

ISSN br. 0354-8651



LIST SAVEZA ENERGETIČARA
Broj 1-2 / Godina XIV / Mart 2012.
UDC 620.9

energija

■ ekonomija ■ ekologija

ENERGETIKA 2012

ENERGETIKA 2012

Zlatibor, 27.03. – 30.03.2012.

28. međunarodno savetovanje

u organizaciji Saveza energetičara



pod pokroviteljstvom

Ministarstva infrastrukture i energetike,
Ministarstva prosvete i nauke,
Ministarstva životne sredine, rudarstva i prostornog
planiranja, Ministarstva ekonomije i regionalnog
razvoja, PKS, JP EPS, NIS a.d. Novi Sad, JP EMS,
JP Srbijagas

ZLATNI SPONZOR

HITACHI Power Europe GmbH

DOOSAN Power Systems

SREBRNI SPONZOR

CMEC

China Machinery Engineering Corporation

PD TE-KO KOSTOLAC

BRONZANI SPONZOR

PD RB Kolubara

DONATOR

ELEKTROISTOK-IZGRADNJA

FAAS

SPONZOR SVEČANOG OTVARANJA

Konzorcijum za konsalting i inženjering u energetici

SAVETOVANJE SU POMOGLI

PD TE „Nikola Tesla“ d.o.o.;

PD HE „Đerdap“ d.o.o.



energija

ekonomija

ekologija

energija



Energija/Ekonomija/Ekologija

Broj 1-2, mart 2012.

Osnivač i izdavač
Savez energetičara

Predsednik SE
Prof. dr Nikola Rajaković

Sekretar SE
Nada Negovanović

Glavni i odgovorni urednik
Prof. dr Nenad Đajić

Adresa redakcije
Savez energetičara
11000 Beograd
Knez Mihailova 33
tel. 011/2183-315
faks 011/2639-368

E-mail: savezenergeticara@EUnet.rs
www.savezenergeticara.org.rs

Kompjuterski prelom EKOMARK
Nebojša Đurđić
Dragoslav Ješić

Štampa
„Akademska izdanja“, Beograd

Godišnja pretplata
- 8.000,00 dinara
- za inostranstvo 16.000,00 dinara

Tekući račun SE
broj 355-1006850-61

ekonomija ■ ekologija

IZDAVAČKI SAVET

Milutin Mrkonjić, ministar za infrastrukturu i energetiku
Oliver Dulić, ministar životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja
Žarko Obradović, ministar prosvete i nauke
Nebojša Čirić, ministar ekonomije i regionalnog razvoja
Prof. dr Mirko Komatina, Ministarstvo za prosvetu i nauku
Prof. dr Ivica Radović, državni sekretar
Dušan Mrakić, državni sekretar
Dr Kiril Kravčenko, gen.dir. NIS a.d.
Dragomir Marković, gen.dir. JP EPS
Miloš Bugarin, predsednik PKS
Jakovljević Vadim Vladislavovič, predsednik UO NIS a.d.
Aca Marković, predsednik UO JP EPS
Ljubo Mačić, direktor Agencije za energetiku Srbije
Dr Miloš Milanković, gen.dir. JP Elektromreža Srbije
Dušan Bajatović, gen.dir. JP Srbijagas
Srđan Mihajlović, gen.dir. JP Transnafta
Goran Bojić, gen.dir. JP PEU
Dr Tomislav Simović, gen.dir. Montinvest AD
Vlada Milovanović, gen.dir. Energoprojekta
Zoran Predić, gen.dir. JKP Beogradske elektrane;
Dr Bratislav Čeperković, predsednik UO JP Transnafta;
Stevan Milićević, direktor EDB d.o.o.
Petar Knežević, direktor TENT, d.o.o.
Dragan Stanković, direktor HE „Derdap“, d.o.o.
Mijodrag Čitaković, direktor Drinsko-Limske HE d.o.o.
Dragan Jovanović, direktor TE-KO Kostolac
Milan Lončarević, NIS Naftagas
Miroslav Malobabić, dir JP Srbijagas
Slobodan Mihajlović, direktor Elektrosrbija, d.o.o.
Nebojša Čeran, direktor RB Kolubara d.o.o.
Tihomir Simić, direktor Elektrovojvodina, d.o.o.
Miloš Saramandić, direktor Panonske TE-TO d.o.o.
Vladimir Jelić, direktor JKP Novosadska toplana
Dragan Milentijević, direktor Jugoistok, d.o.o.
Gvozden Ilić, direktor ED Centar, d.o.o.
Dr Svetislav Bulatović, direktor EFT Group
Dr Nenad Popović, ABS Holding
Milorad Marković, predsednik HK Minel
Dr Dragan Kovačević, gen.dir. EI Nikola Tesla
Dr Vladan Batanović, gen.dir. Institut „Mihajlo Pupin“

Prof. dr Miloš Nedeljković, Mašinski fakultet u Beogradu
Dr Zlatko Rakočević, gen.dir. Instituta „Vinča“
Prof. dr Miodrag Popović, dekan ETF Beograd;
Slobodan Babić, Rudnap Group
Prof. dr Miloš Gvozdenac, Tehnički Fakultet Novi Sad
Prof. dr Milun Babić, Mašinski fakultet u Kragujevcu
Dr Vladimir Živanović, SE

REDAKcioni ODBOR

Slobodan Petrović, sekretar Odbora za energetiku PKS
Prof. dr Ozren Očić
Prof. dr Petar Đukić, TMF
Dragan Nedeljković, novinar
Dr Vojislav Vuletić, gen.sek. Udruženje za gas
Radiša Kostić, direktor Elektroistok izgradnja
Savo Mitrović, direktor Sever Subotica
Dr Branislava Lepotić, dir. JP Transnafta
Milan Miroslavljević, dir.za odnos s javnošću EPS
Jelica Putniković, novinar
Mile Danilović, dir. Termoelektro Enel
Prof. dr Vojin Čokorilo, RGF
Krstajić Sekula, novinar
Roman Mulić, SE
Rade Borojević, Privredna komora Beograda
Nikola Petrović, dir. ENERGETIKA d.o.o.

	Dragan Komarov1, Slobodan Stupar1, Aleksandar Simonović1, Nebojša Petrović1, Jelena Svorcan	
	Numerička simulacija strujanja unutar korenog dela industrijskog dimnjaka sa više dimovodnih kanala	128
7	Slobodan Stupar1, Aleksandar Simonović1, Ognjen Peković1, Srđan Trivković, Nikola Petrašinović	
	Analiza pojave prslina u korenom delu industrijskog čeličnog dimnjaka	133
11	Gordan Rajković, Stojan Ilić, Zoran Ristanović, Miloš Aleksić	
	Uticaj savremenih zaštitnih sistema na pouzdanost elektroenergetskih postrojenja termoelektrane	138
18	Davor Končalović, dipl. inž., prof. dr Milun Babić, dipl. inž., prof. dr Dušan Gordić, dipl. inž., Dubravka Jelić, dipl. inž., Goran Bošković, dipl. inž., Vladimir Vukašinović, dipl. inž.	
27	Parnoturbinske tehnologije u kogeneracionim postupcima	142
35	Prof. dr Ivan Pešenjanski, mr Borivoj Stepanov, mr Biljana Miljković	
38	Kosagorevanje više vrsta ugljeva kao metod poboljšanja energetskih performansi kotlovskih postrojenja	148
41	ZoranPredić, Slađan Gašić, Đorđe Radojević, Vojkan Bošković	
47	Monitoring specijalnih mehaničkih merenja u termoelektranama Kostolac	154
52	Vitomir Kravarušić	
61	Uloga kogeneracije i energetske efikasnosti pri izboru tehnologije termoenergetskog postrojenja	158
67	Dr S. Curcic, Mr S. Milunovic, S. Stjepanovic	
75	Logistic information system for cogeneration plants in the Serbia	167
80	Vl. Vukašinović, M. Babić, D. Gordić, D. Jelić, D. Končalović,	
87	Korišćenje biomase u malim kogeneracionim postrojenjima - potencijal i tehnologije	170
94	S. Ćurčić, S. Milunović	
100	Logistic support for cogeneration plants with resources of communal systems	176
	Dr V. Šušteršič, M. Plavšić, dr M. Babić, dr D. Gordić	
	Kogeneracija u sistemu za tretman otpadnih voda	180
	G. Klasnić, B. Papić, S. Bezmarević, I. Vukosavljević, A. Stević, B. Kuzminac	
	Modernizacija sistema merenja, upravljanja i regulacije postrojenja toplifikacije Obrenovca u TE "Nikola Tesla A"	184
	S. Milić	
	Analiza režima rada hidroelektrana	188
	A. Sida Manea, M. Barglazan	
	Present in Romanian small power hydroenergy	194
	M. Arsić, S. Bošnjak, Z. Odanović, M. Mladenović, N. Milovanović	
	Analiza stanja gornjeg prstena usmernog aparata radnog kola turbine agregata A6 na hidroelektrani Đerdap	197
	K. Horvat, V. Bakarić, V. Koroman, O. Kuljača	
	Moderni sustav upravljanja vodnom turbinom	203
	Z. Eškinja, mr. sc. I. Mišković, dr. sc. K. Horvat	
	Registrator prijelaznih pojava u sustavu turbinske regulacije	209
	L. Stipišić, M. Kurtela	
	Modernisation of dam spillway gate system by usage of proportional technology	214
	Dr Saša Milić, Dejan Misović, Miša Kožićić, Dr Radeta Marić, Dejan Cvetković	
	Sistem daljinskog nadzora zauzetosti zone vrata brodske prevodnice	221
	M. Arsić, B. Vistać, Z. Savić, Ž. Šarkočević, Z. Anđelković	
	Analiza uzroka oštećenja i reparacija kućišta sinhronog ventila agregata A1 na hidroelektrani Pirot	227
	Đ. Novković, N. Maričić, M. Jevtić	
	Simulacija strujanja u propelernoj turbini primenom računarske mehanike fluida	233
	N. Maričić, Đ. Novković, Đ. Marković, N. Arsić, Lj. Anđelković	
	Predlog obnavljanja mini hidroelektrane na Čečevskoj reci	240
	B. Grbović, S. Bekčić, B. Tasovac, M. Grbović	
	Transformacija objekata flotacijskog jalovišta za korišćenje u sistemu reverzibilne hidroelektrane na reci Veliki Pek	247

Slobodan Stupar¹, Aleksandar Simonović¹, Ognjen Peković¹, Srđan Trivković¹, Nikola Petrašinović¹
 1. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, Beograd

UDC: 621.181.124:621.43.068

Analiza pojave prslina u korenom delu industrijskog čeličnog dimnjaka

ANALYSIS OF CRACK OCCURRENCES IN THE ROOT SECTION OF INDUSTRIAL STEEL CHIMNEY

U ovom radu analizirani su uzroci nastanka prslina na jednoplašnom čeličnom industrijskom dimnjaku sa čeličnim zategama visine 53,25m. Različiti fenomeni koji su posledica konstruktivnog rešenja korenog dela dimnjaka, načina oslanjanja kao i mehaničkih, termičkih i hemijskih opterećenja kojima je dimnjak izložen uticali su na pojavu prslina na plaštu dimnjaka. Numeričkom analizom mehaničkih opterećenja dimnjaka metodom konačnih elemenata identifikovani su najznačajniji uzroci nastanka prslina i locirane su zone inicijacije prslina. Na osnovu izvršenih analiza izvedena je rekonstrukciju korenog dela dimnjaka u cilju smanjenja opterećenja plašta dimnjaka i sprečavanja nastanka prslina.

This paper analyzes the causes of crack occurrences in the 53,25m tall, single wall, guyed industrial steel stack. The various phenomena that are consequences of chimney's root section geometry, chimney supports as well as mechanical, thermal and chemical stresses that the chimney is exposed to, caused the occurrence of cracks in the chimney wall. Numerical analysis of mechanical loads, by finite element method identified the most significant causes of cracks and revealed the crack initiation zones. Based on the analysis results a chimney root section reconstruction was performed in order to reduce the stresses in the chimney wall and prevent crack occurrence.

1. UVOD

Industrijski čelični dimnjaci su konstrukcije koje se prave prema potrebama naručioca i zahteva procesa u kome učestvuju, te su stoga geometrija i materijal izrade čeličnog dimnjaka prilagođeni specifičnim uslovima eksploatacije. Projektovanje, izrada i korišćenje čeličnih industrijskih dimnjaka definisana je internacionalnim standardima EUROCODE 3 EN 1993-3-2 [1] u Evropskoj uniji (ovaj standard zamenio je Britanski standard BS 4076 [2] i Nemački standard DIN 4133), ASME STS-1 [3] u Sjedinjenim Američkim Državama, IS6533 u Indiji [4], CICIND Model code for Steel Chimneys [5] kao preporuka međunarodnog komiteta za industrijske dimnjake idr.

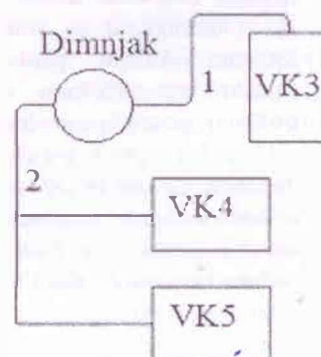
Pored mehaničkih opterećenja čelični industrijski dimnjaci su izloženi i temperaturnim i hemijskim štetnim dejstvima. Ova opterećenja mogu uzrokovati različita oštećenja dimnjaka i dovesti do havarije.

U praksi je čest slučaj da se na postojeći dimnjak naknado uključe dimnovodni kanali iz kotlova koji prvobitno nisu bili deo postrojenja. Ukoliko visina, prečnik i promaja (vuča) dimnjaka mogu da zadovolje funkcionalne i uslove zaštite životne sredine onda je korišćenje postojećeg dimnjaka ekonomski najisplativije. Problemi se mogu javiti ukoliko konstruktivno rešenje otvora nije adekvatno i ukoliko je temperatura gasova veća nego što je prvobitnim projektom dimnjaka predviđeno, što je slučaj sa predmetnim dimnjakom.

Vizelnim pregledom jednoplašnog dimnjaka uočena su brojna oštećenja na plaštu dimnjaka. U ovom radu analizirani su uzroci nastanka prslina na osnovu kojih je izvršena rekonstrukcija korenog dela dimnjaka.

2. GEOMETRIJA I EKSPLOATACIONI USLOVI DIMNJAKA

Razmatrani dimnjak preko dimnovodnih kanala 1 i 2 odvodi dimne gasove iz kotlova VK3, VK4 i VK5 ukupne snage 32MW (slika 1.). Dimnovodni kanal 2 naknado je uveden u dimnjak.



Konstruktivno dimnjak je izveden kao jednoplašni dimnjak sa zategama (slika 2.). Osnovne dimenzije dimnjaka date su u Tabeli 1.

Slika 1. Situacija

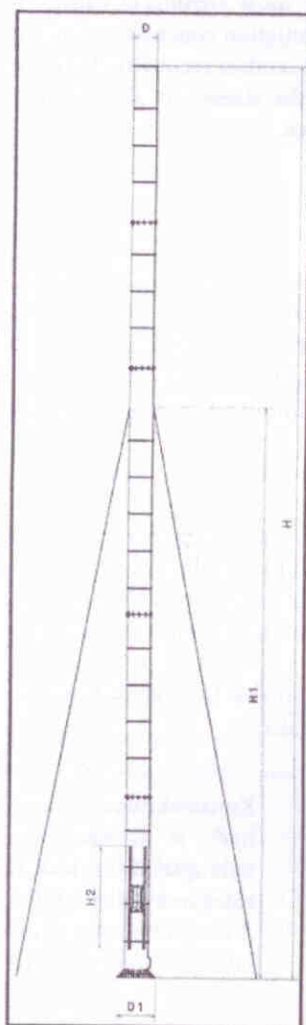
Tabela 1. Osnovne dimenzije dimnjaka

Visina (H)	532.50 mm
Prečnik plašta (D)	1400 mm
Projektivovana debljina plašta (δ_p)	8 mm
Izmerene debljine plašta (δ)	3.08 - 7.84 mm
Visina veze sa zategama (H_1)	332.00 mm
Visina vertikalnih ukrućenja (H_2)	6000 mm
Materijal S235JRG2	$R_{m1} = 235 \text{ MPa}$ $R_{m2} = 340 - 470 \text{ MPa}$

Dimnjak je fundiran na betonskoj temeljnoj ploči. Veza oslone čelične ploče dimnjaka sa tlom je ostvarena pomoću 8 ankera usidrenih u temeljnoj ploči.

Glavni noseći element strukture je plašt kružnog prečnog preseka koji ujedno služi i kao dimovodni kanal. Plašt je sastavljen od pet sekcija spojenih prirubničkim spojevima. Svaka sekcija napravljena je od zavarenih čeličnih ploča debljine 8mm.

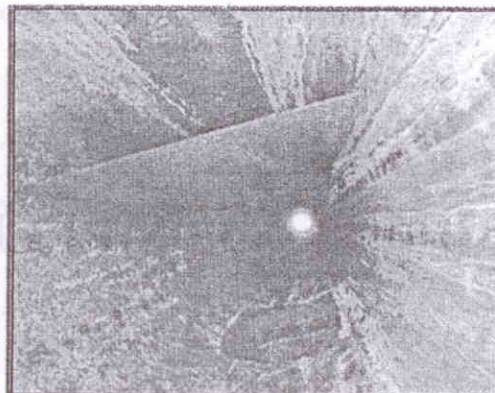
Konstrukcija plašta pri korenu je ojačana vertikalnim ukrućenjima duž vertikalnih ivica otvora dimovodnih kanala dok su u cilju sprečavanja lokalnih deformacija limova na svaka 2m ugrađena poprečna ukrućenja.



Slika 2. Osnovne dimenzije dimnjaka

Dimnjak je dodatno oslonjen pomoću tri čelične zatege (prečnika 32mm) postavljene pod međusobnim uglom od 120° . Zatege su na koti 33.2m vezane za plašt dimnjaka i sa horizontalnom ravni zaklapaju ugao od $\sim 66^\circ$. Zatege nemaju mehanizam za podešavanje sile zatezanja tako da pri nekim eksploatacionim uslovima zatege gube funkciju i ne pružaju dodatni oslonac dimnjaku, dok je u slučaju većeg termičkog zatezanja sila u zategama veća od standardima propisane. [6]

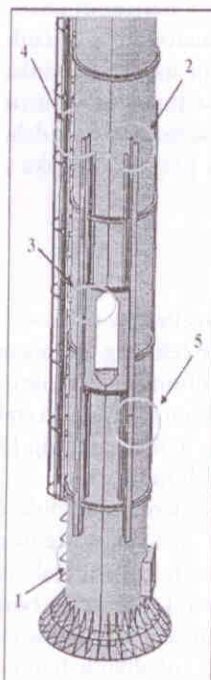
Dimovodni kanal 1 uvodi se u dimnjak kroz otvor dimenzija 1800x700mm na koti 3600mm. Dimovodni kanal 2 uvodi se u dimnjak kroz otvor dimenzija 1400x400mm na koti 3900mm. Unutar plašta između kote 2400mm i 6400mm postoji pregradni zid koji deli poprečni presek dimnjaka na dve oblasti u odnosu 1:3,5 gde je manja oblast u kontaktu sa dimovodnim kanalom 2 (slika 3).



Slika 3.

Penjalicama i platformom je omogućena vizuelna inspekcija i pristup vrhu dimnjaka dok je revizionim otvorom omogućen pristup unutrašnjosti dimnjaka.

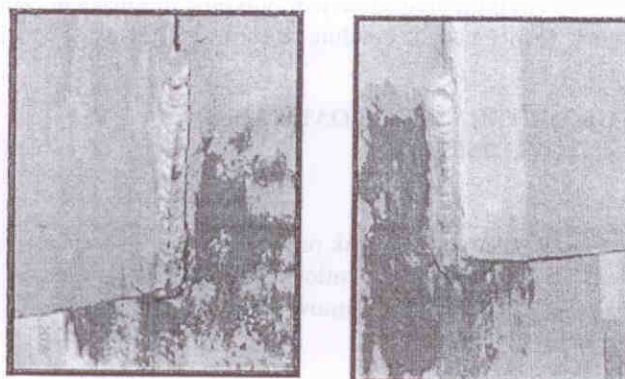
3. VIZUELNA INSPEKCIJA DIMNJAKA



Nakon detaljnih vizuelnih pregleda dimnjaka ustanovljeno je da na plaštu dimnjaka postoje četiri prslina a da se na desnom ukrućenju otvora za dimovodni kanal 2 nalazi jedna prslina (slika 4.). Sve prsline su se javile na strani dimnjaka na kojoj je otvor za dimovodni kanal 2.

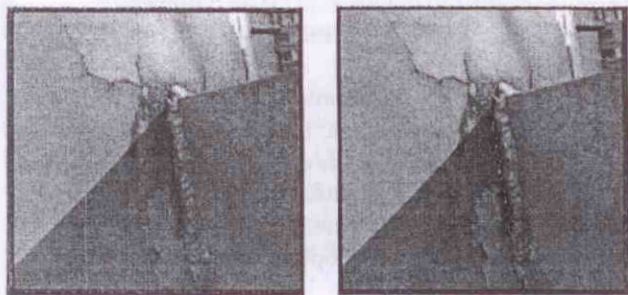
Prslina 1 je inicirana na zavarenom spoju donjeg kraja levog vertikalnog ukrućenja sa plaštm dimnjaka (slika 5.).

Slika 4. Oštećenja dimnjaka u korenom delu



Slika 5.

Prslina 2 je inicirana na gornjem kraju desnog vertikalnog ukrućenja dimnjaka (slika 6.).



Slika 6.

Prslina 3 je inicirana na mestu gornjeg levog ugla otvora za dimovodni kanal 2. Prslina se širi duž gornje leve ivice dimovodnog kanala i po obodu plašta dimnjaka. Na plaštu dimnjaka prslina se širi naniže po zavarenom spoju i po obodu dimnjaka završavajući se kod levog vertikalnog ukrućenja. Duž oboda dimnjaka dužina prsline iznosi 12cm dok je duž dimovodnog kanala dužina prsline 5cm (slika 7.).



Slika 7.

Prslina 4 je inicirana na zavarenom spoju gornjeg kraja levog vertikalnog ukrućenja (slika 8).



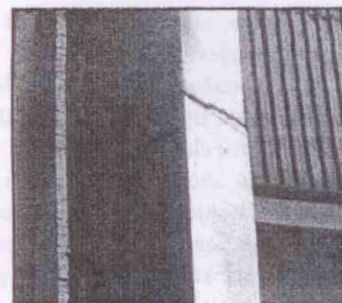
Slika 8.

Prslina 5 nalazi se na desnom vertikalnom ukrućenju otvora za dimovodni kanal 2. Desno rebro sastoji se od dva segmenta koja su spojena zavarenim spojem. Prslina je inicirana na mestu zavarenog spoja na koti 3400mm i pruža se duž celog pojasa (100mm) i zida (210mm) ukrućenja tako da strukturu ukrućenja razdvaja na dva dela (slika 9.).

4. OPTEREĆENJA DIMNJAKA

Na dimnjake koji su izloženi atmosferskom uticaju deluje širok spektar mehaničkih opterećenja koji uključuje dejstvo vetra, gravitacije i seizmičkih opterećenja kao i uticaj težine tereta na platformama ili drugde po spoljašnjoj površini dimnjaka (antene mobilnih operatera, merna oprema isl.). Opterećenje od dejstva vetra jedan je od najčešćih uzroka havarije dimnjaka [7] pa je njihovoj analizi posvećena velika pažnja pri projektovanju dimnjaka.

Kod predmetnog dimnjaka deo spoljašnjih opterećenja nosi plašt dimnjaka a deo zatege pod tenzijom. Kako pri određenim radnim i atmosferskim uslovima zatege ne pružaju oslonac dimnjaku dolazi do pomeranja dimnjaka i pojave visokih napona u korenom delu strukture.



Slika 9.

Uporedno sa mehaničkim opterećenjima dimnjak je izložen dejstvu temperaturnih i hemijskih opterećenja izazvanih produktima sagorevanja i atmosferskom vlagom.

Temperaturnim opterećenjima dimnjaka posvećena je posebna pažnja u literaturi. Ukoliko je plašt dimnjaka izložen visokim temperaturama (preko 480°C) potrebno je koristiti legirane čelike otporne na visoke temperature. Takođe prilikom proračuna debljine plašta dimnjaka u slučaju povišenih temperatura plašta potrebno je izvršiti korekciju maksimalnog dozvoljenog napona materijala kako bi se uzeo u obzir uticaj temperature. Sprečene temperaturne dilatacije termički opterećenih delova dimnjaka dovode do pojave veoma visokih naponskih stanja pa je pri projektovanju dimnjaka neophodno ovome posvetiti posebnu pažnju.

Temperature gasova produkata sagorevanja u dimovodnim kanalima 1 i 2 se razlikuju u znatnoj meri pri čemu su generalno temperature gasova u dimovodnom kanalu 2 više. Ovo uzrokuje dodatna temperaturna opterećenja dimnjaka.

Jedinjenja sumpora, hlora i fluora, koja su sastavni deo produkata sagorevanja fosilnih goriva, u reakciji sa kondenzovanim vodenom parom dovode do pojave kiselina na plaštu dimnjaka i nastanka i širenja korozije. U cilju sprečavanja pojave korozije potrebno je obezbediti da minimalna temperatura plašta dimnjaka bude iznad tačke rose dimnih gasova kako bi se sprečila pojava kiselih kondenzata na zidu dimnjaka. Kako je u predmetnom dimnjaku temperatura dimnih gasova izrazito visoka, kondenzacija na plaštu dimnjaka je malog obima pa i korozivna oštećenja na plaštu dimnjaka nisu značajna osim pri vrhu dimnjaka gde je izmereno najveće smanjenje debljine plašta dimnjaka.

5. ANALIZA NAPONSKO-DEFORMACIONOG STANJA DIMNJAKA I DISKUSIJA REZULTATA

Radi utvrđivanja raspodele napona u nosećoj strukturi dimnjaka izvršena je analiza metodom konačnih elemenata. Razmatrano opterećenje dimnjaka sastojalo se od sopstvene težine i statičkog dejstva vetra koje je modelovano prema internacionalnim standardima. Dimnjak je posmatran kao konzola, budući da zatege-dodatna ukrućenja

dimnjaka ne vrše svoju funkciju u određenim eksploatacionim slučajevima.

Konačno elementni model dimnjaka napravljen je od elemenata tipa tetraedra sa 10 čvorova. Modelovani su svi strukturni elementi dimnjaka.

Na slici 10. prikazano je naponsko stanje dobijeno analizom na mestu korenog dela konstrukcije sa strane na kojoj je došlo do pojave prslina. Primetno je da u korenom delu dimnjaka postoje zone sa značajnom koncentracijom napona. Sekcije dimnjaka iznad korenog dela imaju ravnomernu raspodelu napona.

Zone sa najvećom koncentracijom napona su zone završetaka vertikalnih ukrućenja kao i uglovi otvora za dimovodni kanal. U ostalim delovima korenog dela dimnjaka javljaju se znatno niži naponi nego u zonama kod kojih postoji koncentracija napona. Zone sa koncentracijom napona poklapaju se sa mestima pojave prslina. Prslina 5 nalazi se blizu donjeg levog ugla otvora dimovodnog kanala i na mestu njene inicijacije oseća se uticaj koncentracije napona. Povišeno stanje napona zajedno sa greškama u završenom spoju vertikalnog ukrućenja dovelo je do inicijacije i širenja ove prsline.

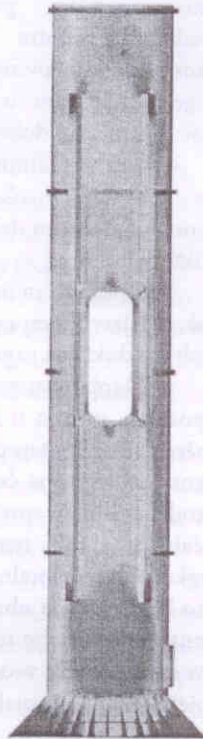
Razlika temperatura dimnih gasova u dimovodnim kanalima i pregradni zid dovode do nesimetrične raspodele temperature po plaštu dimnjaka i do nesimetričnog strujanja u korenom delu dimnjaka [8]. Naknadno uključivanje drugog dimovodnog kanala u strukturu dimnjaka izazvalo je promenu raspodele napona u plaštu dimnjaka. Takođe kroz naknadno ugrađeni dimovodni kanal u dimnjak ulaze gasovi visoke temperatura što uzrokuje povećane temperaturske dilatacije dimnjaka koje prvobitnim projektom nisu bile predviđene. Pregradna ploča dovela je do neravnomerne raspodele temperature po obimu dimnjaka pa je došlo do pojave asimetričnog termičkog opterećenja u plaštu dimnjaka.

Vizuelna inspekcija kao i rezultati analize metodom konačnih elemenata potvrdili su da je zamor u zonama sa visokom koncentracijom napona primarni uzrok pojave prslina. Na tom osnovu može se zaključiti sledeće:

- Nagli završetci elemenata za ukrućenje dovode do pojave visoke koncentracije napona
- Neadekvatna ojačanja oko otvora za dimovodne kanale takođe dovode do pojave visoke koncentracije napona i nepovoljne raspodele napona
- Usled visoke temperature dimnih gasova inicijacija i širenje prslina je ubrzano
- Mehaničke karakteristike plašta dimnjaka de-

gradirane su usled visoke radne temperature

- Nesimetrično zagrevanje plašta dimnjaka prouzrokovalo je dodatno opterećenje plašta dimnjaka
- Uticaj korozije na inicijaciju i širenje prslina je mali.
- Nepravilno funkcionisanje zatega dimnjaka ima veliki uticaj na pojavu prslina. Kada je dimnjak van funkcije, zatege su labave i ne sprečavaju pomeranje dimnjaka pa se dimnjak ponaša kao konzola. U zimskom periodu kada je dimnjak u radnom režimu, zatege su prenapregnute i izazivaju dodatna aksijalna opterećenja u strukturi dimnjaka.



Slika 10. Raspodela napona u korenom delu dimnjaka

6. ZAKLJUČAK

Geometrijski diskontinuiteti u plaštu dimnjaka koji su neophodni za funkcionisanje dimnjaka (otvori za dimovodne kanale, revizioni otvori isl.) dovode do pojave koncentracija napona u plaštu dimnjaka. Iako su u internacionalnim standardima date preporuke za ojačavanje otvora u praksi je čest slučaj da otvori dimovodnih kanala nisu adekvatno ojačani.

Kako bi se produžio radni vek dimnjaka i sprečio nastanak prslina neophodno je izvršiti analizu lokalne raspodele napona u korenom delu dimnjaka koji je najopterećeniji. Savremeni softverski alati omogućavaju ovakav vid analize.

U cilju smanjenja koncentracije napona i ostvarivanja ravnomernijeg naponskog stanja projektovani su elementi ukrućenja dimnjaka tako da se, u što je moguće većoj meri, izbegnu nagle promene geometrije i veliki koeficijenti koncentracije napona. Ojačanja dimnjaka povećavaju krutost celokupne konstrukcije čime se obezbeđuje produženje radnog veka i bezbednost dimnjaka a ne utiče se na funkcionisanje i održavanje dimnjaka.

Termička opterećenja dimnjaka mogu dovesti do povećanja napona u nosećoj strukturi dimnjaka pa je pri projektovanju neophodno obratiti pažnju da su delovi izloženi visokim temperaturama adekvatno oslonjeni kako temperaturne dilatacije ne bi dovele do pojave oštećenja.

U cilju postizanja ravnomernijeg termičkog opterećenja plašta dimnjaka pregradni zid unutar dimnjaka zamenjen je sklopom kružnog poprečnog preseka.

7. LITERATURA

1. BS EN 1993-3-2:2006. Eurocode 3 - design of steel structures - Part 3-2. Towers, masts and chimneys
2. BS 4076, Specification for Steel Chimneys, British Standards Institute, 1999
3. ASME STS-1-2006. The American Society Of Mechanical Engineers, 2006
4. IS 6533 Part 1&2, Design and Construction of Steel Chimney, Bureau of Indian Standards, New Delhi 2002

5. CICIND, The CICIND Chimney Book Industrial Chimneys of Concrete or Steel, Zurich, 2005
6. Stupar S. et al. Izveštaj o merenju sila u čeličnim užadima dimnjaka TO Zemun, Mašinski fakultet-Beograd, 2008
7. Popović O, Bogner M, Simonović A, Stupar S. O dimnjacima. ETA, ISBN 978-86-85361-31-9, Beograd 2011
8. Svorcan J, Komarov D, Stupar S. Preliminary CFD analysis of flow through redesigned root section of industrial chimney. III International Symposium-Contemporary Problems of Fluid Mechanics; Beograd 2011
9. Simonović A, Stupar S, Peković O. Stress distribution as a Cause of Industrial Steel Chimney Root Section Failure. FME Transactions 2008; 36(3): 119-125
10. Stupar S, Simonović A, Tanasković T, Komarov D, Stanojević M. Analiza naponsko-deformacionih stanja i rekonstrukcija korenog dela čeličnog dimnjaka. Istraživanja i projektovanja za privredu 2008; 6(21): 19-22
11. Stupar S, Simonović A, Peković O, Komarov D, Stanojević M. Pregled i analiza naponsko-deformacionih stanja čeličnih dimnjaka. Istraživanja i projektovanja za privredu 2007; 5(17): 39-44
12. Stupar S, Simonović A, Peković O, Komarov D. Uticaj konstruktivnog rešenja čeličnog dimnjaka na naponsko stanje oko dimnovodnih kanala. 33. JUPITER konferencija; Zlatibor 2007