

# ANALIZA NAPONSKO-DEFORMACIONOG STANJA I REKONSTRUKCIJA KORENOG DELA ČELIČNOG DIMNJAKA

*Slobodan Stupar, dipl. inž.  
Mašinski fakultet, Beograd*

*Aleksandar Simonović, dipl. inž.  
Mašinski fakultet, Beograd*

*Ognjen Peković, dipl. inž.  
Mašinski fakultet, Beograd*

*Dragan Komarov, dipl. inž.  
Mašinski fakultet, Beograd*

*Marija Stanojević, dipl. inž.  
Mašinski fakultet, Beograd*

*U radu je opisana metodologija sanacije korenog dela dimnjaka pomoćne kotlarnice u Termoelektrani „Nikola Tesla B“. Prikazana je metodologija sanacije od definisanja zadatka sanacije, odnosno utvrđivanja delova konstrukcije koje je trebalo zameniti, preko naponsko – deformacionih analiza i izbora optimalnog konstruktivnog rešenja do izvedene konstrukcije. Sanacijom su maksimalni naponi u konstrukciji smanjeni 4 puta, dok je frekvencija prvog sopstvenog oblika oscilovanja neznatno povećana.*

*Ključne reči: Industrijski dimnjaci, sanacija čeličnih konstrukcija, naponsko – deformaciona analiza, 3D modeliranje*

## STRESS AND STRAIN ANALYSIS AND RECONSTRUCTION OF ROOT SECTION OF STEEL CHIMNEY

*Auxiliary boiler room chimney in Thermopower plant “Nikola Tesla B” root section reconstruction is described in this paper. Reconstruction methodology is described from initial, reconstruction task, in regard to identify parts that needed to be replaced, stress and strain analysis and optimal construction solution selection, to final on site construction. By reconstruction maximal stresses are reduced four times, while first mod of oscilation was insignificant increased.*

*Keywords: Industrial chimneys, steel construction overhaul, stress analysis, 3D modeling*

### UVOD

Čelični dimnjak, visine 60m i prečnika 3.3m, koji se nalazi u krugu TENT "B" i koji je priključen na pomoćnu kotlarnicu elektrane je

u eksploataciji skoro 30 godina. U korenom delu dimnjaka postoje tri otvora za dimovodne kanale. Usled dugotrajnog korišćenja, neadekvatnog održavanja i lošeg konstruktivnog rešenja došlo je do pojave prskotina na plaštu dimnjaka u zonama otvora za dimovodne kanale. Vizuelnim pregledom ustanovljena je pojava tri prsline koje su inicirane u gornjim uglovima otvora za dimo-

vodne kanale. Naknadnim vizuelnim pregledima primećeno je širenje prslina po obodu plašta dimnjaka i konstatovana je neophodnost hitne sanacije. Nakon peskarenja plašta dimnjaka utvrđena je pojava prslina i na svim ostalim gornjim uglovima dimovodnih kanala



*Slika 1. Prslina na otvoru dimovodnog kanala sa leve strane u odnosu na penjalice (na desnoj strani otvora)*

Dužina najveće prsline iznosila je preko 65 cm. Pojava prslina na svim gornjim uglovima otvora dimovodnih kanala jasno ukazuje na postojanje značajne koncentracije napona u zonama gde je došlo do pojave prslina, odnosno na loše konstrukciono rešenje i izvedeno stanje dimnjaka.



*Slika 2. Prslina na otvoru dimovodnog kanala sa desne strane u odnosu na penjalice (na levoj strani otvora)*



*Slike 3 i 4. Inicijalne prsline na otvorima dimovodnih kanala otkrivene nakon peskarenja plašta dimnjaka*

Klimatski i eksploatacioni uslovi (vetar, ekstremne temperature itd.) značajno utiču na naprezanje konstrukcije. Usled stohastičkog karaktera ovih opterećenja dolazi do pojave zamora i nastajanja naprslina na zidu dimnjaka. Pored toga, na pojavu naprslina utiču i drugi mehanički faktori kao što su zaostali naponi, neodgovarajuća konstruktivna rešenja i greške pri montaži.

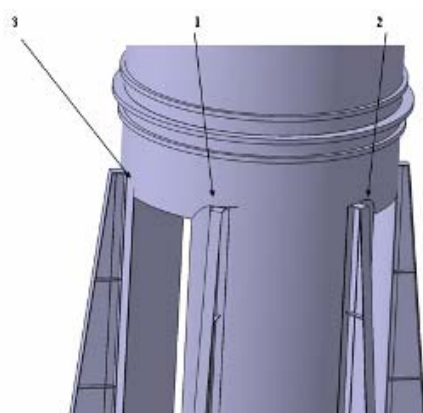
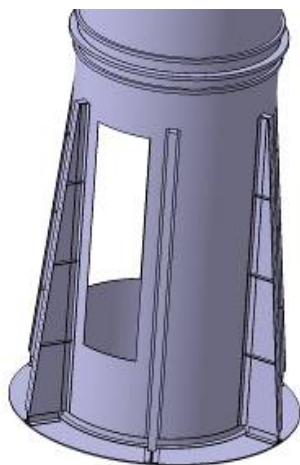
## **METODOLOGIJA SANACIJE**

Na osnovu ranije izvršenog ispitivanja i pregleda konstrukcije dimnjaka izvršen je proračun opterećenja, deformacija (pomeraja), sopstvene frekvencije i elastične stabilnosti konstrukcije za standardom propisane slučajeve opterećenja. Projektom sanacije bila je predviđena izrada analize naponsko-deformacionog stanja postojeće konstrukcije metodom konačnih elemenata (MKE) kako bi se otkrile zone sa povećanom koncentracijom napona, a zatim izrada tehnologije sanacije i naponsko-deformaciona/6/ analiza sanirane konstrukcije. U okviru analize je izvršeno razmatranje uticaja položaja otvora dimovodnih kanala na faktor koncentracije napona.

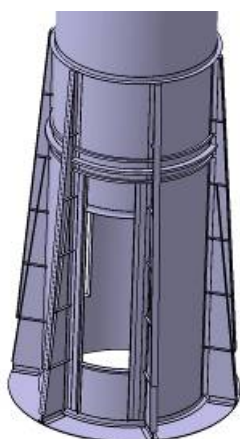
### **Modeliranje**

Za potrebe sanacije izrađena su tri „solid“ modela i to :

- postojeće konstrukcije bez prslina,
- postojeće konstrukcije sa prslinama,
- 3D model sanirane konstrukcije.



Slika 5. Model korenog dela postojeće noseće strukture dimnjaka bez prslina i model sa simuliranim prslinama



Slika 6. Model korenog dela sanirane noseće strukture dimnjaka

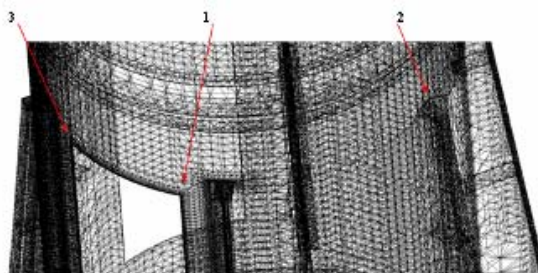
Da bi se formirao konačnoelementni model noseće strukture potpuno realne (izvedene) geometrijske forme, bilo je neophodno da se na osnovu merenja (zbog nedostatka projektno dokumentacije) elemenata ojačanja i na osnovu ultrazvučnog merenja debljine limova spoljašnjeg plašta – modeliraju svi konstrukti-

vni detalji nosećeg dela konstrukcije u trodimenzionalnoj formi.

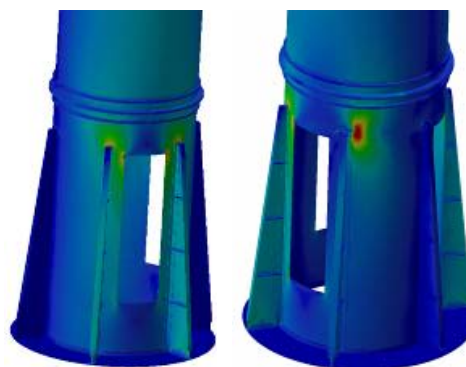
### **Analiza naponsko – deformacionog stanja**

Formirani trodimenzionalni modeli – CAD modeli noseće strukture dimnjaka predstavljaju kontinuum za formiranje konačnoelementnog modela. Celokupni kontinuum je diskretizovan konačnim elementima tipa tetraedra, različitih dimenzija. Konačnoelementni modeli sastoje se od:

- 3D model postojeće konstrukcije bez prslina - 174948 čvorova
- 3D model postojeće konstrukcije sa prslinama -176109 čvorova
- 3D model sanirane konstrukcije - 231584 čvorova



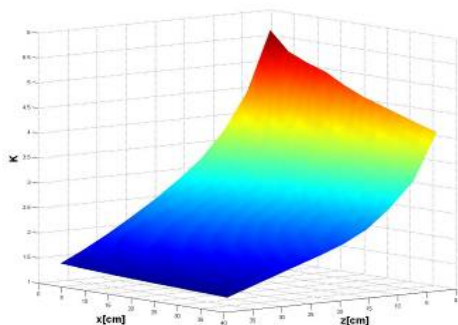
Slika 7. Konačnoelementni model korenog dela noseće strukture dimnjaka



Slika 8. Rezultati MKE postojeće noseće strukture dimnjaka bez prslina i sa simuliranim prslinama

Rezultati proračuna ukazali su na veliki faktor koncentracije napona na uglovima otvora pri simuliranom opterećenju od sopstvene težine i sile vetra što se jasno vidi na slici 8. Na istoj slici je vidljiv uticaj prslina na naponsko stanje strukture. Velika koncentracija napona pri vrhu otvora dimovodnih kanala uzrokuje ubrzano širenje iniciranih prslina. Stoga je u okviru analize raspodele napona izvršeno 1600 različitih pozicioniranja otvora u cilju određivanja optimalnog položaja u odnosu na vertikalna ojačanja. Napon na navedenim

lokacijama zavisio je od rastojanja otvora od ivica vertikalnih elemenata ukrućenja (koordinate  $z$  i  $x$  na slici 9), i to tako da je opadao sa udaljavanjem od njih. Faktor koncentracije napona prikazan na slici 9. je zadat u odnosu na naponsko stanje strukture kod koje nema otvora.

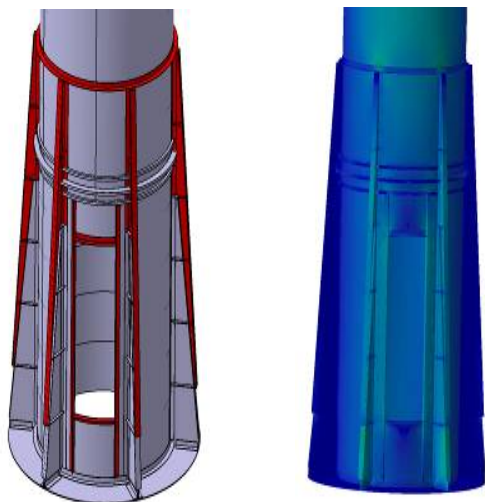


Slika 9. Faktor koncentracije napona u zavisnosti od vertikalnog i bočnog udaljenja otvora

### Rekonstruisani model

Na osnovu izvršene analize izrađen je projekat sanacije korenog dela dimnjaka. Sanacijom je predviđeno ukrućenje ivica otvora po obodu otvora kao i izmeštanje zona koncentracije dalje od otvora dimovodnih kanala. Na slici 10. prikazan je trodimenzionalni model sanirane strukture, rezultati analize i izvedena sanirana struktura.

Sanacijom su maksimalni naponi u konstrukciji smanjeni 4 puta, dok je frekvencija prvog sopstvenog oblika oscilovanja neznatno povećana.



Slika 10. Sanirana struktura dimnjaka

### ZAKLJUČAK

Otvori za dimovodne kanale na spoljašnjim plaštovima su posebno osetljivi na pojavu koncentracije napona, te i na stvaranje prskotina. Mnoga konstruktivna rešenja izvedenih konstrukcija čeličnih dimnjaka, izradjena bez preduzetih mera eliminisanja koncentracije napona, uzrok su nastajanja prskotina i ugrožavanja integriteta konstrukcije. Stoga je, prilikom projektovanja detalja ovakvih konstrukcija, potrebno izvršiti posebno i analizu lokalne raspodele napona.

Prednosti projektovanja savremenim, kompjuterski orijentisanim metodama su višestruke, pre svega moguće je steći precizniji uvid u naponsko stanje strukture, proveriti veliki broj predloženih varijantnih rešenja i usvojiti ona sa najboljim karakteristikama. Proces projektovanja i reprojektovanja traje znatno kraće zbog mogućnosti integrisanja softvera za analizu čvrstoće konstrukcije i izrade tehničke dokumentacije direktno iz istog trodimenzionalnog modela.

### LITERATURA

- /1/ Izveštaj o stanju dimnjaka pomoćne kotlarnice TENT B, MF, 2006, S.Stupar i dr.
- /2/ Chemical Engineers Handbook, Perry, R.H., McGraw-Hill, New York, 1997
- /3/ BS 4076 Specifications for steel chimneys
- /4/ "CICIND" standard Internacionalnog komiteta za industrijske dimnjake
- /5/ Applied Finite Element Analysis, Larry J. Segerlind, John Wiley and sons Inc, 1984
- /6/ Pregled i analiza naponsko-deformacionih stanja čeličnih dimnjaka, časopis istraživanja i projektovanja za privredu , broj 17, S: Stupar. strana 39.