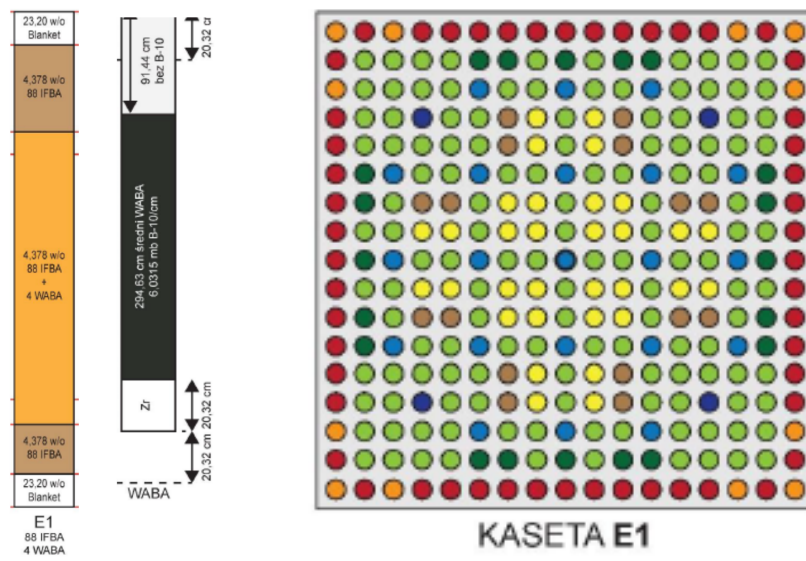
(a) Geometria kaset D w osi Z



(b) Czerwony - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 3.4, Pomarańczowy - element paliwowy - wt% ^{235}U : 3.4, Zielony ciemny - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 3.8, Zielony element paliwowy - wt% ^{235}U : 3.8, Żółty - element paliwowy - wt% ^{235}U : 4.2, Brązowy - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 4.2, Ciemny niebieski - WABA, Niebieski - rura wiodąca

Rysunek 6: Kaseta D

3.5 Kaseta E1

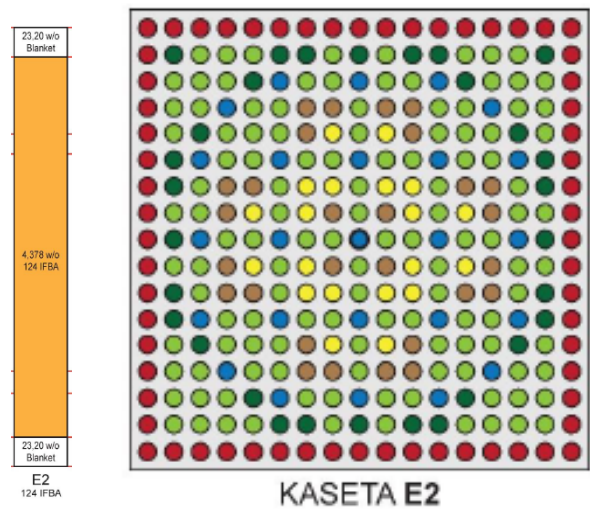


(a) Geometria kaset E1 w osi Z

(b) Czerwony - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 4.0, Pomarańczowy - element paliwowy - wt% ^{235}U : 4.0, Zielony ciemny - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 4.4, Zielony element paliwowy - wt% ^{235}U : 4.4, Żółty - element paliwowy - wt% ^{235}U : 4.8, Brązowy - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 4.8, Ciemny niebieski - WABA, Niebieski - rura wodąca

Rysunek 7: Kaset E1

3.6 Kaseta E2



- (a)
- Geo-

me-

tria

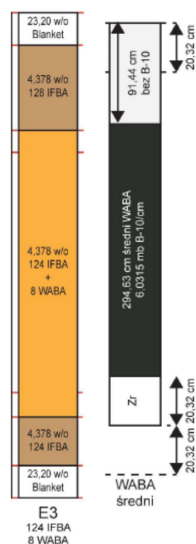
kaset

E2 w

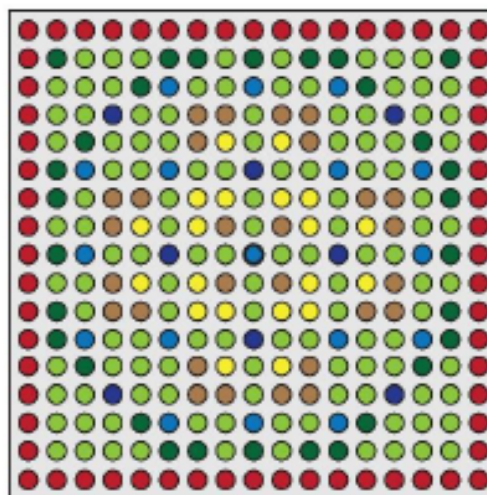
osi Z
- (b) Czerwony - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 4.0, Pomarańczowy - element paliwowy - wt% ^{235}U : 4.0, Zielony ciemny - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 4.4, Zielony element paliwowy - wt% ^{235}U : 4.4, Żółty - element paliwowy - wt% ^{235}U : 4.8, Brązowy - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 4.8, Ciemny niebieski - WABA, Niebieski - rura wiodąca

Rysunek 8: Kasetę E2

3.7 Kasety E3



(a) Geometria kaset E3 w osi Z



KASETA E3

(b) Czerwony - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 4.0, Pomarańczowy - element paliwowy - wt% ^{235}U : 4.0, Zielony ciemny - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 4.4, Zielony element paliwowy - wt% ^{235}U : 4.4, Żółty - element paliwowy - wt% ^{235}U : 4.8, Brązowy - element paliwowy z IFBA - wt% ^{235}U : 4.8, Ciemny niebieski - WABA, Niebieski - rura wiodąca

Rysunek 9: Kasety E3

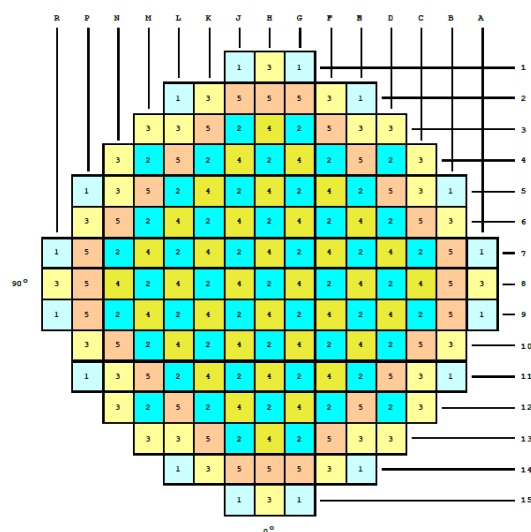
4. Pręty kontrolne

- pierwszy wykonany ze stopu Ag-In-Cd
- drugi z wolframu

Rod Cluster Control Assemblies	
Neutron absorber	Ag-In-Cd
Diameter (in.)	0.341
Density (lb/in. ³)	Ag-In-Cd 0.367
Cladding material	Type 304 or 304L, cold-worked SS
Cladding OD (in.)	0.381
Cladding thickness (in.)	0.0185
Number of clusters, full-length	53
Number of absorber rods per cluster	24
Gray Rod Cluster Assemblies	
Neutron absorber	Tungsten/Alloy 718
Diameter (in.)	Tungsten 0.197 / Alloy 718 0.310
Density (lb/in. ³)	Tungsten 0.695 / Alloy 718 0.296
Cladding material	Type 304 or 304L, cold-worked SS
Cladding OD (in.)	0.381
Cladding thickness (in.)	0.0255
Number of clusters, full-length	16
Number of absorber rods per cluster	24

5. Geometria całego rdzenia

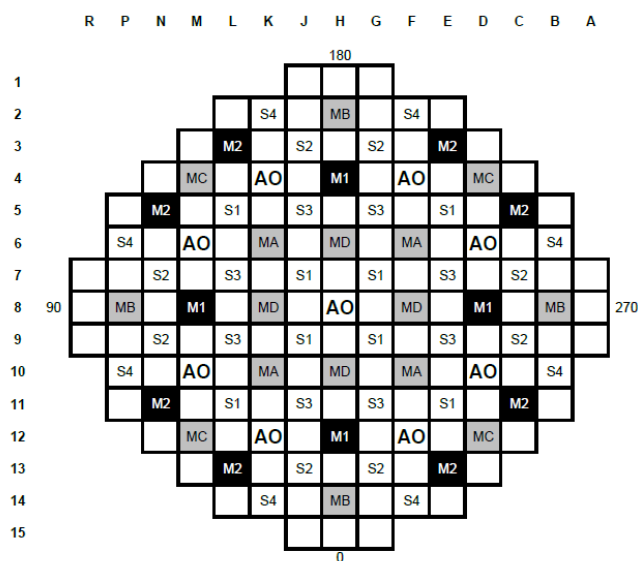
Kasety przedstawione powyżej zostały poustawiane w następującej konfiguracji.



Rysunek 10: Geometria całego rdzenia, odpowiednio numer 1 oznacza kasetę A itd.



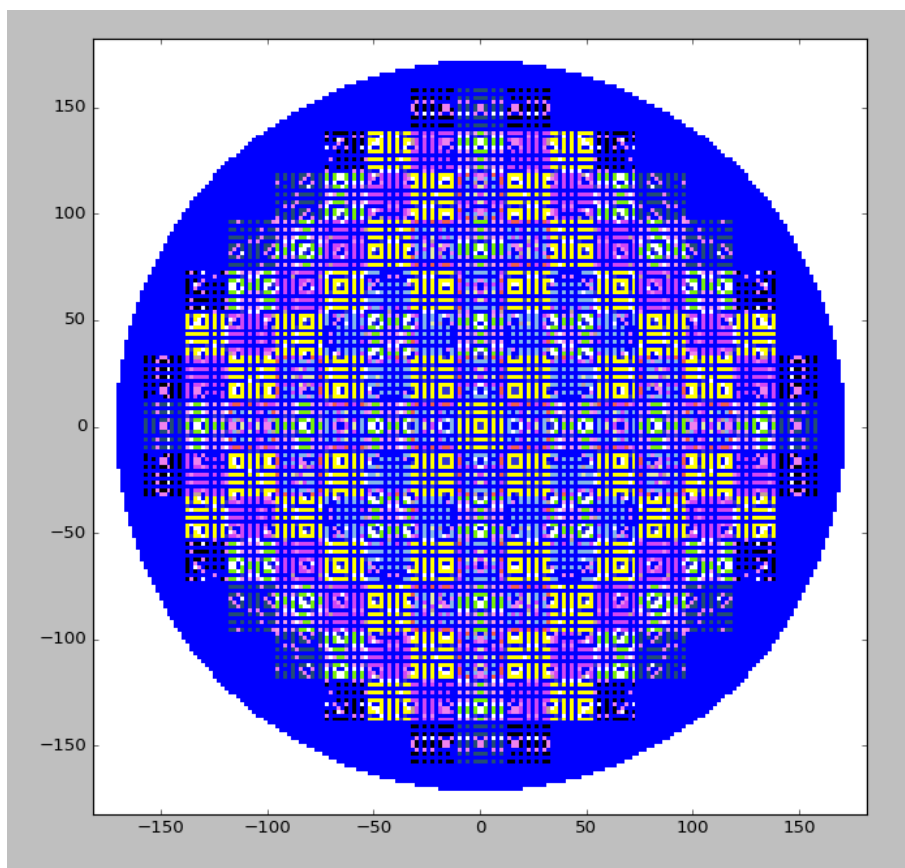
Rysunek 11: Ćwiartka rdzenia uwzględniająca fakt, że rejon 5, czyli rejon E, dzieli się na kasety E1, E2 i E3.



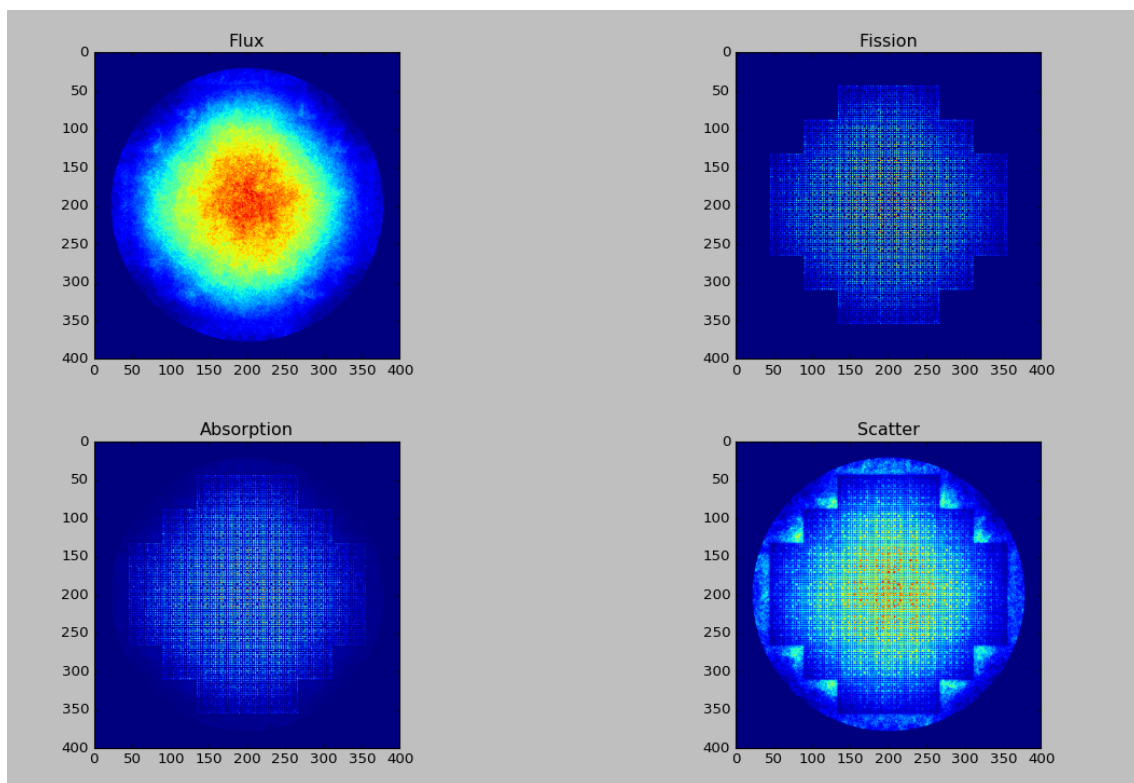
Rysunek 12: Niektóre pozycje na rysunku 10 zostały zajęte nie przez kasety paliwowe, a kasety z prętami kontrolnymi.

Kasety MA, MB, MC i MD zawierają pręty z wolframu, a pozostałe ze stopu Ag-In-Cd.

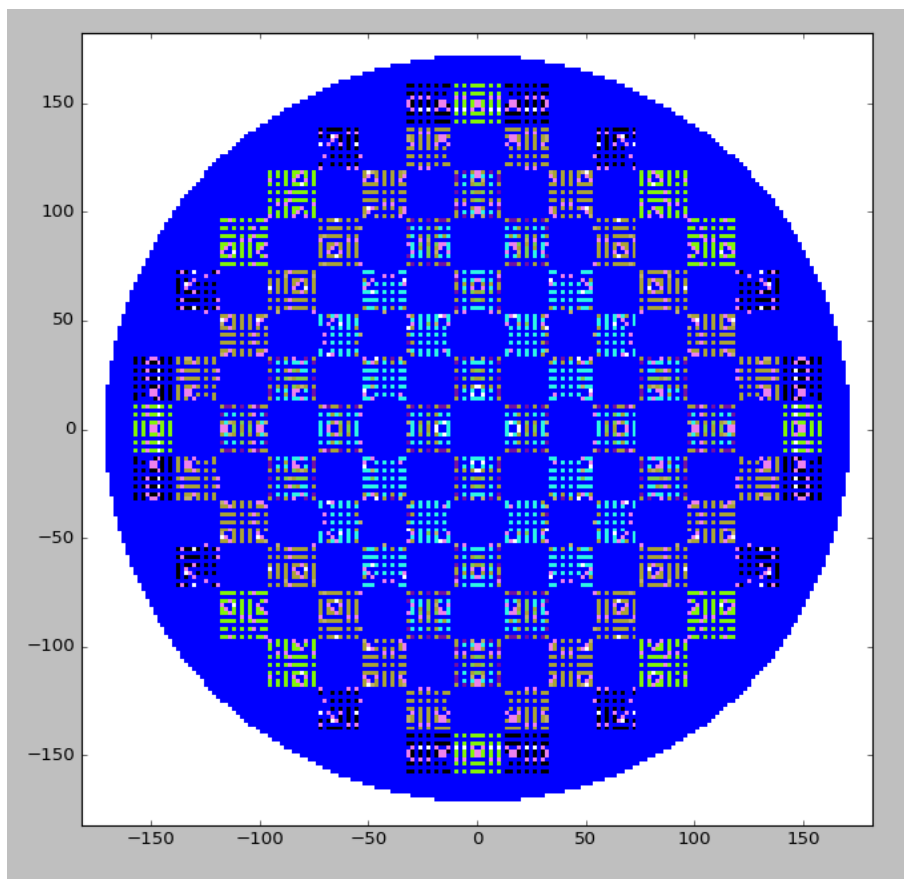
6. Symulacje



Rysunek 13: Odtworzenie powyższych geometrii w symulacji, z całkowicie opuszczonymi prętami kontrolnymi.



Rysunek 14: Wyniki uzyskane, dla całkowicie opuszczonych pętli kontrolnych.



Rysunek 15: Odtworzenie powyższych geometrii w symulacji, z opuszczonymi prętami kontrolnymi do połowy.

7. Wnioski

Cały swój projekt bazowałam na raporcie Westinghouse VERA Test Stand "Zero Power Physics Test Simulations for the AP1000® PWR". Ponieważ wybrany przeze mnie reaktor charakteryzuje się dużą ilością różnego rodzaju kasety paliwowych, które między sobą różnią się nie tylko wzbogaceniem uranu, ale również dodatkiem innych substancji jak np. IFBA, ale różnią także znacznie geometrią w osi pionowej, większość czasu została przeze mnie poświęcona na stworzeniu geometrii przedstawionej w wyżej wymienionym raporcie.

Dodatkowe wyzwanie pojawiło się w czasie czytania tego raportu, ponieważ przedstawione w nim informacje dotyczące geometrii lub składów materiałowych nie zawsze były ze sobą spójne, co trzeba było również uwzględnić. Czasami informacje były przedstawiane w "dziwnych" jednostkach, które trzeba było przerobić w racjonalny sposób na jednostki używane w OpenMC.

Informacje odnośnie geometrii prętów kontrolnych były bardzo oszczędnie przedstawione w raporcie. Założyłam, że pręty kontrolne są zgrupowane w kasety 17 x 17, a każdy pręt to cylinder o odpowiedniej średnicy i odpowiednich materiałach, ta geometria prętów została pokazana na rysunku 2.

Rozkład przestrzenny zarówno strumienia neutronów jak i innych zjawisk fizycznych, wydają mi się nie odpowiedni, dla sytuacji, gdy wszystkie pręty kontrolne są opuszczone całkowicie. Taki wniosek podparty jest również, faktem, że identyczny rozkład przestrzenny uzyskałam dla sytuacji, gdy pręty kontrolne zostały opuszczone do połowy wysokości.

Nie tworzyłam symulacji dla innego ustawienia kaset, ponieważ w wyżej wspomnianym raporcie został opisany tylko takie ustawienie prętów w rdzeniu reaktora AP-1000.

Pomimo nie do końca prawidłowych wyników końcowych, to całość procesu projektowania rdzenia, uwzględniającego wszystkie geometrie kaset oraz proces czytania raportu i adaptowania informacji tam zawartych na język symulacji OpenMC, uważam za bardzo kształcące doświadczenie.