

UDK 539.4.014.1:621.039.4

Določitev napetosti pri stiku dveh sosrednjih vrtenin

ANDRO ALUJEVIČ in BRANKO ČERNEJ

1. UVOD

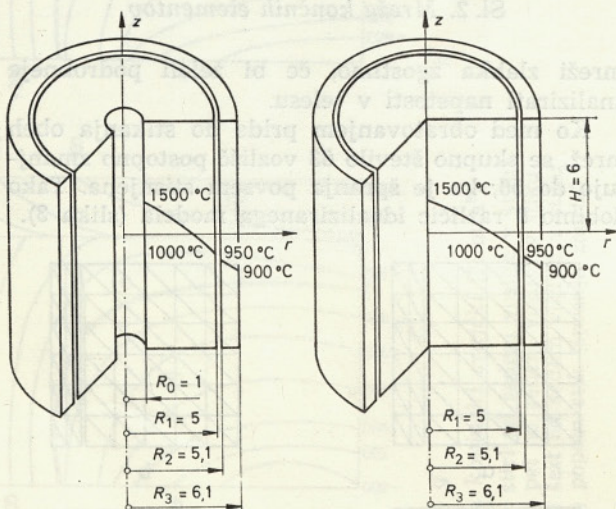
Postopek končnih elementov izstopa kot ena od najučinkovitejših metod, ki so se kdajkoli pojavile za reševanje problemov mehanike. Dano telo pri tem razdelimo na zbirko končnih delov, spojenih v več vozliščih med seboj. Celotni model dobimo potem z zlaganjem deležev, ki jih sestavljajo posamični elementi, da ponazorimo obnašanje telesa. V tehniki je taka zamisel gradnje iz členov nana, saj so na tak način izdelani vsi stroji in naprave. Razvoj sodobne tehnologije terja namreč razreševanje praktičnih problemov in za uspešno delo moramo razvijati in uporabljati vse razpoložljive metode, ki rešujejo zastavljene naloge. V izjemno kratkem času se je pojavil že kar plaz raznih člankov in knjig o uporabi metode končnih elementov. Prenekateri posebni vidiki tega postopka so bili obdelani v obsežni literaturi.

Namen tega prispevka ni ne pregled metode končnih elementov v splošnem, ne opis programa B.R.E.L. (vrteninski elementi) v podrobnem. To lahko razberemo iz poročil domačih avtorjev, npr. tudi že v Strojniškem vestniku (glej razpravi A. Alujeviča [1, 2], razpravo A. Jezernika [3] ipd.). Poudarimo naj le, da smo v zadnjem času usmerili svoje raziskovalno delo na nekatere posebne probleme iz prakse uporabnosti metode končnih elementov. Med drugim smo razvili model stikanja dveh sosrednjih valjev z možno špranjo med obema komponentama.

2. OBDELANI PRIMER

Izračunali smo termične napetosti in deformacije v gorivni palici jedrskega reaktorja zaradi temperaturnih razlik. To delo je bilo opravljeno v okviru seminarских nalog B. Černeja [4, 5], za kateri je prejel nagradi Raziskovalne skupnosti Slovenije in Univerze v Mariboru. Gorivno tableto z zunanjim premerom 10 mm smo si zamislili z notranjo izvrtino s premerom 2 mm ozir. brez luknje (slika 1).

Izbrana palica je obložena s srajčko z notranjim premerom 10,2 mm in zunanjim premerom 12,2 mm. Pri analizi smo upoštevali le posamično tableto iz celotnega stavka, obdano z ustreznim kosom varovalne cevi, saj smo se zanimali samo za bistvene značilnosti obnašanja izdelanega modela.



Sl. 1. Izmere gorivnega elementa (v mm) in porazdelitev temperatur

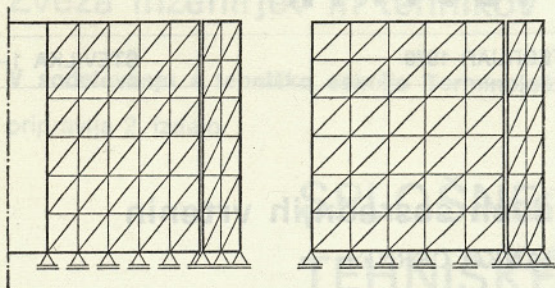
Toplotno obremenitev smo izbrali pri temperaturni razliki 500 K v telesu z viri toplote (pri čemer je najvišja temperatura 1500 °C v osi tablete) oz. 50 K v telesu z odvodom toplote (in je 900 °C najnižja temperatura na zunanji površini srajčke). Porazdelitev temperature v gorivu je parabolična, medtem ko smo v oblogi izbrali kar daljico, ki dovolj natančno ponazori sicer logaritemski potek. V osnovni celici nismo upoštevali spreminjanja temperatur v vzdolžni smeri.

Lastnosti gradiv, ki vplivajo na termoelastično obnašanje keramike (UO_2) in kovine (nerjavno jeklo) goriva oz. obloge, so bile upoštevane z vrednostmi:

modul elastičnosti	163 000 (206 000) N/mm ²
prečno število	0,2 (0,3)
temperaturna razteznost	6,0 (5,0) · 10 ⁻⁶ K ⁻¹ (ppm/K)

Brez težav lahko izračune ponovimo tudi s podatki za druge materiale (npr. cirkonijevo zlitino).

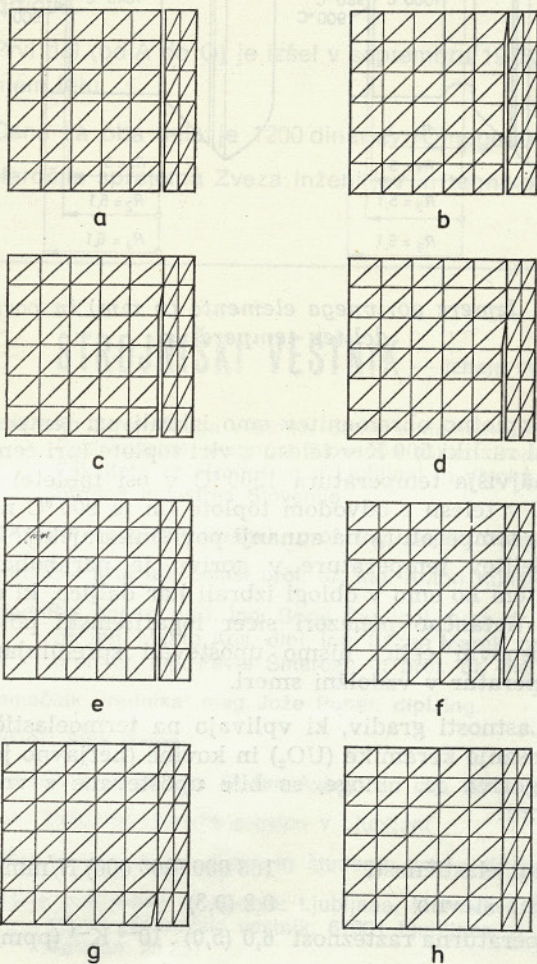
Slika 2 prikazuje mrežo končnih elementov v prvotni legi, ko se še ni pojavila interakcija. Uporabljenih je 60 trikotnih elementov z 42 vozli v tableti ozir. 24 elementov z 21 vozli v srajčki. Obe



Sl. 2. Mreža končnih elementov

mreži zlahka zgostimo, če bi želeli podrobneje analizirati napetosti v telesu.

Ko med obratovanjem pride do stikanja obeh mrež, se skupno število 63 vozlišč postopno zmanjšuje do 56, ko je špranja povsem stisnjena. Tako dobimo 8 različic idealiziranega modela (slika 3).



Sl. 3. Variante geometrijske mreže

3. REZULTATI

Opravili smo 16 zaporednih izračunov na stroju CYBER 72 ter dobili rezultate, ki so delno prikazani na slikah 4 (a do h) za votlo ozir. na slikah

5 (a do h) za polno palico. Rezultati so prikazani v meridianskem prerezu v obliki izobarnih črt obodne komponente napetosti. Prečne, vzdolžne in strižne napetosti niso vrisane, saj so njihove izračunane vrednosti nižje od obročnih napetosti v palici.

4. RAZLAGA

S slik 4 in 5 lahko razberemo naslednja dogajanja v modelu:

V samem začetku so obročne napetosti približno ± 300 MPa v tableti, medtem ko so v srajčki njihove vrednosti manjše. Kot pozitivne (+) smo označili natezne, kot negativne (—) pa tlačne napetosti. Med stikanjem obeh sosrednjih vrtenin se vrednosti povzpnejo do $+700$ MPa v srajčki in do -600 MPa v tableti, medtem ko je natezna napetost v tableti le $+500$ MPa. Tako ni dosežena natezna trdnost nerjavnega jekla ozir. uranovega oksida v razmerah znotraj reaktorja, medtem ko je tlačna trdnost na notranjem polmeru votle (oz. v osi polne) keramične tablete presežena. Zato se pojavljajo razpoke v sredini, vendar te niso nevarne, saj se pogosto pojavljajo tudi zaradi drugih vzrokov ob spreminjanju moči reaktorske sredice.

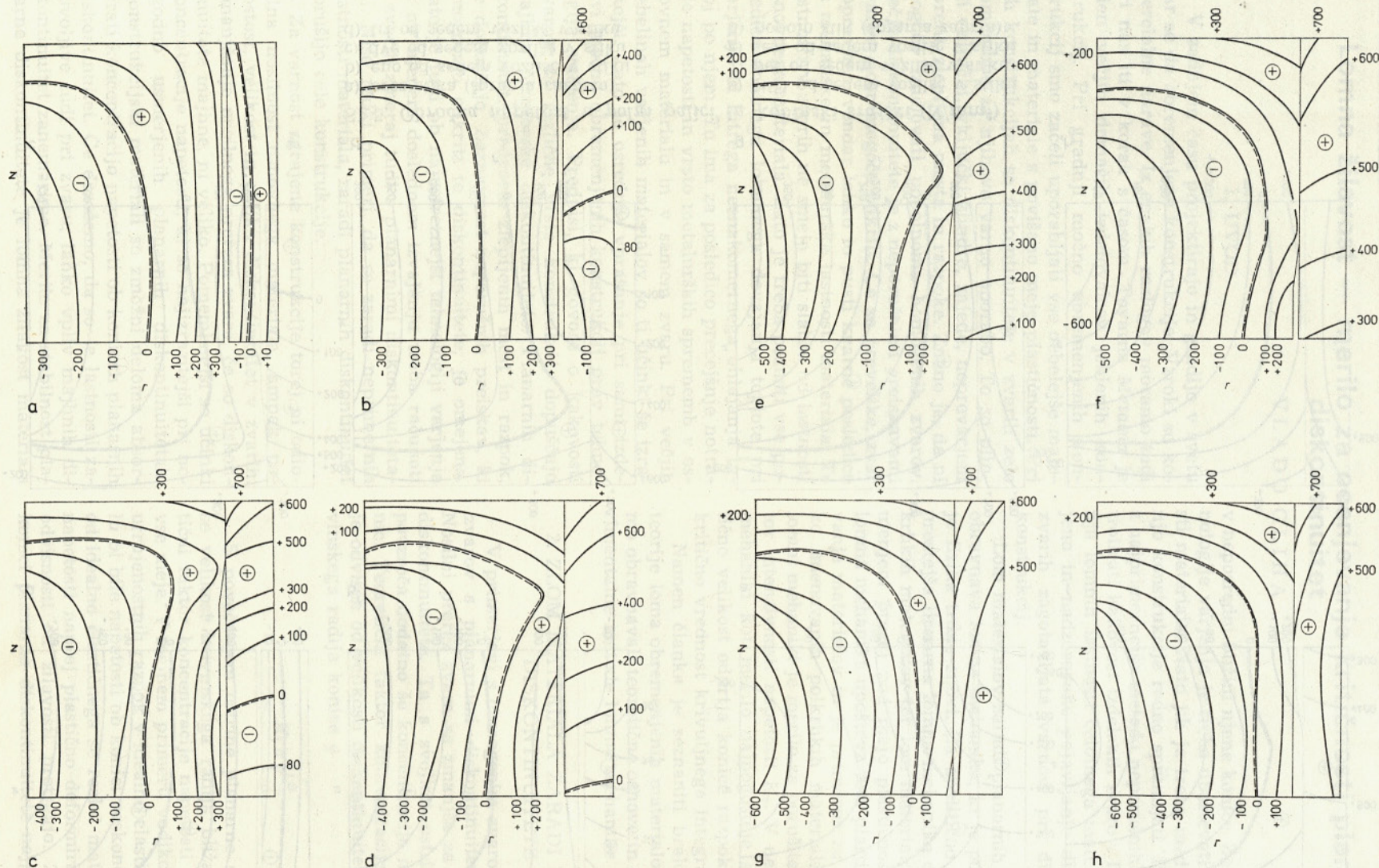
5. SKLEP

Računalniški program B.R.E.L., ki ima vgrajene osnosimetrične končne elemente, smo usposobili za obravnavo problemov napetosti v reaktorskih gorivnih elementih. Seveda pa je ta program uporaben tudi za druge strojne probleme, kjer je možnost stikanja zunanje cevi in notranjega stržena.

LITERATURA

- [1] A. Alujevič: Postopek končnih elementov za računanje termičnih napetosti. *Strojniški vestnik*, 19 (1973), str. 169—173.
- [2] A. Alujevič: Termične napetosti v tableti keramičnega gorivnega elementa. *Strojniški vestnik*, 22 (1976), str. 1—4.
- [3] A. Jezernik, M. Prašnički: Raziskava napetostnega stanja v valju motorja TAM po metodi končnih elementov s programskim sistemom SASP. *Strojniški vestnik*, 23 (1977), str. 1—8.
- [4] B. Černej: Uporabniški priročnik programa BREL za termične napetosti. Inštitut J. Stefan Ljubljana, DP-1243 (1977).
- [5] B. Černej: Interakcija gorivne tablete in srajčne cevi z modelom vrteninskih končnih elementov s sovpadnimi vozlišči. Inštitut J. Stefan Ljubljana, DP-1451 (1978).
- [6] A. Alujevič, B. Černej: Finite Element Pellet-Clad Interaction Model. (Sprejet referat za 5th International Conference of Structural Mechanics in Reactor Technology, Berlin 1979).

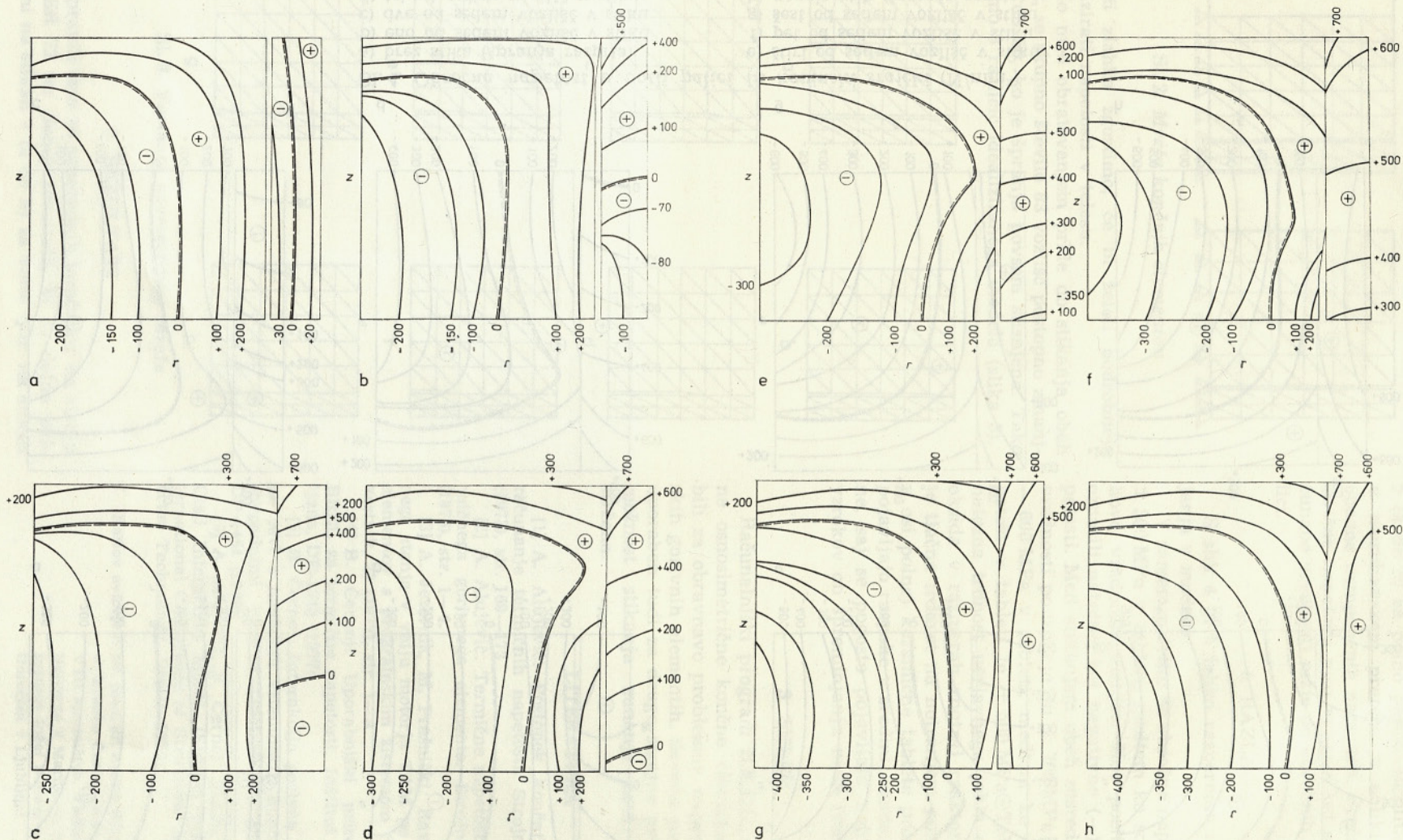
Naslov avtorjev: izr. prof. dr. Andro Alujevič, dipl. ing.
in Branko Černej, d'pl. ing.
VTO strojništvo. Visoka Tehniška šola,
Univerza v Mariboru, in
Inštitut Jožef Stefan,
Univerza v Ljubljani



Sl. 4. Obročna napetost v votli palici in kovinski srajčki (N/mm^2)

- a) brez stika (špranja razprta)
 b) eno od sedem vozlišč v stiku
 c) dve od sedem vozlišč v stiku
 d) tri od sedem vozlišč v stiku

- e) štiri od sedem vozlišč v stiku
 f) pet od sedem vozlišč v stiku
 g) šest od sedem vozlišč v stiku
 h) popoln stik (špranja zaprta)



Sl. 5. Obročna napetost v polni palici in kovinski srajčki (N/mm^2)

a) brez stika (špranja razprta)
 b) eno od sedem vozlišč v stiku
 c) dve od sedem vozlišč v stiku
 d) tri od sedem vozlišč v stiku

e) štiri od sedem vozlišč v stiku
 f) pet od sedem vozlišč v stiku
 g) šest od sedem vozlišč v stiku
 h) popoln stik (špranja zaprta)