

Homogenost sevalnega polja v okolici gorivnih elementov

. . .

Junoš Lukan

Homogeno polje ima v vsaki točki prostora enake lastnosti: velikost in smer sta konstantni. Z različnimi razporeditvami gorivnih elementov okrog obsevalnega kanala, napolnjenega z zrakom, se lahko uniformnemu polju fluksa žarkov gama približamo v večji ali manjši meri.

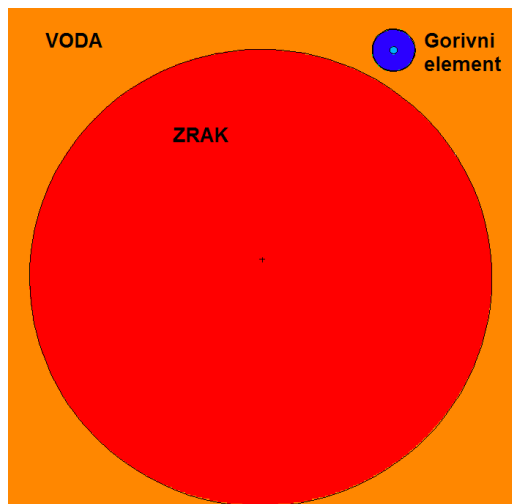
Poskusil sem ugotoviti, katere količine, ki jih lahko izračunamo za polje, najboljše opišejo njegovo homogenost. Preizkusil sem klasične statistične količine, kot so varianca fluksa, razmerje med maksimalno in povprečno vrednostjo ter mediana in varianca gradienta. Če imamo polje definirano na dvodimenzionalni koordinatni mreži, lahko ugotavljamo razdaljo med njegovo matriko in konstantno matriko. To sem izračunal preko pravokotne projekcije matrike polja, $[\Phi]_{ij} \equiv \phi(x_i, y_j, z) = \phi(\mathbf{r}_{ij})$, na podprostor konstantnih matrik, se pravi:

$\|\Phi - \text{proj}_{\mathbf{E}} \Phi\|$. V pravokotni projekciji $\text{proj}_{\mathbf{E}} \Phi = \frac{\langle \Phi, \mathbf{E} \rangle}{\langle \mathbf{E}, \mathbf{E} \rangle} \mathbf{E}$ (Hefferon & Wikibookians, 2013) sem za definicijo skalarnega produkta uporabil Frobeniusov skalarni produkt, $\langle \Phi, \mathbf{E} \rangle = \sum_{i,j} \Phi_{ij} E_{ij} = \text{tr}(\Phi \mathbf{E}^*)$. Ob upoštevanju teh definicij in linearnosti skalarnega produkta zadostuje projekcija na matriko enic, tako lahko izrazim: $\|\Phi - \text{proj}_{\mathbf{E}} \Phi\|^2 = \text{tr}(\Phi \Phi^\top) - \frac{1}{nm} [\text{tr}(\Phi \mathbf{E}^\top)]^2$, kjer je matrika polja realna in velikosti $n \times m$. Nazadnje sem izračunal še največje največje razlike med vrednostmi polja in 50., 90. in 95. percentil njihove porazdelitve.

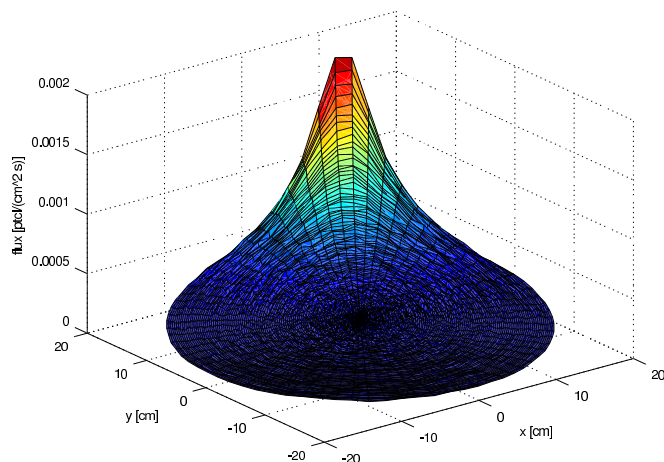
Naštete mere homogenosti sem izračunal za različne primere razporeditve gorivnih elementov in za različne velikosti obsevalnega kanala. Na specifičnih primerih sem ugotavljal, katera mera (ali njihova kombinacija) je najboljša za opis homogenosti polja. V model gorivnega elementa reaktorja TRIGA sem postavil volumsko porazdeljen izvor žarkov gama z energijo 3 MeV. Sliki 2.1a in 2.1b prikazujeta osnovno geometrijsko postavitev in fluks žarkov gama, ki izvira iz enega samega gorivnega elementa, v središčni ravnini obsevalnega kanala.

Vse mere homogenosti so navzgor neomejene, višja vrednost pa pomeni manjšo homogenost polja. V splošnem sem potrdil pričakovano večjo homogenost, izraženo z nižjimi vrednostmi mer, v manjšem obsevalnem kanalu in z večjim številom gorivnih elementov. Nekatere mere so kazale manj očitno povečanje kot druge, gradient in njegova varianca pa sta bila posebej občutljiva na numerične napake. Da bi izbral najboljšo kombinacijo mer, sem uporabil analizo glavnih komponent (angl. principal component analysis), ki je potrdila nižjo nasičenost vsote mer z gradientom in njegovo varianco. Obtežena vsota ostalih mer dobro napove pričakovano odvisnost homogenosti: Spearmanova korelacija rangov s številom gorivnih elementov je $\rho = -0,96$ ($p < 0,001$), z velikostjo obsevalnega kanala pa $\rho = 1$, pri čemer prvi odnos ni linearen.

Pokazal sem, da je homogenost polja žarkov gama mogoče ovrednotiti na več načinov.



(a) Gorivni elementi so bili okrog obsevalnega kanala, napolnjenega z zrakom in obdanega z vodo, postavljeni v različnih konfiguracijah.



(b) Fluks žarkov gama znotraj obsevalnega kanala ima močno prostorsko odvisnost. Z različnimi konfiguracijami se homogenost lahko spreminja.

Slika 2.1: Fluks žarkov gama v obsevalnem kanalu, ob katerega je postavljen monoenergetski izvor.

Z vsoto različnih mer sem dobil robustnejši pokazatelj, manj občutljiv na napake. V prihodnje bi lahko izpeljal izračun napake posamezne mere, pri čemer bi lahko upošteval tudi znane statistične napake, inherentne simulaciji Monte Carlo.

...

Literatura

Hefferon, J. & Wikibookians. (2013). Linear algebra — Wikibooks, the free textbook project. Pridobljeno 6. marca 2015, http://en.wikibooks.org/w/index.php?title=Linear_Algebra&stableid=2546700