

PREGLED I ANALIZA NAPONSKO- DEFORMACIONIH STANJA ČELIČNIH DIMNJAKA

Slobodan Stupar, dipl. inž.
Mašinski fakultet, Beograd

Aleksandar Simonović, dipl. inž.
Mašinski fakultet, Beograd

Tatjana Tanasković, dipl. inž.
Viša politehnička škola, Beograd

Dragan Komarov, dipl. inž.
Mašinski fakultet, Beograd

Marija Stanojević, dipl. inž.
Mašinski fakultet, Beograd

U radu je opisana metodologija pregleda industrijskih dimnjaka, kao i analiza naponsko – deformacionog stanja na osnovu obrađenih rezultata izvršenih merenja. Debljina čeličnog plašta dimnjaka u TO „Višnjička banja“ je određivana ultrazvučnim postupkom u 204 merne tačke. Izvršeni vizuelni pregled je ukazao na veoma loše stanje dimnjaka. Dimnjak je, radi dobijanja osnove za proračun savremenim numeričkim metodama, modeliran pomoću CAD softvera. Numerička analiza naponsko – deformacionog stanja je izvršena za opterećenja od sopstvene težine, vetra i zemljotresa.

Ključne reči: industrijski dimnjaci, ultra – zvučni pregled čeličnih konstrukcija, naponsko–deformaciona analiza.

UVOD

Programi pregleda i održavanja dimnjaka se često izostavljaju pri planiranju održavanja postrojenja. Ovakva praksa dovodi do povećanja troškova eksploatacije i troškova kasnijeg remonta relativno jednostavnih konstrukcija dimnjaka.

Usled dejstva produkata sagorevanja i spoljašnjih atmosferskih uticaja dimnjaci su izloženi eroziji. Dimni gasovi, sa svojim abrazivnim i korozivnim svojstvima vremenom oštećuju plaštove dimnjaka. Klimatski uslovi (vetar, ekstremne temperature itd.) značajno utiču na naprezanje konstrukcije, te se i oni moraju uzeti u obzir pri oceni stanja dimnjaka.

Pregledi obuhvataju vizuelni pregled spoljašnjosti dimnjaka, kao i detaljne preglede spoljašnjeg i unutrašnjeg plašta. Tokom ovakvih pregleda vrši se merenje debljine zida dimnjaka, utvrđivanje stanja temelja i kontrola vertikalnosti. Učestalost pregleda zavisi od materijala od koga je dimnjak izgrađen, karakteristika produkata sagorevanja, radnog opterećenja, atmosferskih uslova i slično.

Preporučuje se da se nakon pet godina od početka rada dimnjaka vrše redovni godišnji pregledi dimnjaka koji obuhvataju vizuelni pregled, merenje debljine zida i kontrolu vertikalnosti dimnjaka.

U sklopu ispitivanja dimnjaka u toplanama „Beogradskih elektrana“ izvršen je pregled i kontrolni proračun dvoplašnog čeličnog dimnjaka u TO „Višnjička banja“. Pregled je obavljen saglasno sa važećim standardima i propisima i u skladu sa metodologijom

pregleda industrijskih dimnjaka razvijenom na Institutu za vazduhoplovstvo Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

OPIS KONSTRUKCIJE

Konstrukcija dimnjaka visine 41m se sastoji od dva čelična plašta. Spoljašnji plašt prečnika 1500 mm predstavlja noseći deo strukture dok unutrašnji plašt prečnika 1100 mm predstavlja dimovodni kanal. Spoljašnji plašt se sastoji od sekcija međusobno

vezanih prirubničkim vezama. Sekcije unutrašnjeg plašta naležu jedna u drugu i naslanjaju se na spoljašnji plašt.

Vertikalnim ukrućenjima (rebrima), u korenom delu dimnjaka (slika 1 - desno), spoljašnji plašt je vezan ankerima za temeljnu ploču dok se preko metalne ploče, koja je završena za spoljašnji plašt, oslanja na temelj. Najniža sekcija unutrašnjeg plašta je oslonjena na metalnu, anker ploču.



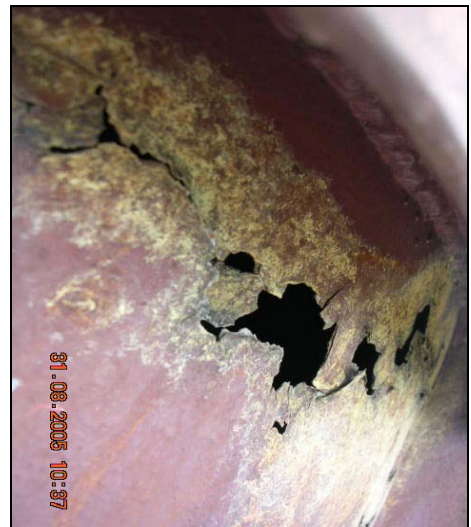
Slika 1: Dimnjak - TO "Višnjička Banja"

VIZUELNI PREGLED I ULTRAZVUČNO MERENJE DEBLJINE

Usled nedostatka pregleda i održavanja dimnjak je zatečen u izuzetno lošem stanju. Na slikama 2 i 3 prikazana su neka od oštećenja spoljašnjeg plašta dimnjaka. Primetne su posledice dejstva sumporne kiseline koja je nastala hemijskom reakcijom kondenzovane vode i sumpornih jedinjenja iz produkata sagorevanja.

Vizuelnim pregledom spoljašnjeg plašta je ustanovljeno da pored izražene površinske korozije, najizraženije pri vrhu dimnjaka (100%), postoje mesta gde zbog naprsnuća ili rupa gasovi izlaze kroz unutrašnji dimovodni kanal i

prolaze kroz spoljašnji plašt (slika 2). Takođe je primećena i prskotina na koti 30m. Vizuelnim pregledom vrha dimnjaka ustanovljeno je da je vezni prsten, između spoljašnjeg i unutrašnjeg plašta na vrhu dimnjaka, toliko istrošen da praktično ne vrši svoju funkciju ni u jednoj tački, odnosno nema ni jedne tačke dodira kojom bi se ostvarivala veza između plaštova i ne sprečava prodor atmosferskih padavina u prostor između plaštova (slika 3). Posledica ovog oštećenja je i da je poslednji segment unutrašnjeg plašta samo slobodno postavljen na pretposlednji segment unutrašnjeg plašta i da oscilujući udara svojim vrhom spoljašnji plašt.



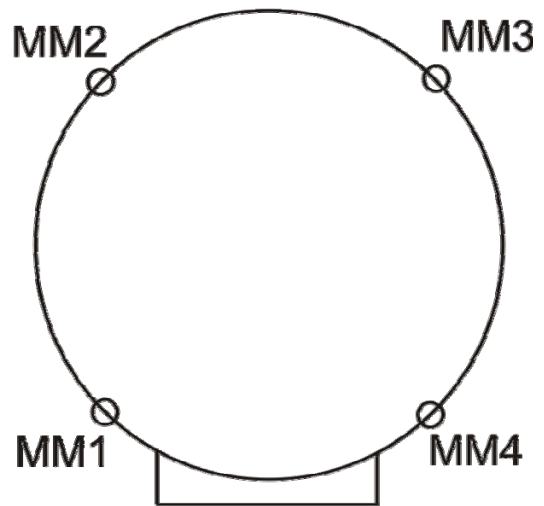
Slika 2: Oštećenja nastala korozijom



Slika 3. Spoljašnji i unutrašnji plašt na vrhu dimnjaka

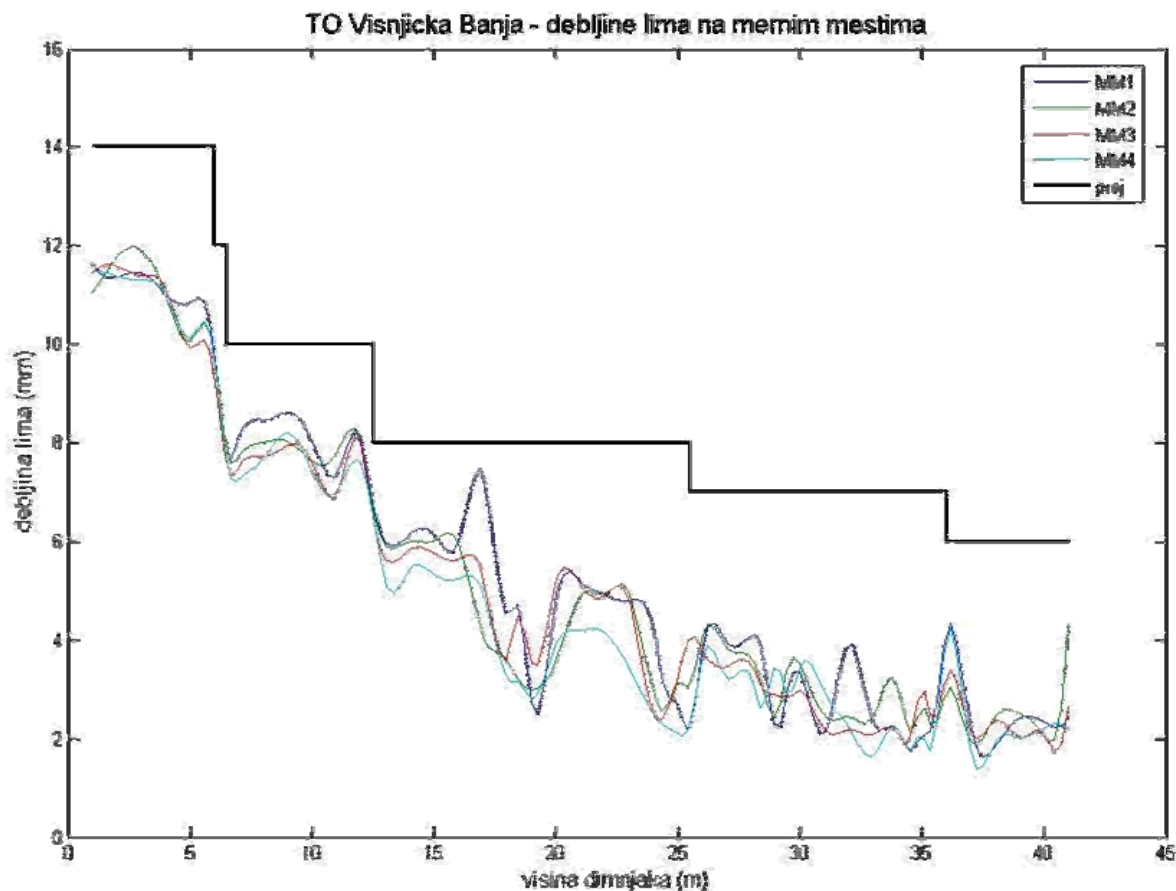
Merenje debljine čeličnog plašta dimnjaka TO Višnjička Banja, obavljeno je ultrazvučnim postupkom. Merenje debljine spoljašnjeg plašta je izvršeno u 204 merne tačke koje su raspoređene na pedesetjednoj relativnoj visini. U zavisnosti od mogućnosti pristupa određenim delovima strukture, broj mernih mesta se razlikuje u zavisnosti od relativne visine.

Merna mesta su izabrana tako da se na osnovu njih može sa što većom pouzdanošću odrediti raspodela debljine plašta na određenoj relativnoj visini. Položaji mernih mesta su prikazani na slici 4.



Slika 4. Raspored mernih mesta po poprečnom preseku dimnjaka

Na slici 5 su prikazane interpolirane vrednosti debljine lima po visini dimnjaka na osnovu izvršenih merenja. Linija crne boje predstavlja projektovanu debljinu lima. Primećuje se da je istrošenost lima na visinama preko 10 m veća od 40%, a na nekim mestima iznosi i preko 70%.



Slika 5. Debljine lima spoljašnjeg plašta po mernim mestima

PRORAČUNSKI MODEL I ANALIZA NAPONSKO-DEFORMACIONOG STANJA

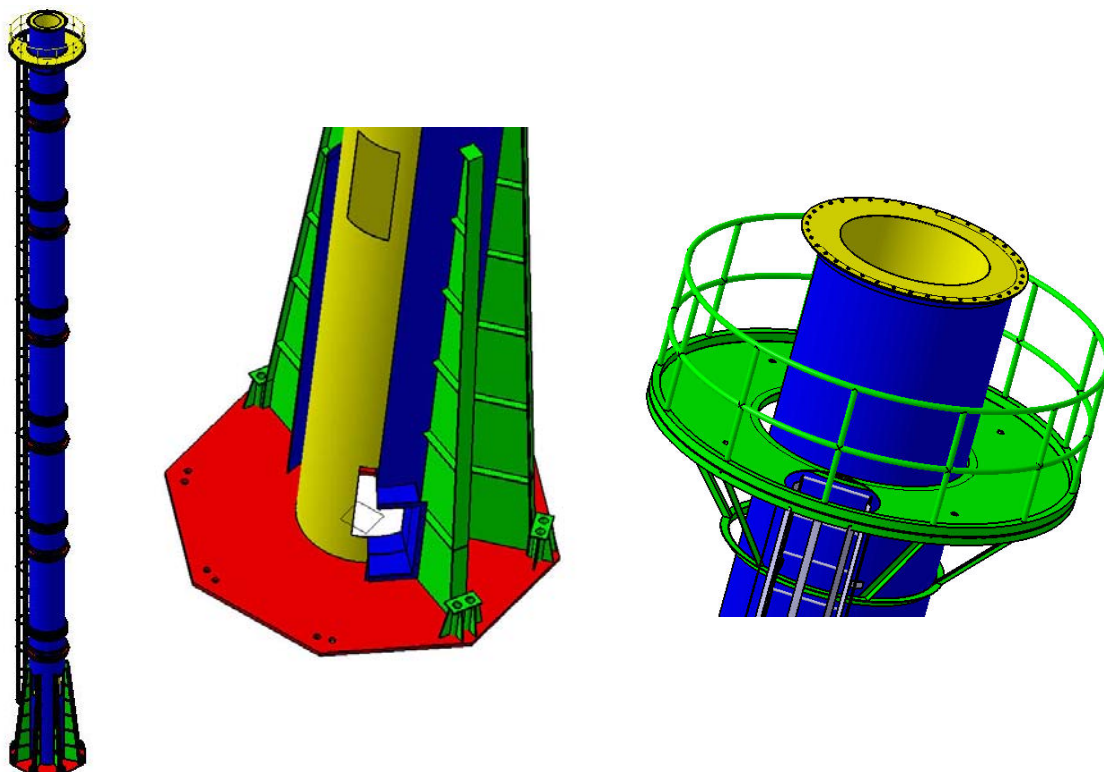
Dimnjak je, radi dobijanja osnove za proračun savremenim numeričkim metodama, modeliran pomoću CAD softvera. Model i njegovi detalji su prikazani na slici 6.

CAD model je poslužio kao osnova za pravljenje dva proračunska modela. Jedan proračunski model je napravljen tako da se ne uzima u obzir postojanje prskotine koja je prikazana na slici 2 i čiji je uticaj na čvrstoću i stabilnost konstrukcije bilo potrebno ispitati, što je urađeno u okviru drugog modela. Na proračunskim modelima opterećenja dejstvuju, u zavisnosti od

karaktera, kao koncentrisana ili kontinualna opterećenja, a prema važećim domaćim i međunarodnim standardima. Proračun je rađen za opterećenja od sopstvene težine, vetra i zemljotresa.

Sračunati rezultati napona konstrukcije za propisane slučajeve opterećenja su prikazani na slici 7.

Prikazana je raspodela napona pod uticajem sopstvene težine dimnjaka, vetra određenog pravca i zemljotresa, odnosno detaljna raspodela napona na ivicama i u okolini prskotine.



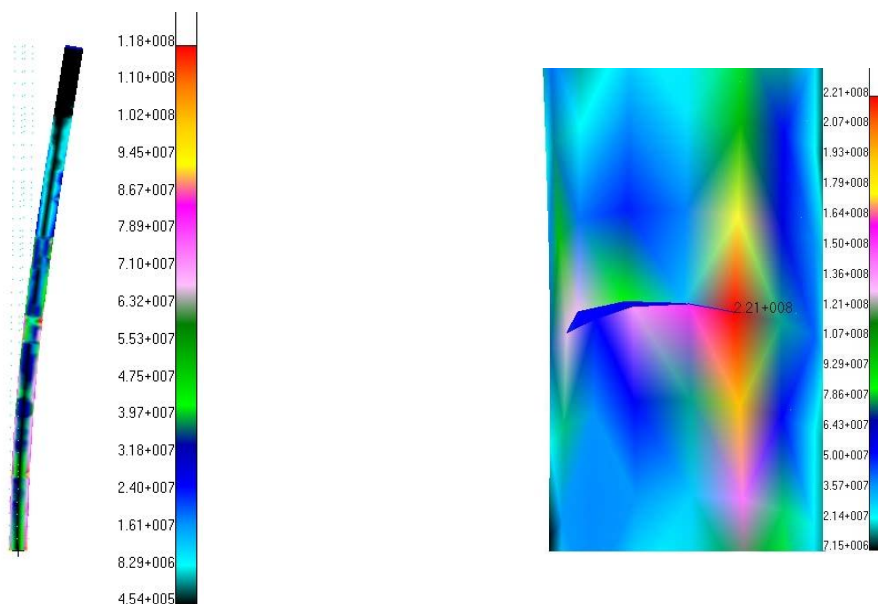
Slika 6. CAD model dimnjaka

Za proračunski MKE model strukture dimnjaka su definisana standardima propisana opterećenja i izračunati naponi unutar strukture i njena pomeranja kao i sopstveni modovi oscilovanja i provera elastične stabilnosti opterećene konstrukcije. Rezultati proračuna ukazuju da maksimalne vrednosti napona koji se javljaju na konstrukciji pri propisima definisanim opterećenjima neće preći vrednost od $\sigma_e = 1.20 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, da će maksimalni otklon vrha u odnosu na vertikalnu osu iznositi 40.1cm i da struktura neće izgubiti elastičnu stabilnost pri opterećenju od sopstvene težine. Na drugom proračunskom modelu - modelu koji uzima u obzir postojanje prskotine na spoljašnjem plaštu, maksimalni sračunat napon iznosi $\sigma_e = 2.21 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$.

Utvrđeno je da se konstrukcija dimnjaka nalazi u izuzetno lošem stanju i da predstavlja opasnost za ljude i objekte koji se nalaze u njegovoj blizini bez obzira da li se dimnjak nalazi u eksploataciji ili ne.

Izuzev temeljne ploče, ankerskih veza, ojačanja pri korenu dimnjaka i većim delom penjalica, ostali elementi strukture dimnjaka sadrže brojna oštećenja koja predstavljaju opasnost po nosivost konstrukcije.

Nakon sprovođenja sanacije treba preduzeti mere za održavanje objekta koji bi između ostalog podrazumevao otvaranje eksploatacione knjige koja bi sadržala pregled obavljenih inspekcija i ispitivanja dimnjaka, kao i uputstvo o pregledu i održavanju konstrukcije. Knjiga bi takođe trebalo da sadrži i definisan obim, vrstu i učestalost pregleda sa propisanim kriterijumima za vršenje intervencija na objektu.



Slika 7. Ekvivalentni naponi pri opterećenju od sopstvene težine, vetra pravca I-Z i zemljotresa tipa Z2

Eksploataciona knjiga treba da omogući i uvid u izvršene preglede i intervencije kao i o postavljanju ili uklanjanju opreme, posebne zaštite i izmene u strukturi i instalacijama. Preporučeni interval pregleda za čelične dimnjake, posle isticanja petogodišnjeg perioda od puštanja u rad, je jednom godišnje.

LITERATURA:

- /1/ Stupar S., Jaćimović B., Bošnjak S., Dunjić M., Genić S., Simonović A., Komarov D., Izveštaj o stanju dimnjaka TO VIŠNJIČKA BANJA
Ø1300/Ø1100x41000mm, Mašinski fakultet Beograd, 2005.
- /2/ "CICIND" standard Internacionalnog komiteta za industrijske dimnjake
- /3/ Propisi o antikorozijskoj zaštiti čeličnih konstrukcija, "Službeni list SFRJ" broj 32/1970 i SIS 0055900
- /4/ EN 1991 Evrokod EC1: Basis of design and actions on structures
- /5/ BS 4076 Specifications for steel chimneys

OVERVIEW AND ANALYSIS OF STRESS AND STRAINED STEEL CHIMNEY'S STATE

Industrial chimney inspection methodology is described in this paper, and stress and strain analysis is done by result processing of the measurements. Thickness of flue – stack's steel shell at thermo facility „Visnjicka Banja“ is determined by means of ultrasound in 204 points. Visual inspection of chimney has indicated high level of damage. Chimney was modeled in CAD software as basis for numerical analysis by contemporary methods. Numerical analysis of stress and strain chimney's state is done for gravity load, and loads caused by wind and earthquake.

Key words: industrial chimnies, ultra – acustic overview of steel construction, stress and strained analisys.