

XL NAUČNO STRUČNI SKUP  
**ODRŽAVANJE MAŠINA I OPREME 2015**

Beograd - Budva, 18-26. jun 2015. godine



18-26. jun 2015.  
Beograd - Budva

**OMO**  
**2015**

Organizatori

ISBN 978-86-84231-39-2

Pokrovitelji



**iipp**

Srbija

**Dots**

**iipp**

Crna Gora



Ministarstvo prosvete,  
nauke i tehnološkog  
razvoja

Ministarstvo Privrede



*Editor: Prof. dr Branko Vasić*

*Izdavač: INSTITUT ZA ISTRAŽIVANJA I PROJEKTOVANJA U PRIVREDI*

*Za izdavača: Miloš Dimitrijević, dipl.inž.maš.*

*CD ROM izdanje - obrada i dizajn: iipp*

*Dizajn i obrada radova: iipp; Tiraž: 50 primeraka*

*Izrada CD ROM izdanja - NT Soft*

*ISBN 978-86-84231-39-2; COBISS.SR-ID 215839244*

**Organizatori**



*Institut za istraživanja i projektovanja u privredi*



*Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu*



*Društvo održavalaca tehničkih sistema*

**Pokrovitelji**



*Ministarstvo prosvete, nauke i  
tehnološkog razvoja*



*Privredna Komora Beograda*



*Ministarstvo Privrede*

## SMANJENJE TEMPERATURNOG OPTEREĆENJA JEDNOPLAŠNOG ČELIČNOG INDUSTRIJSKOG DIMNJAKA REDUCTION OF THE HEAT LOAD OF SINGLE WALL INDUSTRIAL STEEL CHIMNEY

*doc. dr Ognjen Peković, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd\**

*prof. dr Slobodan Stupar, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd*

*prof. dr Aleksandar Simonović, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd*

*doc. dr Jelena Svorcan, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16 11000 Beograd*

*Zorana Posteljnik, dipl.inž.maš, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd*

**Rezime:** Tokom eksploatacije industrijski čelični dimnjaci izloženi su dejstvu mehaničkih, temperaturnih i hemijskih opterećenja. Kod jednoplašnih dimnjaka plašt vrši ulogu i nosećeg elementa i dimovodnog kanala pa je istovremeno izložen dejstvu svih navedenih tipova opterećenja. Temperaturu plašta dimnjaka potrebno je održavati u optimalnom opsegu tako da ne dođe do prevelike kondenzacije produkata sagorevanja na unutrašnjoj površini plašta usled suviše niske temperature ili do pojave velikog temperaturnog opterećenja u slučaju veoma visoke temperature dimnih gasova. U ovom radu prikazana su oštećenja jednoplašnog dimnjaka nastala prekomernim temperaturnim opterećenjem kao i mere koje su preuzete u cilju sanacije postojećih oštećenja, redukcije temperaturnog opterećenja i produženja radnog veka dimnjaka.

**Ključne reči:** industrijski čelični dimnjaci, temperaturno opterećenje

**Summary (na sekundarnom jeziku):** During the exploitation, the industrial steel chimneys are exposed to the effects of mechanical, thermal and chemical loads. Single wall chimney shell in the same time serves as the load carrying structural element and the flue gas channel and is simultaneously exposed to the effect of all specified types of loads. The temperature of the chimney shell should be maintained in the optimal range so as to avoid excessive condensation of combustion products on the inner surface of the wall due to too low a temperature or the appearance of high temperature loads in the case of very high temperature of flue gases. This paper describes the damage to the chimney caused by excessive temperature load and presents the retrofit measures for the reduction of temperature load and extension of the chimney service life.

**Keywords (na sekundarnom jeziku):** industrial steel chimneys, thermal load

### UVOD

Industrijski dimnjaci koriste se za sprovođenje produkata sagorevanja i dimnih gasova iz ložišta u atmosferu. Danas je primarna funkcija industrijskih dimnjaka rasipanje produkata sagorevanja na što veću površinu u cilju zadovoljenja propisa o zaštiti životne okoline te su u tom cilju industrijski dimnjaci najčešće vertikalne cilindrične konstrukcije [1]. Podelu industrijskih dimnjaka moguće je izvršiti prema različitim kriterijumima kao što su vrsta materijala od kojih su izrađeni, način oslanjanja, broj dimovodnih kanala idr. Konstrukciono industrijski čelični (limeni) dimnjaci mogu biti jednoplašni, kada plašt dimnjaka vrši funkciju nosećeg strukturnog elementa i dimovodnog kanala, i dvoplašni kada unutrašnji plašt obavlja funkciju dimovodnog kanala a spoljašnji plašt funkciju nosećeg elementa.

Jednoplašni čelični industrijski dimnjaci ekonomski su najisplativiji ali je kod ovakvih konstrukcija plašt dimnjaka izložen istovremenom dejstvu mehaničkih, temperaturnih i hemijskih opterećenja što negativno utiče na radni vek dimnjaka.

Dimni gasovi koji se dimnjakom sprovode u atmosferu mogu biti veoma visokih temperatura, pa temperaturne dilatacije plašta dimnjaka mogu biti znatne. Ukoliko su dilatacije plašta dimnjaka na neki

---

\* Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd  
[opekovic@mas.bg.ac.rs](mailto:opekovic@mas.bg.ac.rs)

način sprečene (npr. dodatnim osloncima) u plaštu se mogu javiti visoki temperaturni naponi. Takođe, prema važećim standardima [2-4] temperatura čeličnih delova u dimnjacima ne sme prelaziti dozvoljene vrednosti zbog slabljenja mehaničkih svojstava materijala na povišenim temperaturama. Sa druge strane, u cilju produženja radnog veka dimnjaka potrebno je obezbediti da minimalna temperatura plašta dimnjaka bude iznad tačke rose dimnih gasova kako bi se sprečila pojava kiselih kondenzata na zidu dimnjaka i smanjila korozija.

U eksploataciji dimnjaka često se dešava da se na postojeći dimnjak naknadno priključe dimnovodni kanali iz drugih ložišta ukoliko vuča i visina dimnjaka zadovoljavaju funkcionalne i ekološke zahteve. U slučaju da je temperatura gasova veća nego što je prvobitnim projektom predviđeno mogu se pojaviti oštećenja na elementima dimnjaka koja će dovesti do smanjenja radnog veka konstrukcije.

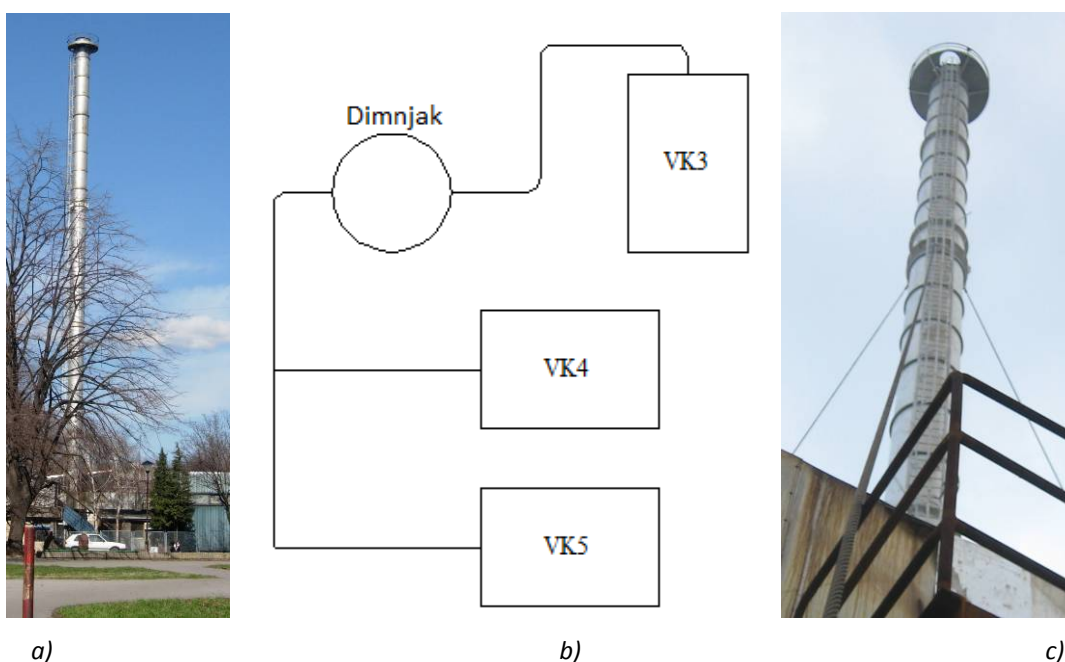
U ovom radu opisane su mere sanacije korenog dela jednoplašnog čeličnog industrijskog dimnjaka TO Zemun (slika 1a).

## **OPIS PROBLEMA**

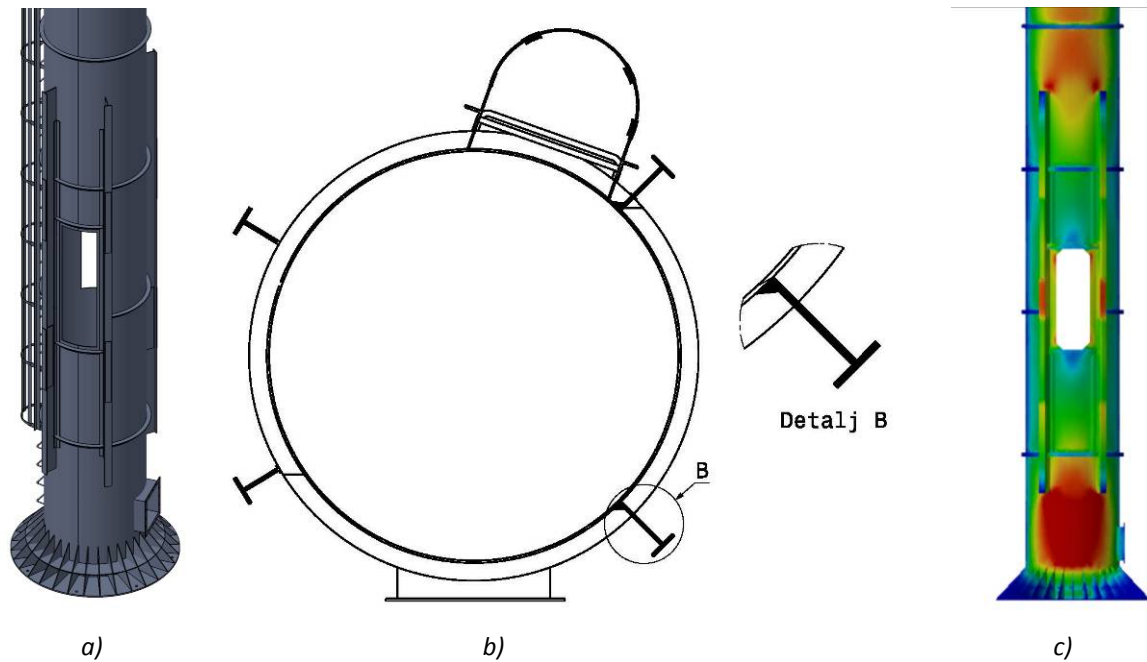
Jednoplašni čelični dimnjak u TO Zemun je visok 50m dok prečnik plašta iznosi 1400mm. Kroz dimnjak se sprovode produkti sagorevanja kotlova VK3, VK4 i VK5 (slika 1b). Tri čelična užeta prečnika 32mm preko veznog prstena na koti 33,2m služe kao dodatni oslonci dimnjaka (slika 1c).

Visoke temperature dimnih gasova iz kotla VK3 (preko 480°C u pojedinim radnim režimima kotlova) izazivaju velike temperaturne dilatacije dimnjaka. Budući da su dilatacije dimnjaka sprečene čeličnim užadima u strukturi plašta dolazi do pojave neželjenih temperaturnih opterećenja.

U cilju ograničenja pomeranja vrha dimnjaka pri dejstvu vetra u korenom delu dimnjaka dodaju se rebra i drugi elementi u cilju povećanja krutosti. Plašt predmetnog dimnjaka ojačan je vertikalnim ukrućenjima pri korenu u visini otvora za dimnovodne kanale (slika 2a). Raspored rebara-vertikalnih ukrućenja prikazan je na slici 2b. Poprečni presek rebara je oblika "T" profila čiji je zid zavarenim spojem vezan za plašt dimnjaka. Rebra se naglo završavaju i na mestima njihovog završetka dolazi do pojave koncentracije napona što je prikazano na slici 2c. Usled malog kontakta između rebara i plašta, te zbog velike površine rebara u kontaktu sa spoljašnjim vazduhom, rebra su znatno niže temperature od plašta dimnjaka pa dolazi do nejednake temperaturne dilatacije između ova dva elementa čime se unose dopunski termički naponi u strukturu plašta.



Slika 1. – a) Jednoplašni dimnjak kotlarnice TO Zemun; b) Šema postrojenja; c) Užad-dodatni oslonci dimnjaka;



Slika 2. –a) Poprečni presek dimnjaka na mestu korenih ukrućenja; b) Analiza naponskog stanja u krenom delu dimnjaka metodom konačnih elemenata - crvenom bojom obeležena su mesta sa visokim naponskim stanjem

Velika termička opterećenja i dugotrajna eksploatacija dimnjaka dovela su do ubrzanog smanjenja debljine plašta dimnjaka i pojave oštećenja na strukturi plašta, penjalicama i drugim sekundarnim elementima dimnjaka. Pregledom dimnjaka uočena su oštećenja u strukturi plašta dimnjaka na mestima gde se završavaju rebra za ukrućenje dimnjaka (slika 3.)

Pojava prslina na plaštu dimnjaka rezultat je složenog spektra opterećenja dimnjaka. Neadekvatno izvedeni dodatni oslonci pomoću čeličnih užadi ne pružaju potporu dimnjaku u svim radnim režimima. Praćenjem vrednosti sila u čeličnim užadima tokom tri godine ustanovljeno je da se sila u užadima značajno menja i prevazilazi dozvoljene okvire i minimalnih i maksimalnih vrednosti. Kada kotlovi nisu u funkciji i kada se dimnjak ne nalazi u eksploataciji sile u užadima su nedozvoljeno male te se dimnjak ponaša kao samostojeća konstrukcija. Usled visoke temperature dimnih gasova nastaju temperaturne dilatacije plašta dimnjaka koje dodatno zatežu čeličnu užad. Kako ne postoji mogućnost podešavanja vrednosti sila u užadima niti mogućnost kompenzacije dilatacija pri maksimalnim radnim režimima i niskim spoljašnjim temperaturama dolazi do preopterećenja korene strukture dimnjaka i do stanja napona sa znatno višim naponskim stanjima od projektovanih što za posledicu ima iniciranje prslina i njihovo širenje.

## METODOLOGIJA SANACIJE

U cilju sanacije korenog dela dimnjaka i produženja radnog veka dimnjaka preduzete su sledeće mere:

- **Izmena konstrukcionog rešenja korenog dela dimnjaka sa elementima ukrućenja**
- **Termička izolacija korenih ukrućenja**
- **Termička izolacija plašta dimnjaka**

Na mestima koncentracije napona pri završetcima korenih ukrućenja dimnjaka došlo je do pojave prslina koje ugrožavaju integritet konstrukcije i utiču na bezbednost eksploatacije dimnjaka. Evidentirana oštećenja su sanirana lokalnom zamenom plašta dimnjaka na mestu prslina sa novim čeličnim limovima odovarajuće debljine, dimenzija 300x300mm savijenih na prečnik 1400mm koji su sučeono zavareni sa postojećim plaštom. Budući da dodatni oslonci dimnjaka ne vrše svoju funkciju na adekvatan način u svim radnim režimima dimnjaka koreni deo dimnjaka ojačan je dodavanjem dvostrukih L profila po celom obodu dimnjaka i dodatnim ojačavanjem postojećih rebara kako je prikazano na slici 4a.

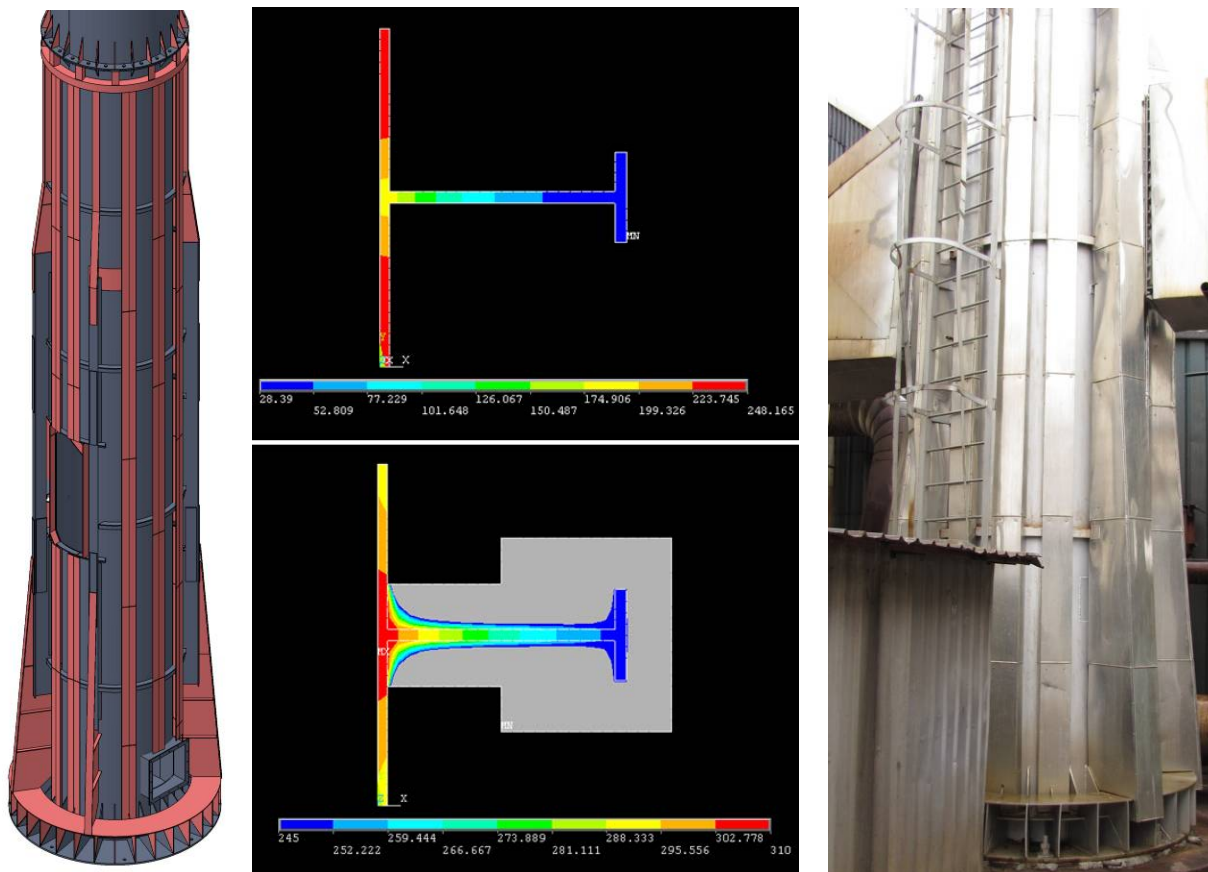


Slika 3. –Oštećenja plašta dimnjaka na mestu spojeva sa elementima ojačanja

Ugradnjom elemenata ukrućenja u korenom delu dimnjaka, izvršena je dislokacija zona koncentracije napona i ostvareno ujednačenije polje napona i deformacija. Ovakvim povećanjem krutosti korene strukture ne ugrožava se funkcionisanje dimnjaka, pristup strukturi niti mogućnost obavljanja remontnih operacija.

Visoke temperature dimnih gasova izazivaju velike temperaturne dilatacije dimnjaka. Plašt u korenom delu jednoplašnih dimnjaka se na ovaj način dodatno opterećuje, jer su temperaturne dilatacije ograničene zbog dodatnih ojačanja postavljenih vertikalno i po obodu plašta. Takođe, zbog svoje velike površine i malog kontakta sa plaštom rebra-ojačanja se brzo hlade, i time se razlika u temperaturi između plašta i rebra povećava, što dovodi do povećanja termičkih napona na plaštu dimnjaka i pojave pukotina u strukturi plašta na mestu spojeva sa ojačanjima. Kako bi se ove pojave ublažile konstruisan je poseban sklop termičke izolacije kojim su dodatna ojačanja dimnjaka obložena. Time se ojačanja sporije hlade (zadržavaju toplotu) i obezbeđuje se ravnomernija raspodela temperature, kao i smanjenje razlike u temperaturama plašta i ojačanja (slika 4b), što doprinosi očuvanju integriteta celokupne konstrukcije dimnjaka. Na slici 4c prikazane su termoizolacione obloge korenih ukrućenja dimnjaka.

Čelična užad - dodatni oslonci dimnjaka ne vrše adekvatno svoju funkciju u svim radnim režimima dimnjaka. U zimskim mesecima, kada su spoljašnje temperature niske i kotlovi rade maksimalnim kapacitetima tako da su temperature dimnih gasova u dimnjaku i preko 480 °C, dolazi do velike temperaturne dilatacije dimnjaka koja dovodi do prekomernog zatezanja čeličnih užadi koja su pod uticajem niske atmosferske temperature. Ovo dovodi do pojave dodatnih napona što se nepovoljno odražava na radni vek dimnjaka.



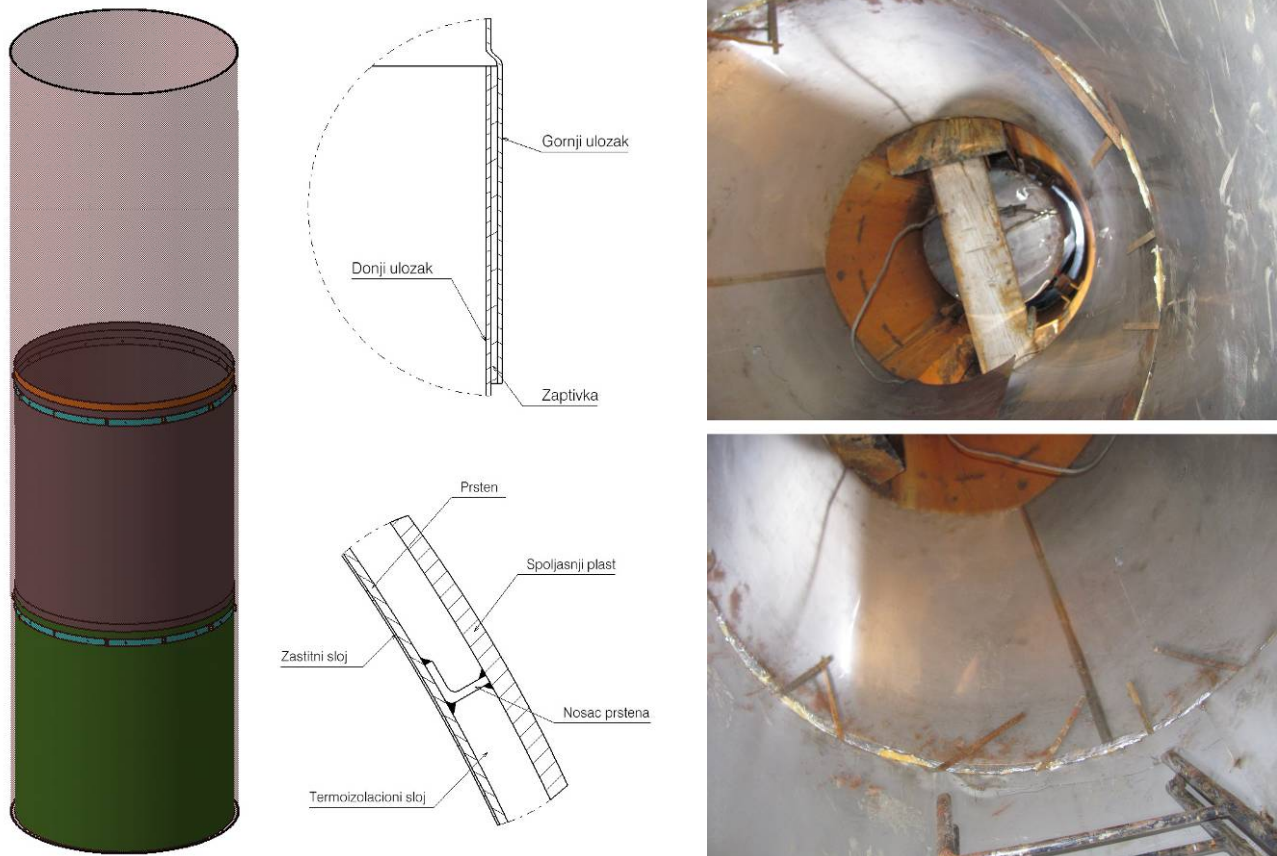
Slika 4. –a) Sanirana konstrukcija korenog dela dimnjaka; b) Konačnoelementna analiza raspodele temperature po poprečnom preseku spoja plašta i rebra; c) Termoizolaciona obloga korenih ukrčenja dimnjaka

Propisima je predviđeno da se u slučajevima kada temperatura dimnih gasova unutar dimnjaka prelazi  $400^{\circ}\text{C}$  u unutrašnjosti dimnjaka postavlja ozid ili obloga od opeke ili betona. Postavljanje ozida ili betonske obloge u postojeći dimnjak je skupo a često i neizvodljivo budući da debljina ovih obloga može da redukuje prečnik dimnjaka u tolikoj meri da dovede do zagušenja. U slučaju niske temperature dimnjaka sa spoljašnje strane jednoplavnog dimnjaka postavlja se izolacija od mineralne vune sa aluminijumskom opšivkom i na taj način se sprečava gubitak toplote i održava temperatura plašta koja je iznad tačke rose dimnih gasova.

Ugradnjom originalnih termoizolacionih uložaka sa mineralnom vunom smanjena je temperatura plašta dimnjaka a samim tim i temperaturna dilatacija plašta (slika 5a). Konstrukcija uložka maksimalno olakšava montažu unutar dimnjaka (slika 5b). Termoizolacioni sloj mineralne vune zaštićen je limom od nerđajućeg čelika kako ne bi došlo do oštećenja na termoizolacionom sloju. Na ovaj način smanjeno je i habanja dimnjaka prouzrokovanog abrazivnim i korozivnim dejstvom produkata sagorevanja, te se očekuje znatno sporija promena debljine plašta u odnosu na prethodno stanje. Debljina uložka od samo 25mm ne ugrožava pravilno funkcionisanje dimnjaka, dok materijali od kojih je uložak izrađen mogu da trpe temperature do  $1000^{\circ}\text{C}$  budući da je geometrija konstrukcije osmišljena tako da temperaturne dilatacije metalnih delova uložka nisu ograničene.

## ZAKLJUČAK

Pregledom dimnjaka TO Zemun uočena je pojava oštećenja na primarnim i sekundarnim strukturama dimnjaka koja mogu da naruše integritet dimnjaka. Ova oštećenja u najvećoj meri su posledica neodgovarajućih dodatnih oslonaca dimnjaka i prekomernih termičkih opterećenja. U cilju otklanjanja oštećenja i produženja radnog veka dimnjaka izvršena je sanacija i rekonstrukcija korenog dela strukture. Pri rekonstrukciji posebna pažnja posvećena je otklanjanju prekomernih temperaturnih opterećenja dimnjaka, izolovanjem samog plašta ali i korenih ojačanja u cilju ravnomernije raspodele temperature.



Slika 5. –Termoizolacioni ulošci

Primenom sanacionog rešenja ostvareni su sledeći efekti:

- **znatno niži nivo naponskih stanja i dislokacija zona koncentracije napona**
- **znatno blaža promena polja deformacija i napona u kritičnim zonama**
- **frekventna karakteristika sanirane konstrukcije se ne razlikuje u velikoj meri u odnosu na izvedeno rešenje**
- **produžava se životni vek konstrukcije**

Pri izradi sanacionog rešenja korišćeni su savremeni softverski alati za kompjutersko konstruisanje i analizu konstrukcija. Na ovaj način ostvarena je značajna ušteda u vremenu izrade programa sanacije.

## LITERATURA

- 1) Popović, O. et al., (2011) O dimnjacima, Beograd: ETA.
- 2) SRPS EN 13084-1:2012 Slobodnostojeći dimnjaci - Deo 1: Opšti zahtevi, (2012) Službeni glasnik br. 61/12
- 3) ASME STS-1-2006 Steel Stacks, (2006) The American Society Of Mechanical Engineers.
- 4) IS 6533 Design And Construction Of Steel Chimney – Code Of Practice, (2001) Bureau Of Indian Standards.
- 5) BS 4076 Specifications For Steel Chimneys, (1989) British Standards Institution.
- 6) Perry, R.H., (1997) Chemical Engineers Handbook, New York, Mcgraw-Hill