UTICAJ GEOMETRIJE PARNOG KOTLA NA ČVRSTOĆU KONSTRUKCIJE

INFLUENCE OF STEAM BOILER GEOMETRY ON CONSTRUCTION STRENGTH

Mr Branka Gaćeša, dipl. inž.,
„Minel Kotlogradnja", Beograd

U radu je izložen pristup rešavanju čvrstoće parnog kotla primenom metode konačnih elemenata. Izvršeno je modeliranje geometrije i opterećenja parnog kotla sa plamenom cevi u realnim uslovima eksploatacije. Statičkim proračunom određena su polja deformacije i napona. Analizirani su uticaji debljine zadnjeg danca bubnja i načina njegovog ukrućenja na ponašanje konstrukcije.

The approach to solving the steam boiler hardness by the finite elements method is presented in the paper. Modeling of geometry and load of a steam boiler with a flue (fire) tube in real operation conditions was performed. Fields of deformation and stress were determined by a static calculation. The analysis is given for the influence of the drum rear head thickness and way of its stiffness on the construction's behaviour.

Ključne reči: računski model; element ploče; element grede; zadnje dance; deformacija; napon
Key words: computation model; plate element; beam element; rear head; deformation; stress

1. Uvod

Problemi koji nastaju u eksploataciji parnog kotla, često su posledica nedovoljno dobro projektovane geometrije (dimenzija i rasporeda) nosećih elemenata. U ovom radu je, kroz analizu uticaja debljine i načina ukrućenja zadnjeg danca, prikazan uticaj geometrije na čvrstoću konstrukcije parnog kotla sa ravnom plamenom cevi.

Statičkim proračunom programom KOMIPS, koji koristi metodu konačnih elemenata, određena su polja deformacije i napona noseće strukture parnog kotla.

2. Računski model

2.1. Varijante računskog modela

Za analizu uticaja debljine zadnjeg danca i načina njegovog ukrućenja na ponašanje konstrukcije, formirane su sledeće varijante računskog modela:

O – osnovni računski model. Na slici 1 prikazan je, u dve projekcije, osnovni računski model koji zbog simetrije geometrije i opterećenja predstavlja polovinu stvarne konstrukcije. Ovo je računski model noseće strukture parnog kotla tipa MK-1500VP proizvedenog u „Minel Kotlogradnji" u Beogradu, ali bez ukrućenja zadnjeg danca (slika 2a). Debljina zadnjeg danca iznosi 1,2 cm;

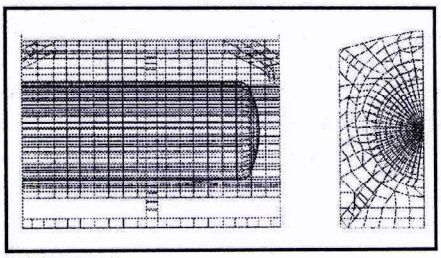
P – debljina zadnjeg danca osnovnog modela povećana je na 2,0 cm;

Q – debljina zadnjeg danca osnovnog modela povećana je na 2,8 cm;

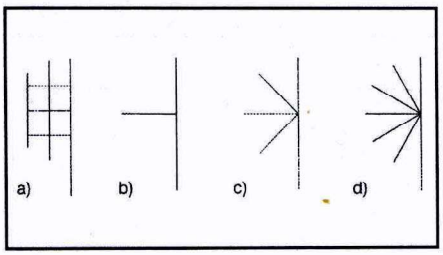
R – osnovnom računskom modelu dodata su ukrućenja zadnjeg danca sa geometrijom prikazanom na slici 2b;

S – osnovnom računskom modelu dodata su ukrućenja zadnjeg danca sa geometrijom prikazanom na slici 2c;

T – osnovnom računskom modelu dodata su ukrućenja zadnjeg danca sa geometrijom prikazanom na slici 2d.



Slika 1. Osnovni računski model



Slika 2. Ukrućenja zadnjeg danca: a) MK-1500VP, b) model R, c) model S, d) model T

2.2. Geometrija računskog modela

Geometrija računskog modela dobijena je sabiranjem funkcionalnih podstruktura modeliranih pločastim i grednim elementima. Podstrukture modelirane pločama su: A1 – ravna plamena cev; A2 – dance plamene cevi; A3 – nosač plamene cevi; B1 – omotač bubnja; B2 – kosnici; B3 – ukrućenja bubnja i oslonci; B4 – prednje dance; B5 – zadnje dance; B6 – ukrućenja zadnjeg danca. Podstrukture modelirane gredama su: C1 – dimne cevi; C2 i C3 – fiktivne grede. Osnovni računski model ima 1616 čvornih tačaka, 1388 ploča i 249 greda.

2.3. Opterećenje

U ovom radu prikazani su zbirni rezultati površinskog i inicijalnog (temperaturnog) opterećenja. Usvojena je veličina pritiska u kotlu od 0,06 kN/cm^2. Definisano temperaturno polje konstrukcije parnog kotla predstavlja njeno temperaturno opterećenje.

3. Uticaj debljine zadnjeg danca

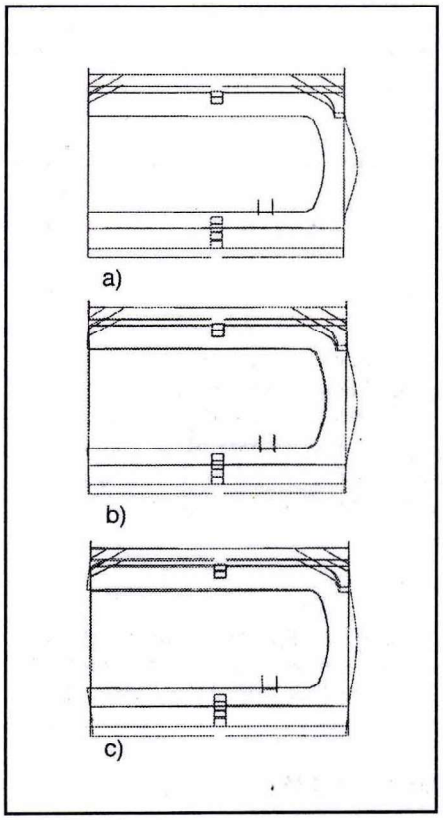
Uticaj debljine zadnjeg danca na ponašanje konstrukcije kotla prikazan je kroz analizu proračuna napona i deformacije modela O, P i Q, kao i raspodele membranskih i savojnih napona.

3.1. Deformacije

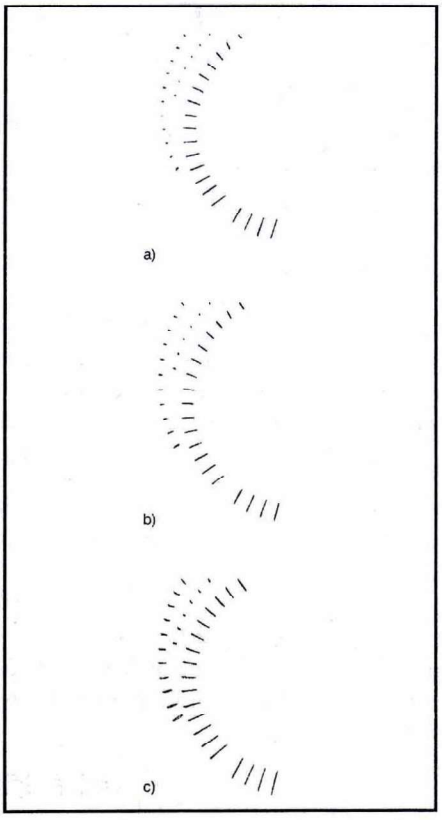
Maksimalna deformacija modela O, P i Q je na zadnjem dancu i brojčano je izražena u tabeli 1. Deformacije elemenata ploča po konturi sva tri modela prikazane su na slici 3, gde se jasno vidi kako se sa povećanjem debljine zadnjeg danca popravlja oblik njegove deformacije. Deformacije dimnih cevi vide se na slici 4.

Tabela 1

Model	Maksim. deform. [cm]	Maksimalni napon [kN/cm²]		Membranski i savojni naponi ploče [%]		grede [%]	
		ploče (B5)	grede (C1)	membr.	savoj.	membr.	savoj.
O	4,84	82	31	21,8	78,2	43,4	56,6
P	1,69	33,5	16,3	35,8	64,2	51,9	48,1
Q	0,93	15	11,5	45,8	54,2	55	45



Slika 3. Deformacije elemenata ploča modela: a) O; b) P; c) Q



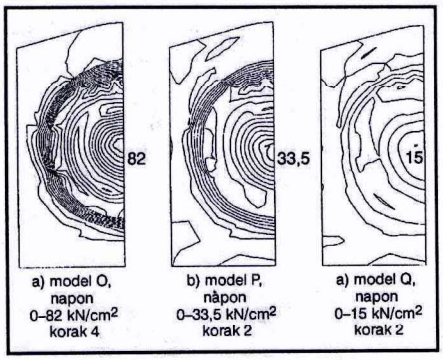
Slika 4. Deformacije dimnih cevi modela: a) O; b) P; c) Q

3.2. Naponi

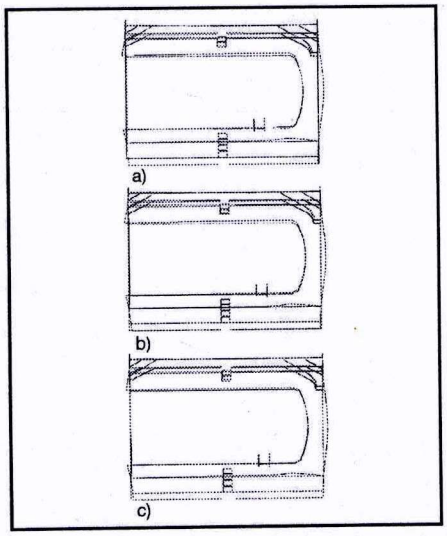
Maksimalni naponi modela O, P i Q nastaju u pločama zadnjeg danca (B5) i izraženi su brojčano u tabeli 1. U istoj tabeli su i maksimalne vrednosti napona u dimnim cevima (C1). Naponsko polje podstrukture B5 sva tri modela vidi se na slici 5. Sa povećanjem debljine zadnjeg danca smanjuje se vrednot maksimalnog napona u njemu i dobija se ravnomernija raspodela njegovih izonaponskih linija.

3.3. Raspodela membranskih i savojnih napona

Procentualno učešće membranskih i savojnih napona za elemente ploča i gredne elemente prikazano je uporedo za sva tri modela u tabeli 1. Povećanjem debljine zadnjeg danca povećava se učešće membranskih napona u odnosu na savojne napone.



Slika 5. Naponsko polje podstrukture B5 modela: a) O; b) P; c) Q



Slika 6. Deformacija ploča (B1–B5) modela: a) R; b) S; c) T

Detaljna raspodela membranskih i savojnih napona po podstrukturama prikazana je u tabeli 2. Ona nam omogućuje da nađemo elemente u kojima je prisutno savijanje (najbolja konstrukcija je ona koja nema napone savijanja [1]). Savojni naponi preovlađuju u zadnjem dancu sva tri modela i ono predstavlja loše mesto u konstrukciji. Nosač plamene cevi ima samo savojne napone. U ostalim podstrukturama ploča preovlađuju membranski naponi. Sa povećanjem debljine zadnjeg danca smanjuje se učešće savojnih u odnosu na membranske napone u pločama zadnjeg danca.

4. Uticaj rasporeda ukrućenja zadnjeg danca

Uticaj rasporeda ukrućenja zadnjeg danca na ponašanje konstrukcije kotla prikazan je kroz analizu proračuna napona i deformacije modela R, S i T, kao i raspodele membranskih i savojnih napona.

4.1. Deformacije

Maksimalna deformacija modela R, S i T je na zadnjem dancu i najmanja je za model S (tabela 3). Deformacije elemenata ploča po konturi sva tri modela i bez prikaza ukrućenja zadnjeg danca vide se na slici 6. Sa orebravanjem zadnjeg danca popravlja se oblik njegove deformacije u odnosu na neorebreno zadnje dance iste debljine (model O). Deformacije dimnih cevi vide se na slici 7.

Tabela 2

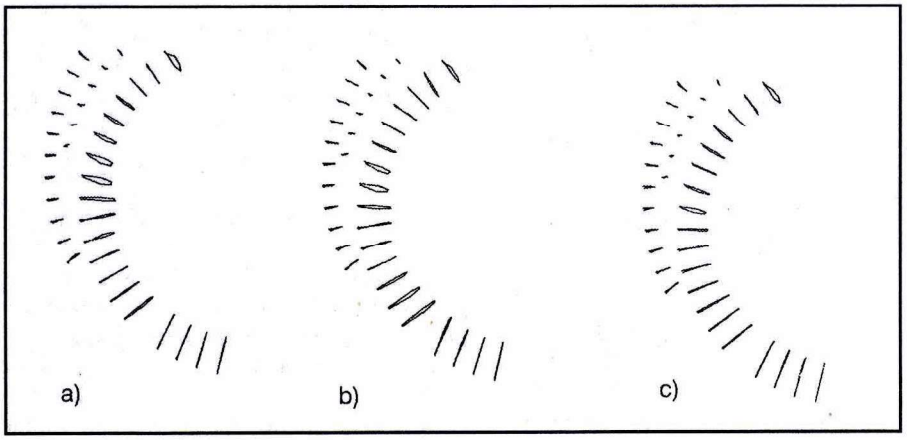
Podstrukture	Raspodela napona [%]					
	Model O		Model P		Model Q	
	membrana	savijanje	membrana	savijanje	membrana	savijanje
A1, A2	7,9	3,5	13	5,7	16,3	6,7
A3	0	0,4	0	0,2	0	0,2
B1÷B4	11,1	8,8	17,6	12,9	22,3	15,4
B5	1,4	60,2	2,1	40	2,8	26,7
C1÷C3	2,9	3,8	4,5	4	5,3	4,3

4.2. Naponi

Maksimalni naponi modela R, S i T nastaju u pločama zadnjeg danca (B5) i dati su brojčano u tabeli 3. U istoj tabeli su i maksimalne vrednosti napona u dimnim cevima (C1). Maksimalne vrednosti napona u ostalim podstrukturama sva tri modela nalaze se u tabeli 4. Naponsko polje podstrukture B5 modela R i T vidi se na slici 8, kao i kotla tipa MK-1500VP. Naponsko polje modela S i njegove podstrukture B5 vidi se na slici 9. Najnižu vrednost maksimalnog napona u konstrukciji od 15,7 kN/cm^2 ima model S.

Tabela 3

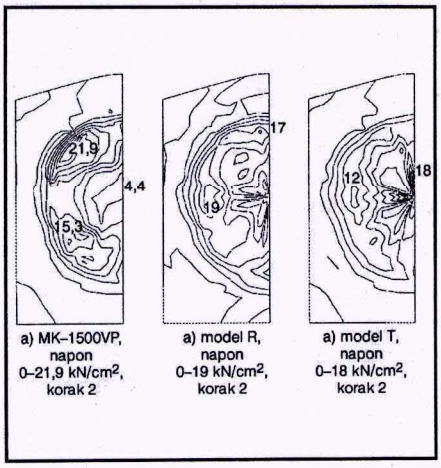
Model	Maksim. deform. [cm]	Maksimalni napon [kN/cm^2]		Membranski i savojni naponi			
				ploče [%]		grede [%]	
		ploče (B5)	grede (C1)	membr.	savoj.	membr.	savoj.
R	0,93	19,2	13,7	48,7	51,3	44	56
S	0,85	15,7	13,3	51,9	48,1	45,4	54,6
T	0,87	18,0	13,3	53,6	43,4	43,4	53,7



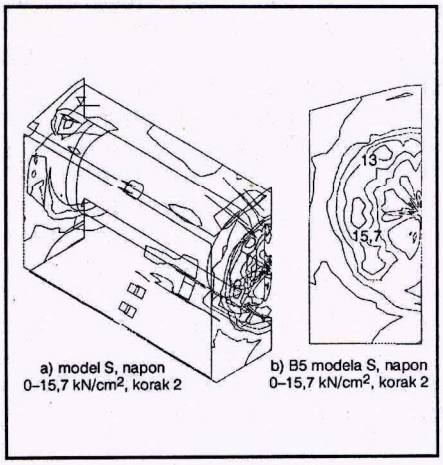
Slika 7. Deformacije dimnih cevi modela: a) R; b) S; c) T

Tabela 4

Model	Maksimalni napon [kN/cm²]				
	A1	A2	A3	B1	B4
R	10	4,6	4	15	12,2
S	10	4,7	6,7	13,5	12
T	10,5	3,9	3,9	9	11,5



Slika 8. Naponsko polje podstrukture B5 modela: a) MK-1500VP; b) R; c) T



Slika 9. Naponsko polje modela S

Orebravanjem zadnjeg danca smanjuje se vrednost maksimalnog napona u njemu u odnosu na neorebreno zadnje dance iste debljine (model O).

Maksimalna vrednost napona u dimnim cevima skoro je ista za modele R, S i T i dosta niža od napona u dimnim cevima modela O.

4.3. Raspodela membranskih i savojnih napona

Procentualno učešće membranskih i savojnih napona za pločaste i gredne elemente prikazano je uporedo za sva tri modela u tabeli 3.

Tabela 5

Podstrukture	Raspodela napona [%]					
	Model R		Model S		Model T	
	membrana	savijanje	membrana	savijanje	membrana	savijanje
A1, A2	14,9	6,3	15,9	6,7	16,5	6,9
A3	0	0,1	0	0,1	0	0,1
B1÷B4	21,4	16,3	22,5	16,6	23	16,7
B5, B6	7,6	23,7	8,3	19,8	8,6	17,8
C1÷C3	4,3	5,4	4,6	5,5	4,8	5,6

Raspodela membranskih i savojnih napona po podstrukturama modela R, S i T prikazana je u tabeli 5. U zadnjem dancu sva tri modela preovlađuju savojni naponi, i to najviše za model R, a najmanje za model T. Podstruktura A3 ima samo savojne napone. U ostalim podstrukturama ploča preovlađuju membranski naponi. U odnosu na model O, učešće savojnih prema membranskim naponima znatno se smanjilo u pločama zadnjeg danca.

5. Zaključak

Zadnje dance kotla ima najveći uticaj na ponašanje konstrukcije, što se ogleda kroz pojavu maksimalnih napona u konstrukciji baš u ovom elementu i u velikoj meri prisutno savijanje. Krutost zadnjeg danca u cilju smanjenja deformacije i napona može se povećati povećanjem njegove debljine ili orebravanjem.

Termomehaničkom analizom kotla tipa MK-1500VP ustanovljeno je da maksimalni napon u konstrukciji iznosi 21,9 kN/cm^2 i da se on javlja u zadnjem dancu [4]. Ukrućenja na njemu nisu dobro postavljena. Izonaponske linije zadnjeg danca modela O, P i Q u oblasti kružne ploče ograničene dimnim cevima imaju oblik koncentričnih krugova i najveće vrednosti napona pojavljuju se u centru tih krugova. Iz toga se zaključuje da orebravanje danca treba izvršiti radijalno postavljenim rebrima, što je i učinjeno na modelima R, S i T. Nosač plamene cevi ima samo savojne napone, pa bi i ovo trebalo promeniti nekim konstrukcionim izmenama [2].

Donji napon tečenja na proračunskoj temperaturi zadnjeg danca iznosi 21 kN/cm^2, pa model S sa maksimalnim naponom u konstrukciji od 15,7 kN/cm^2 predstavlja prihvatljivo tehničko rešenje.

Literatura

[1] **Maneski, T.:** *Kompjutersko modeliranje i proračun struktura,* Mašinski fakultet, Beograd, 1998.

[2] **Gaćeša, B.:** *Termomehanička analiza kotlovske konstrukcije numeričkim postupkom,* magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.

[3] ***: *Tehnička dokumentacija parnog kotla tipa MK-1500VP,* Minel Kotlogradnja, Beograd, 1999.

[4] **Gaćeša, B.:** *Termomehanička analiza ponašanja parnog kotla tipa MK-1500VP numeričkim postupkom,* Procesna tehnika, Vol. 17, broj 1, Beograd, 2001, str. 128–130.