

Sanacija dimnjaka Termoelektrane Sisak

Ante Tvrdeić

Ključne riječi

dimnjak,
Termoelektrana Sisak,
sanacija,
unutrašnjost dimnjaka,
vanjski dio dimnjaka,
ozid, pukotina

Key words

chimney stack,
thermal power station in
Sisak, repair,
interior of a chimney stack,
external portion of a
chimney stack,
walling, cracks

Mots clés

cheminée,
centrale thermique de
Sisak, réparation,
partie intérieure d'une
cheminée, partie
extérieure d'une cheminée,
revêtement mural,
fissures

Ключевые слова

дымовая труба,
Термоэлектростанция
Сисак, санация,
внутренность дымовой
трубы, внешняя часть
дымовой трубы,
кирпичное покрытие,
трещины

Schlüsselworte

Schornstein,
Wärmeleistungwerk Sisak,
Sanierung,
Innenraum des
Schornsteins,
äusserer Teil des
Schornsteins,
Ummauerung, Risse

A. Tvrdeić

Sanacija dimnjaka Termoelektrane Sisak

Opisana je sanacija dimnjaka Termoelektrane Sisak visokog 140 m. Dani su osnovni tehnički podaci o dimnjaku i prikazano je njegovo stanje prije sanacije. Podrobno je opisano projektiranje i izvedba sanacije koja je obuhvaćala unutarnji i vanjski dio dimnjaka. Radilo se uglavnom o izmjenama ozida i zatvaranju pukotina prije njegove izvedbe. U zaključku se daju preporuke, temeljene na sanacijom stečenim iskustvima, o mjerama koje treba poduzeti u cilju trajnije upotrebe dimnjaka.

A. Tvrdeić

Stručni rad
Professional paper

Chimney stack repair at the thermal power station in Sisak

Structural repair of the 140 m high chimney stack at the thermal power station in Sisak is described. Basic technical information about the chimney stack is presented and its condition prior to remedial activities is described. A detailed account is given about the design and realization of repair work, which included remedy of internal and external portions of the chimney stack. The work mainly consisted in the replacement of the walling and in closing cracks prior to the principal work. Recommendations based on experience gained on this repair project, including measures needed to extend service life of chimney stacks, are given in the final part of the paper.

A. Tvrdeić

Ouvrage professionnel

Réparation de la cheminée à la centrale thermique de Sisak

Le procédé de réparation de la cheminée de 140 m de hauteur, située à l'intérieur de la centrale thermique de Sisak, est décrit. Les informations techniques principales sur la cheminée sont présentées et sa condition avant la réparation est décrite. Les études et la réalisation de ce projet sont décrites en détail, y compris la réparation des parties intérieures et extérieures de la cheminée. Le travail a consisté dans le remplacement de revêtement mural et dans le bouchage des fissures avant les travaux principaux. Les recommandations basées sur l'expérience gagnée pendant ce projet de réparation, y compris les mesures nécessaires pour prolonger la durée de vie des cheminées, sont présentées dans la partie finale de l'ouvrage.

A. Tvrdeić

Отраслевая работа

Санация дымовой трубы Термоэлектростанции Сисак

В работе описана санация дымовой трубы Термоэлектростанции Сисак высотой 140 м. Приведены основные технические данные о дымовой трубе и показано её состояние до санации. Подробно описано проектирование и выполнение санации, охватывающей внутреннюю и внешнюю часть дымовой трубы. Речь шла в основном об изменении кирпичного покрытия и закрытию трещин перед его выполнением. В заключении даются рекомендации, основанные на опыте, приобретённом при санации, о мерах, которые необходимо предпринять с целью более длительного срока работы дымовой трубы.

A. Tvrdeić

Fachbericht

Sanierung des Schornsteins des Wärmekraftwerks Sisak

Beschrieben ist die Sanierung des 140 m hohen Schornsteins des Wärmekraftwerks Sisak. Präsentiert sind die grundlegenden technischen Angaben über den Schornstein und sein Zustand vor der Sanierung. Detailliert ist der Entwurf und die Ausführung der Sanierung beschrieben, die den inneren und äusseren Teil des Schornsteins umfasste. Hauptsächlich handelte es sich um die Änderung der Ummauerung und die Schliessung der Risse vor deren Ausführung. Der Schluss enthält Empfehlungen, begründet durch im Laufe der Sanierung gewonnene Erfahrungen, über die Massnahmen die zum Ziel einer länger dauernden Benutzung des Schornsteins unternommen werden sollten.

Autor: Ante Tvrdeić, dipl. ing. građ., VIG d.d., Rakitnica 2, Zagreb

1 Uvod

Dimnjak Termoelektrane Sisak je tipski industrijski dimnjak visine 140 m (slika 1.). Projektiran je 1968. i pušten je u rad 1970. Obnovljen je 1987. godine, ali ga je trebalo ponovo sanirati što je i urađeno 2003. godine.

Dimnjak se sastoji od vanjskoga nosivoga armiranobetonskog plašta ojačanog u donjem dijelu vertikalnim zidovima trokutastog oblika, koji sežu do otprilike 40 m visine, i unutarnjeg kiselootpornog ozida kao zaštite od visokih temperatura i kiselog djelovanja dimnih plinova. Armiranobetonski plašt konstantnog je vanjskog promjera od 5,74 m i promjenjiva unutarnjeg od 5,44 m do 5,04 m, ovisno o promjeni debljine armiranobetonske stijenke koja je na dnu debela 35 cm, a na vrhu 15 cm.

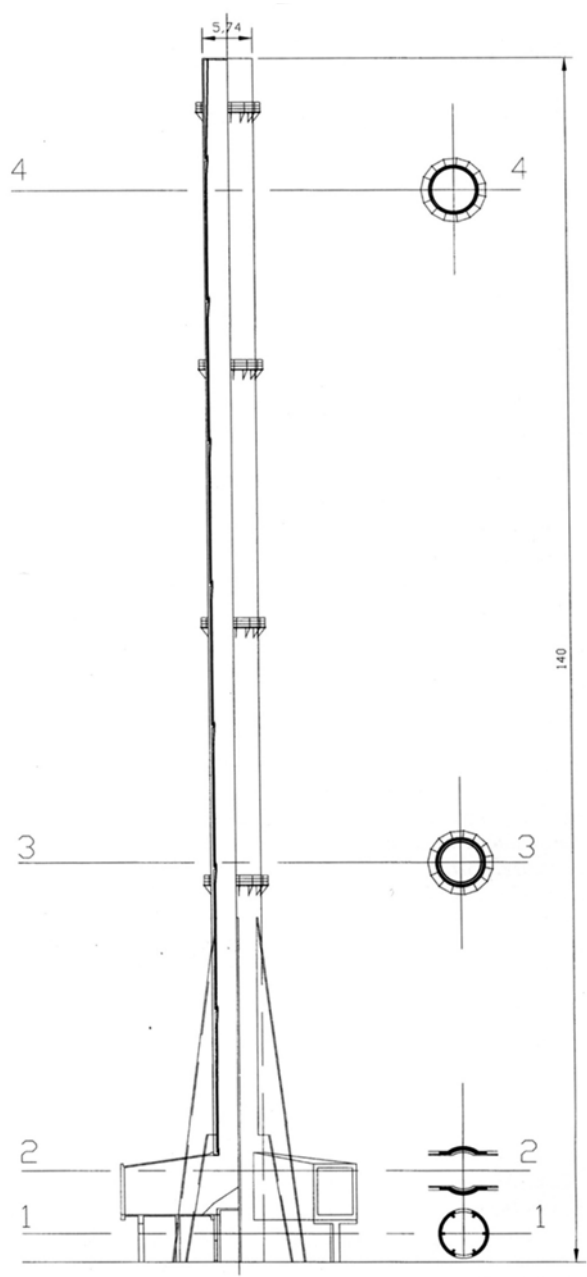
Na donjem dijelu dimnjaka (od kote + 6,25 do 12,55 m) kiselootporni ozid je debljine 25 cm, a polumjer mu se mijenja od 2,15 m do 2,5 m.

Tablica 1. Osnovni podaci o dimnjaku

R. br.	Podatak	Vrijednost
1.	Gornji unutarnji promjer dimnjaka	4,3 m
2.	Visina dimnjaka od $\pm 0,00$ m	140 m
3.	Temperatura plinova kod ulaza dimnovodnog kanala: – maksimalna – normalna	+200°C +141°C
4.	Kubatura plinova u m ³ /sek kod 0°C i 760 mm stupca žive	212 m ³ /s
5.	sastav plinova u % po volumenu, agresivnosti, točka rošenja i % vlage	$V_{N_2} = 54,2\%$, $V_{H_2O} = 9,1\%$, $V_{CO_2} = 10,5\%$, $V_{SO_2} = 0,17\%$, $Zrak = 26,03\%$, $t_p = 136^\circ C$
6.	Vrsta goriva, utrošak goriva u 1 sat	Osnovno je gorivo: Visokosumporni mazut, utrošak 51,4 t/h. Moguć je pogon mješavinom visokosumpornog mazuta i zemnog plina te samim zemnim plinom.

Nosivu konstrukciju ozida čine armiranobetonska ploča na koti 6,25 m, koja nosi ozid do kote + 12,55 m te kratke armiranobetonske konzole na svakih 16,5 m visine, od kote + 12,8 m.

Na visini +5,3 m smješteni su otvori za priključak dimnovodnih kanala s rampom do gotovo 8,0 m za usmjeravanje dimnih plinova.



Slika 1. Crtež dimnjaka s presjecima

Od opreme dimnjak ima elektroinstalaciju i gromobransku instalaciju, vanjske čelične penjalice po cijeloj visini te vanjske segmentne čelične galerije na visinama 43,75; 73,75; 103,75 i 133,75 metara.

2 Prethodne aktivnosti

U jesen 2002. detaljno je snimljeno postojeće stanja kiselootpornog ozida i armiranobetonskog plašta dimnjaka, radi prikupljanja što boljih podloga za donošenje odluke o načinu sanacije zatečenog stanja, i to:

- 1 Detaljan pregled dostupnih elemenata dimnjaka neposrednim uvidom na licu mjesta.
- 2 Snimanje unutrašnje stijenke kiselo otpornog ozida s pomoću grupe digitalnih kamera.
- 3 Izvješće termičkog snimanja VS-T-087-RW-0 22.11.2002. Vatrostalna Sisak d.d.
- 4 Izvještaj (br 993/2002) o naknadnom ispitivanju kvalitete betona ugrađenog u armiranobetonski dimnjak visine 140 m objekta TE-Sisak Geoexpert IGM Sesvete.



Slika 2. Glava dimnjaka prije sanacije

Detaljnim pregledom i snimanjem dimnjaka utvrđeno je da je ozid dimnjaka sa toplinskom izolacijom na više mjesta značajno oštećen i da se ozid progresivno i konstantno urušava, da je ozid dimnovodnih kanala dotrajao te je ujedno za sanaciju registrirano ukupno 300 m pukotina na armiranobetonskom plaštu.

Termičkim snimanjem cijele vanjske betonske obloge dimnjaka zapaženo je slijedeće:

	Površ. temp. bet (jug)	Površ. temp. bet (sjever)	Maks. temp.
Od kote ± 0,00			
do I. galerije	39,6°C	27°C	43°C
Od I. do II. galerije	36,8°C	28°C	40°C
Od II. do III. galerije	42°C	36°C _v	50°C
Od III. do IV. galerije + vrh	50°C	40°C	52°C

Na termičkim slikama vide se cijele plohe s jačim propuštanjem topline.

- Tlačna je čvrstoća betona ugrađenog u armiranobetonski plašt dimnjaka nakon uklanjanja piljenjem površinskog sloja od 1,5 do 2,5 cm: min. 34,9 MPa do maks. 53,2 MPa
- Vlačna čvrstoća ugrađenog betona u armiranobetonski plašt dimnjaka ispitana metodom *pull off*, jest: min. 1,35 MPa do maks. 3,53 MPa
- Količina iona klora u betonu (% na masu cementa) jest: min. 0,021% do maks. 0,049%

Prema utvrđenom sadržaju klorida u betonu s vanjske strane armiranobetonskog plašta, opasnost od korozije armature je mala.

- Količina sulfata izražena kao SO₃ u betonu jest: min. 0,32% do maks. 0,52%,

Prema utvrđenom sadržaju sulfata u betonu s vanjske strane armiranobetonskog plašta opasnosti od sulfatne korozije betona nema.

3 Projektiranje

Rješenja dana u projektu sanacije dimnjaka oslanjaju se na izvorni projekt, a s obzirom na vremenski razmak, predviđenom upotrebom suvremenijih materijala, primjereno su osuvremenjena.

Projektom sanacije obuhvaćeno je:

- I. Montaža radne platforme
- II. Razgradnja i odvoz porušenog materijala
- III. Radovi čišćenja
- IV. Saniranje pukotina i popravak oštećenja armiranobetonskog plašta
- V. Izolaterski radovi
- VI. Zidarski radovi
- VII. Limarski radovi
- VIII. Bravarski radovi
- IX. Keramičarski radovi
- X. Ličilački radovi
- XI. Elektroradovi
- XII. Demontaža radne platforme
- XIII. Sanacija dimnovodnih radijalnih kanala kotlova

Svi su projektirani radovi izvedeni.

4 Pripremni radovi

Zbog ruševnog stanja ozida dimnjaka pristup u dimnjak pri izvođenju radova na razgradnji postojećega nestabilnog ozida riješen je iz glave dimnjaka to jest iz nivoa +140 m (slika 3.).



Slika 3. Panoramska slika dimnjaka

Na osnovi podataka iz izvorne dokumentacije i učinjenog snimanja postojećeg stanja, osmišljene su i pripremljene potrebne konstrukcije s pomoćnim uređajima prema projektu dorade platforme (nosivi roštilj) čime je omogućena provedba razgradnje i sanacije ozida dimnjaka kako slijedi:

- Konzolna dizalica
- Pomoćna platforma
- Nosivi roštilj
- Radna pomična primjereno doradana platforma PP1-9,6 H
- Kabina dizala VK-2000

Konzolna dizalica "TIRAK" s električnim vitlom tipa T-1000P i zateznim čeličnim užetom

Konzolna dizalica služi za dopremu materijala u fazi pripremnih radova i pri radovima na vanjskom dijelu dimnjaka.

Ruka dizalice instalirana je na koti +136,0 m, a vitlo je na koti $\pm 0,00$. Čelično uže $\varnothing 8$ mm, a nosivost 980 kg.

Pomoćna platforma

Pomoćna je platforma (kota +140,0 m) izvedena od NP-U profila i drvenih mosnica. Nakon završetka radova na montaži pomične radne primjereno doradene platforme PP1-9, 6H i nosivog roštilja, služi za pristup radnika po-

dizanog u košari za vrijeme razgradnje te se rabi tijekom izvođenja radova na dimnjaku kao radna površina za posluživanje uređaja za podizanje.

Nosivi roštilj

Nosivi roštilj usidren na vijencu dimnjaka (kota +140,0 m) sastavljen je od čeličnih valjanih NP-U profila, a služi za sidrenje pomične radne primjereno doradene platforme PP1-9,6H i vučnog (podiznog) uređaja VZ-2000. U sredini roštilja smješteni su nosači za sidrenje uređaja TIRAK X-2057P i dvaju užeta – vodilica (slika 4.).

Radna pomična primjereno doradana platforma PP1-9,6H namijenjena popravku unutarnjeg plašta i ozida dimnjaka

Platforma PP1-9,6H služi za izvođenje svih radova po visini unutar dimnjaka

Polumjer	2,1 m
Ukupna vlastita masa platforme s podom i sajlama jest	4600 kg
Masa motornog uređaja i kočnica	4 x 82 + 4 x 9 364 kg



Slika 4. Glava dimnjaka sa nosivim roštiljem

Motorna oprema 4 x hidraulični motor TIRFOR TU-32H
 Sigurnosne kočnice
 4 x automatski BLOCSTOP BSA 35-305

Broj i promjer ovjesnih
 i vodećih sajli 8 x 16,3 mm dužine 200 m

Brzina kretanja platforme prema gore 0,95 m/min

Brzina kretanja platforme prema dolje 1,8 m/min

Ukupna nosivost platforme: 4 x 2400 kg 9600 kg

Maksimalno dopušteno opterećenje platforme osobama
 i materijalom 4000 kg

Instalirana snaga 18 kW.

Dizalični uređaj VZ-2000 namijenjen transportu osoba i materijala po visini do radne pomične platforme

Maksimalna vlastita masa dizalične kabine 480kg

Masa motornog
 uređaja i kočnica 1 x 110 + 2 x 9,0 128 kg

Ukupna nosivost dizaličnog uređaja 2000 kg

Motorna oprema elektromotor TIRAK X 2057 P

Sigurnosne kočnice na dizaličnoj kabini:
 2x automatski centrifugalni BLOCSTOP BSO 1020

Promjer ovjesnog čeličnog užeta Ø14mm dužine 200 m

Promjer vodećih kočničkih čeličnih užeta
 2xØ9mm dužine 200 m

Brzina kretanja dizalične kabine
 u oba smjera 0-12 m/min

Maksimalno dopušteno opterećenje
 kabine osobama i materijalom 1500 kg

Instalirana snaga 5,5 kW

Razgradnja

Razgradnja ruševnog ozida i izolacionog sloja izvedena je s radne platforme počevši od glave dimnjaka.

Razgrađeni materijal je usmjeren kroz učinjeni otvor u korijenu dimnjaka, te odvezen, ekološki zbrinut i deponiran.

4 Sanacija

Sanacija obuhvaća sljedeće aktivnosti:

4.1 Unutrašnjost dimnjaka

Opis sanacijskih radova unutar dimnjaka

Nakon čišćenja unutrašnje stijenke dimnjaka, postojeća su oštećenja na stijenci dimnjaka reprofilirana epoksid-

nim EPOCON BETON BN mortom, a oštećenja na konzolama reprofilirana su epoksidnim NOVAPOX M mortom.

Pukotine su zatvorene poliuretanskim sistemom visoke kemijske otpornosti Sikaflex PRO-3WF.

KO zaštita unutrašnje stijenke dimnjaka ostvarena je NOVAPOX EPN sistemom zaštite na bazi fenolnog epoksida.

Toplinska izolacija ostvarena je zaticima usidrenim samonosivim, vodoodbojnim pločama od staklene vune NOVOTERM TIP S-H.

Kiselootporni ozid izveden je blokovima s perom i utorom na sve četiri strane prema DIN-u 1057, dio 2 tabela 3. (proizvođača STEULER Hoehr-Grenzhausen, s tim da je kontrola traženih karakteristika gradiva učinjena u DIFK-u iz Bonna).

Dilatacije ozida pokrivena su olovnom limom.

Ozid na glavi dimnjaka dodatno je osiguran od urušavanja primjenom vlastitog *know-how* rješenja umreženim sidrenjem ozida, to jest umetanjem sidara od nehrđajuće žice Ø3 mm u sudarnice ozida uz međusobno povezivanje sidara nehrđajućom žicom Ø3 mm na hladnoj strani ozida, radi dodatnoga međusobnog povezivanja gotovog ozida i onemogućivanja urušavanja eventualno erodiranih-razlabavljenih blokova.

Završni opšav ozida-vijenca dimnjaka izveden je međusobno vijčano spojenim te u betonski plašt usidrenim elementima od nehrđajućeg čeličnog lima Č. 4580.

Završno su postavljene gromobranske hvataljke –šipke od nehrđajućeg čelika Č.4580.

4.2 Zidani dimnovodni kanali

Dotrajali unutrašnji kiselootporni ozid djelomično je zamijenjen novim ozidom, a stropovi dimnovodnih kanala zaštićeni su slojem mlaznoga armiranog kiselootpornog betona.

U funkciji zaštite od procjednih oborinskih voda, svi oštećeni zidovi dimnovodnih kanala dodatno su izvana zaštićeni slojem mlaznoga armiranog betona, a postojeći pokrov dimnovodnih kanala od bitumenskih traka prekriven je aluminijskim pločama od trapezno profiliranog lima na čeličnoj potkonstrukciji.

4.3 Vanjski dio dimnjaka

Skup pomoćnih uređaja kojim je omogućena provedba postupaka sanacije na vanjskoj plohi dimnjaka sastoji se prema projektu podižuće košare prema daljem opisu:

Nosive konstrukcije jednotračne dizalice s prstenastom stazom:

- I. Pokretne mačke MLD-2
- II. Dizaličnog uređaja VZ-2000
- III. Podižuće radne košare

I. Nosiva konstrukcija

Kako je gornji dio dimnjaka (od kote oko 80 do 140 m) gusto opasan prstenima (oblik i dimenzije prema DIN 1056), elementi nosive konstrukcije jednotračne dizalice s prstenastom stazom, tj. zatege i prečke postavljeni su pri vrhu dimnjaka (kota otprilike + 136,0 m). Na tako u krug postavljene elemente pričvršćen je kružno oblikovan prstenasti nosač (staza) s tri pokretne mačke (srednja za prihvat TIRAK-a X 2057 P i par bočnih za prihvat čeličnih užeta BLOCSTOP-a BSO 1020).

II. Pokretne mačke MLD-2

Nosivost	2000 kg
Težina pokretne mačke	19 kg

III. Dizalični uređaj VZ-2000 namijenjen transportu osoba i materijala

Maksimalna vlastita masa radne košare	200kg
Masa motornog uređaja i kočnica	
1 x 110 + 2 x 9,0	128 kg
Ukupna nosivost dizaličnog uređaja	2000 kg
Motorna oprema	elektromotor TIRAK X 2057 P
Sigurnosne kočnice na podižućoj košari:	
2x automatski centrifugalni BLOCSTOP BSO 1020	
Promjer ovjesnoga sajle	Ø14 mm dužine 200 m
Promjer vodećih kočničnih čeličnih užeta	
2 x Ø9 mm dužine 200 m	
Brzina kretanja podizne radne košare u oba smjera	0-12 m/min
Maksimalno dopušteno opterećenje podizne košare	250 kg
Instalirana snaga:	5,5 kW

IV. Podižuća radna košara

Podižuća je košara prostorna čelična konstrukcija od zatvorenih kvadratičnih profila i dijagonala od okruglih šipki rebraste armature, oblikovana tako da prati cilindričnu plohu armiranobetonske stjenke dimnjaka. Na gornjem dijelu ojačanog nosača u sredini košare postavljen je prsten za prihvat nosivoga 14 mm čeličnog užeta. Dublji dio košare oblikovan je tako da ulazi u prostor postojećih galerija i da radnici mogu s galerije ulaziti i izlaziti iz podižuće košare.

Na obje bočne strane košare usidren je centrifugalni BLOCSTOP BSO 1020 kroz koji prolazi vodeće, odnosno sigurnosno čelično uže Ø9 mm.

Opis sanacijskih radova na vanjskom dijelu dimnjaka

Nakon temeljitog čišćenja podloge i mjestimično potrebnog reprofiliranja epoksidnim mortom, dvobojna površinska zaštita gornjeg dijela dimnjaka (na temelju pokusima podržanog projektiranja) učinjena je višeslojna kombinacija poliuretanskih sistema primer+debeloslojni međusloj + završni sloj (NOVAPOX impregnacija + SIPROTAN+NOVAPUR P) (slika 5.).

Ispitivanje prionjivosti *pull-off* metodom obavio je Geoexpert.

Brtvljenje prstenova učinjeno je poliuretanskim UV stabilnim kitom Sikaflex PRO-2HP

Pukotine si injektirane sistemom na bazi poliuretana, sistem PCI-Apogel.

Oštećeni su nosivi elementi bravarije (penjalice, konzolni nosači) popravljeni, a gazišta su zamijenjena novim od mrežastih lamela površinski zaštićenim sistemom HEMPEL Primer Light 4555; Poly Enamel 5510; 30100.

Elektroinstalacija i rasvjeta dimnjaka u cijelosti su zamijenjeni.



Slika 5. Ličenje dimnjaka

5 Zaključak

Tijekom višegodišnje eksploatacije u nepovoljnim i promjenjivim okolnostima oštećeni elementi dimnjaka H = 140 m u TE Sisak sanirani su u razdoblju od 1. 4. 2003 do 30. 10. 2003. i dimnjak je ponovno stavljen u funkciju.

Primijenjena su rješenja s obzirom na vremenski razmak upotrebom suvremenijih materijala za reparaturu i površinsku zaštitu dijelom osuvremenjena; na pojedinim dionicama dimovodnih kanala probno je primijenjeno više formulacija mlaznih kiselootpornih betona, a isto tako pri ozidu primijenjen je vlastiti *know-how* dodatnog osiguranja ugrađenih blokova ozida ugradnjom umreženih sidara.

Kako se gradnja novih i kompletna sanacija postojećih dimnjaka ne događaju baš često, na osnovi stečenih is-

kustava provedbom sanacije dimnjaka H = 200 m (2002.) i dimnjaka H = 140 m (2003.) u TE Sisak, radi što dugotrajnije upotrebe saniranog dimnjaka, preporučuje se sljedeće:

- površinska zaštita i donjeg dijela armiranobetonskog plašta,
- na površinama više zahvaćenim kiselinskom korozijom odgovarajućim pretpremazom obraditi oštećene dijelove armiranobetonskih zidova prevođenjem topivih soli kao što su sulfati i kloridi u teško
- topive odnosno netopive spojeve,
- ojačavanje mlaznim kiselootpornim betonom cijele unutrašnje obloge zidova dimovodnih kanala,
- kontinuirano nadziranje dimnjaka (sastav plinova, temperature) ugradnjom odgovarajućih senzora
- postavljanje dimnjačke otklopno-zaklopne kape (zaštita od atmosferilija kad dimnjak nije u pogonu).

LITERATURA

- [1] DIN 1057 Teil 1; Teil 2 *Baustoffe für freistehende Schorsteine Formsteine für das Futter, Anforderungen, Prüfung, Überwachung*
- [2] Perkins, Philip H.: *Concrete structures: Repair waterproofing and protection*, Applied science publishers LTD London
- [3] Urličić, M.: *Zahtjevi za materijale za oblaganje industrijskih dimnjaka*, Seminar o vatrostalnim i kiselootpornim materijalima, (Zagrebački velesajam 17. 9. 1985.)
- [4] Engel, V.; Rademacher, F.: *Fachkunde für den Feuerungs- und Schornsteinbau*, Deutsche Gesellschaft Feuerfest- und Schornsteinbau e.V. Schillerstrasse 33, Dusseldorf 1
- [5] ACI STANDARD 1322 Specifikacija za projektiranje i gradnje armiranobetonskog dimnjaka
- [6] Erby, M.: *Technicka sprava oprava 200 m Komina TE-Sisak*, Košice, 2002.

