

# UTICAJ RADNE SREDINE NA POJAVU OŠTEĆENJA OPEKARSKIH PROIZVODA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA

Radomir VASIĆ  
Zagorka RADOJEVIĆ  
Miloš VASIĆ

STRUČNI RAD  
UDK: 692.2:693.25]:620.193.4

## 1 UVOD

Postojanost i trajnost opekarskih proizvoda u građevinskim konstrukcijama je vrlo velika i dokazana o čemu svedoči niz dobro očuvanih građevina i ostataka čovekovih naseobina starih i više hiljada godina<sup>1/</sup>. Ipak, usled štetnih uticaja iz okolne sredine dolazi do destrukcije i ovih pouzdanih konstrukcionih materijala. Razlog za pojavu sve većih oštećenja, ovih konstrukcionih materijala, najverovatnije leži u klimatskim promenama, povećanoj zagađenosti okolne sredine, posebno u gusto naseljenim gradskim sredinama i industrijskim zonama, prisustvu kiselih gasova u atmosferi, povećanoj brzini gradnje i neusklađenosti u ponašanju različitih materijala u građevinskim konstrukcijama. Do propadanja opekarskih proizvoda, odnosno do smanjenja njihovih upotrebnih karakteristika, dolazi kao rezultat uticaja dva dominantna faktora iz okolne sredine: korozionog i erozionog.<sup>2, 3, 4/</sup>

Pod terminom "korozija" podrazumeva se propadanje materijala usled hemijskih i elektrohemijskih procesa koji se odigravaju na površini ili u unutrašnjosti opekarskih

materijala usled delovanja okolne sredine. U slučaju korozivnog dejstva okolne sredine, proces smanjenja mehaničkih karakteristika, odnosno destrukcija opekarskih proizvoda je povezana sa prodorom vode, vlage ili nekog drugog agresivnog agensa iz okolne sredine u opekarski proizvod<sup>5,6/</sup>. Termin "erozija" označava propadanje materijala izazvano mehaničkim delovanjem okolne sredine na površinu opekarskih proizvoda. Destrukcija opekarskih proizvoda izazvana erozionim delovanjem je relativno retka pojava kod zidanih konstrukcija. Sa njom se srećemo uglavnom u naseljima na obodu pustinskih oblasti gde usled kombinovanog dejstva peska i vetra je ovakva pojava destrukcije dominantna. Propadanje opekarskog materijala usled kristalizacionog pritiska pri nastanku leda kao i brašnjasto raspadanje površina opeka usled hidratacionih i kristalizacionih pritisaka u zidovima je takođe jedan od oblika erozionog propadanja materijala.

Svakako jedan od najdominantnijih uticaja okolne sredine na trajnost opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama je i temperatura okolne sredine<sup>7,8,9/</sup>. U slučaju prodora vode u poroznu strukturu opekarskog materijala uz istovremeno dejstvo mraza, odnosno negativne temperature okolne sredine, dolazi do smrzavanja vode u porama opekarskih proizvoda i pojave leda. Pojava leda u porama opekarskih proizvoda usled nastanka kristalizacionih pritisaka dovodi do pritiska na zidove pora što u određenim slučajevima dovodi i do njihovog pucanja, pa čak i do destrukcije opekarskih proizvoda. Destrukcija opekarskih proizvoda se manifestuje odvajanjem delova keramičkog materijala od površine materijala koja je bila izložena dejstvu okolne sredine.

U određenim slučajevima, kod opeka koje sadrže veće količine rastvornih soli, u delovima neštićenih zidova koji su izloženi navlaživanju u toku jednog dužeg vremenskog perioda, može doći do pojave „brašnastog“ raspadanja površine opeka, odnosno do erozije njene vidne površine.

---

Dr Radomir Vasić, dipl.inž.tehn., naučni savetnik,  
Institut za ispitivanje materijala a.d.  
11000 Beograd, Bulevar vojvode Mišića br.43  
e-mail: radomir.vasic@institutims.rs  
Dr Zagorka Radojević, dipl.inž.tehn., viši naučni  
saradnik, Institut za ispitivanje materijala a.d.  
11000 Beograd, Bulevar vojvode Mišića br.43  
e-mail:zagorka.radojevic@institutims.rs  
Miloš Vasić dipl.inž.tehn.,  
Institut za ispitivanje materijala a.d.  
11000 Beograd, Bulevar vojvode Mišića br.43  
e-mail:milos.vasic@institutims.rs

## 2 VRSTE KOROZIONIH PROCESA KOJI SE ODIGRAVAJU KOD OPEKARSKIH PROIZVODA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA POD DEJSTVOM FAKTORA IZ OKOLNE SREDINE

Opekarski proizvodi su najzastupljeniji proizvodi iz grupe keramičkih konstrukcionih materijala u zidanim konstrukcijama. U principu se može reći, da okolna sredina atakuje na keramičke konstrukcione materijale i kao rezultat tog delovanja stvara se reakcioni produkt<sup>15/</sup> koji može biti:

- čvrst,
- tečan,
- gasovit ili
- kombinacija napred navedenih produkata.

Ovi korozioni produkti, mogu kasnije nastaviti da dalje reaguju sa keramičkim konstituentima proizvoda ili mogu stvarati zaštitni sloj koji će štiti keramički konstrukcioni proizvod od agresivnog dejstva okolne sredine. Kada se stvara čvrst reakcioni produkt on obično stvara zaštitni sloj koji u početku usporava a kasnije i u potpunosti sprečava dalji nastanak korozije. U nekim slučajevima kada je reakcioni produkt kombinacija čvrste i tečne materije, reakcioni sloj može biti uklonjen u procesu erozije i u takvim slučajevima, korozija keramičkog proizvoda se nastavlja. Svaki od napred iznetih slučajeva treba pažljivo razmatrati posebno sa aspekta mesta ugradnje u zidanim konstrukcijama.

U realnim sistemima, kao što je prirodno okruženje, u procesu korozije opekarskih konstrukcionih materijala se odigravaju različiti procesi<sup>10,11/</sup> tako da ne postoji jedan opšti model kojim se mogu opisati svi slučajevi korozije. Ipak, na građevinske opekarske konstrukcione materijale i njihovu postojanost na korozione utiče iz okolne sredine znatno utiče proizvodni proces i „priroda“ opekarskog materijala odnosno mineraloški sastav polazne sirovine. Kada se radi o neugrađenom opekarskom materijalu, korozija materijala zavisi od od strukturnih karakteristika materijala. Što je materijal kompaktniji i što su čestice međusobno bolje povezane to je i njegova koroziona postojanost veća<sup>5,6/</sup>.

Prema Budnikovu<sup>5/</sup> korozija keramičkih konstrukcionih materijala može se podeliti na tri osnovne grupe:

- prema vrsti korozione sredine (gasna i tečna sredina);
- prema načinu manifestovanja propadanja keramičkog materijala (ravnomerna i neravnomerna) i
- prema procesima (hemijska i elektrohemijska korozija).

Ovako striktnu podelu je veoma teško napraviti u praksi, pogotovo kada su u pitanju ugrađeni opekarski proizvodi ili proizvodi od gas betona, jer se radi o uporednom odigravanju više korozivnih procesa, pa se i razvrstavanje vrši prema najizraženijim posledicama štetnog delovanja okolne sredine<sup>12/</sup>.

Korozija opekarskih proizvoda se uglavnom odvija u gasnoj sredini a ređe u tečnoj sredini. Tipičan primer za koroziju opekarskih proizvoda u gasnoj sredini je vlažno širenje proizvoda koje je posledica adsorpcije vodene pare na unutrašnjoj površini amorfni silikata koji su prisutni u pečenom proizvodu od gline<sup>13,14/</sup>.

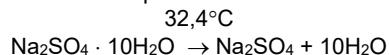
Na osnovu manifestovanja štetnih posledica opekarski proizvodi se mogu razvrstati u grupu proizvoda kod kojih je manifestovanje propadanja

materijala neravnomerno odnosno za koje je karakteristična neravnomerna korozija. Opekarski proizvodi se proizvode od opekarskih sirovina veoma različitog mineraloškog sastava. U principu kompozitni sastav za proizvodnju opekarskih proizvoda se formira umešavanjem više različitih proslajaka sirovine sa gliništa. Zbog različitog mineraloškog sastava u toku pečenja opekarskog materijala dolazi do delimičnog ili potpunog kolapsa polaznih kristalnih silikatnih struktura i nastanka novih amorfni i kristalnih tvorevina<sup>15,16/</sup>. Otuda i pojedini keramički konstituenti opekarskih proizvoda imaju različitu postojanost prema korozivnom dejstvu okolne sredine.

U principu korozioni procesi koji se odigravaju u opekarskim proizvodima u zidanim konstrukcijama su hemijskog karaktera. Hemijska reakcija se odigrava u kontaktu hemijskih agenasa iz okolne sredine i keramičkih konstituenata opekarskih proizvoda<sup>17/</sup>.

## 3 VRSTE EROZIONIH PROCESA KOJI SE ODIGRAVAJU KOD OPEKARSKIH PROIZVODA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA POD DEJSTVOM FAKTORA IZ OKOLNE SREDINE

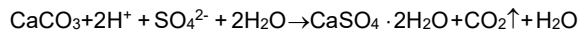
Do erozije izazvane nastankom mehaničkog oštećenja usled hidratacionih pritiska na zidove pora unutar porozne strukture keramičkog materijala, može doći u određenim slučajevima<sup>4,18/</sup>. Do pojave hidratacionih pritiska u porama poroznog keramičkog materijala dolazi usled promene relativne vlažnosti i temperature okolne sredine, u svim slučajevima kada prisutna so kristališe stvarajući soli različitog stepena hidratacije. Kao posledica takvog delovanja dolazi do brašnjavog raspadanja površine opekarskog proizvoda odnosno njegove erozije. Tako na primer, Glauberova so ( $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) je postojana do temperature od  $32,4^\circ\text{C}$ , a iznad ove temperature prelazi u bezvodnu so Tenardit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) a što se može prikazati sledećom reakcijom:



←

Ovde treba istaći i činjenicu da temperatura prekrizacije zavisi i od prisustva drugih vrsta soli u rastvoru tako da u prisustvu  $\text{MgSO}_4$  temperatura prekrizacije Glauberove soli u Tenardit će se odigrati na temperaturi od  $27^\circ\text{C}$ , a u prisustvu  $\text{MgCl}_2$  ova prekrizacija će se odigrati na temperaturi od  $15^\circ\text{C}$ . Sve ove promene, vezane za promenu sadržaja kristalnih voda<sup>4/</sup>, kod određenih vrsta rastvornih soli odigravaju se u temperaturnom području od  $0^\circ\text{C}$  do  $42^\circ\text{C}$  i pri relativnoj vlažnosti vazduha od 50% do 80% pri čemu je zapremina novostvorene soli skoro dva puta veća od polazne.

Do pojave kristalizacionih pritiska na zidove pora dolazi usled izdvajanja i rasta kristala rastvornih soli iz presičenih rastvora ili usled prekrizacije jedne vrste soli u drugu<sup>18,19/</sup> na temperaturi okolne sredine većoj od  $0^\circ\text{C}$ . Tako na primer, kalcijum karbonat prisutan u porama opekarskih proizvoda može biti preveden pod dejstvom kiselih kiša, u kalcijum sulfat prema sledećoj reakciji:



Proizvodi iz grupe građevinske keramike su u toku eksploatacije često izloženi dejstvu niskih temperatura iz okolne sredine. U slučajevima kada je prodor vode u keramički materijal povezan sa pojavom napona leda, pri čemu je sadržaj kritičnih pora veličine  $< 3\mu$  dominantan unutar opekarskog materijala, dolazi do pojave mehaničkog oštećenja proizvoda odnosno njegove destrukcije<sup>20/</sup>. Najčešći uzrok nastanka oštećenja opekarskih proizvoda u zidovima građevinskih objekata je loša otpornost pečenog opekarskog materijala prema dejstvu mrazu. Oštećenja opekarskih proizvoda usled mraza mogu se smatrati specifičnim oblikom erozije opekarskih proizvoda usled sprečenog širenja kristala leda unutar pora opekarskog proizvoda.

Zbog kapilarne kondenzacije u porama opekarskih proizvoda javlja se tečna faza - voda, već pri relativno niskim sadržajima vlage u vazduhu, tako da su opekarski proizvodi koji sadrže rastvorne soli iznad propisanih granica izloženi jakim kristalizacionim i hidratacionim pritiscima u unutrašnjosti materijala, koji vremenom mogu dovesti i do destrukcije materijala. U ovakvim slučajevima dolazi do pojave "brašnastog" razaranja površinskog sloja materijala, a intenzitet promena je vrlo teško predvidiv<sup>19,21/</sup>.

Zadnjih godina je sve uočljivija pojava destrukcije opekarskih proizvoda usled prisustva kiselih gasova u atmosferi. Ispitivanja delovanja atmosfere sa povećanim sadržajem  $SO_2$  na crepove od gline pokazala su da u njegovom prisustvu dolazi do povećanja sadržaja rastvornih soli i do smanjenja savojne čvrstoće i povećanja upijanja vode. Eksperimentalno je utvrđeno da u reakciju sa  $SO_2$  iz okolne sredine stupaju skoro svi katjoni ( $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  i  $Fe^{3+}$  izuzev  $Si^{4+}$ ) prisutni u keramičkom crepu<sup>22/</sup>.

#### 4 KOROZIJA OPEKA U NEŠTIĆENIM I ŠTIĆENIM ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA

Najčešći uzroci nastanka oštećenja opekarskih proizvoda u zidovima građevinskih objekata su:

- loša otpornosti pečenog opekarskog materijala prema dejstvu mraza
- odigravanje fenomena vlažnog širenja u zidanim konstrukcijama u uslovima sprečenog širenja ugrađenog materijala i
- prisustvo rastvornih soli u pečenom materijalu.

Na slikama br.1 i br.2 dat je prikaz oštećenja zida od opeka kao posledica dejstva delovanja mraza.

Do pojave leda u porama opekarskih proizvoda dolazi u slučajevima kada je opekarski proizvod neotporan prema dejstvu mraza, kada je zid navlažen i kada je dovoljno dugo bio izložen dejstvu niskih temperatura. Samo u tim slučajevima opekarski proizvodi u neštićenim ili nedovoljno dobro šticećenim konstrukcijama posle određenog vremena kada su izloženi naizmeničnom smrzavanju i odmrzavanju pokazuju pojavu oštećenja odnosno destrukcije materijala. Razmere oštećenja zavise od karakteristika ugrađenog materijala, navlaženosti zida, "broja ciklusa" smrzavanja i odmrzavanja, visine negativne temperature i  $dr^{23/}$ .



Sl. 1: Prikaz oštećenja fasadnog zida od opeka kao posledica dejstva mraza



Sl. 2: Prikaz oštećenja fasadnog zida od opeka kao posledica dejstva mraza

Fenomen vlažnog širenja koji se odigrava kod svih keramičkih proizvoda sa poroznim crepom je tipičan primer korozije u gasnoj sredini. Za ovu vrstu korozije koja predstavlja specifičan slučaj hemijske korozije pri odsustvu kondenzacije vlage na površini keramičkog materijala se dugo veoma malo znalo u naučnim i stručnim krugovima a tek od pre četiri godine je i zvanično od strane ASTM-a i razvrstana u korozione procese<sup>6,12/</sup>. Ovaj fenomen odnosno njegove štetne posledice u slučaju sprečenog širenja su naročito izražene kod opekarskih proizvoda proizvedenih od kaolinitsko feldspatnih glina<sup>3/</sup>.

Fenomen vlažnog širenja je posledica odigravanja adsorpcije vodene pare na unutrašnjoj površini amorfnih silikata koji su prisutni u pečenom proizvodu od gline<sup>24/</sup>. Ovaj proces započinje još u procesu hladjenja proizvoda u peći, tj. na temperaturama ispod  $400^{\circ}C$  i traje sve dok proizvod fizički egzistira.

Na slikama br. 3 i br. 4 dat je prikaz oštećenja neštićenog fasadnog zida nastalog kao posledica dejstvom fenomena vlažnog širenja u slučaju sprečenog širenja.

Štetne posledice fenomena vlažnog širenja, kao specifičnog oblika hemijske korozije su veoma rasprostranjene u građevinskoj praksi a naročito su izražene u slučaju sprečenog širenja<sup>25/</sup>. Na slikama br.3 i br.4 dat je prikaz pojave raspadanja opeka u fasadnom zidu na jednom stambenom objektu kao posledica sprečenog

širenja. Razmere oštećenja u zidanim zidovima mogu biti veoma velike kao što se to može videti na slikama br. 5,6,7.i 8.



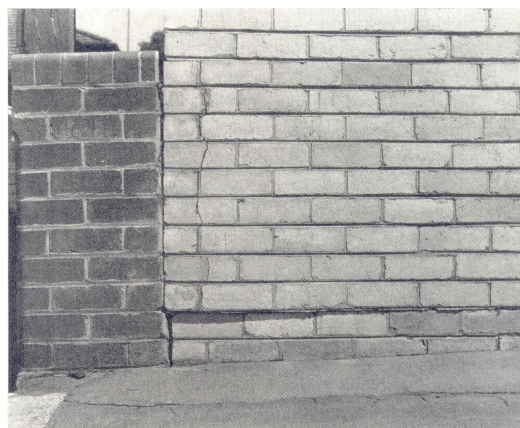
Sl. 3: Prikaz oštećenja fasadne obloge od opeka usled vlažnog širenja



Sl. 4: Prikaz oštećenja fasadnog zida od opeka usled vlažnog širenja



Sl. 5: Usled pojave napona u zidu dugom 20 m došlo je do pucanja betonskog stuba

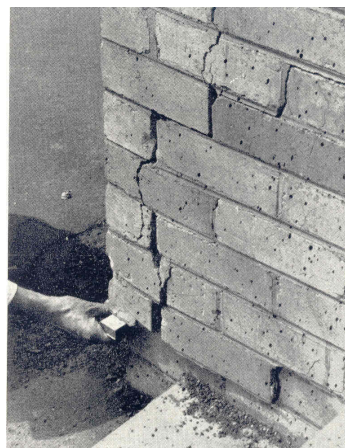


Sl. 6: Na mestu sučeljavanja dva zida usled pojave napona u zidu javlja se pukotina

U literaturi su zabeležene i tako katastrofalne posledice delovanja ovog fenomena kao što su slučajevi rušenja Kraljevske bolnice u Melburnu – Australija<sup>26/</sup> ili zgrade biblioteke Tehničkog Instituta u Masačusetu<sup>27/</sup>.



Sl. 7: Pomeranje zida od 2 cm usled vlažnog širenja opeka



Sl. 8: Pomeranje drugog zida usled vlažnog širenja opeka

Mada postoji više hipoteza o uzrocima nastanka ovog fenomena<sup>13/</sup>, ni jedna hipoteza ne daje konačan odgovor. Zbog toga ovaj fenomen se proučava već više od 100 godina od strane saradnika CSIRO-a u Australiji i zahvaljujući njihovim naporima i rezultatima merenja promena zapremine opeka u toku lagerovanja od strane saradnika iz Instituta BDRI iz Pretorije, danas naučna i stručna javnost raspolaže sa empirijskim jednačinama za prognozu maksimalno očekivanih povećanja zapremine u toku 5, 10 i 20 godina od dana izlaska proizvoda iz peći<sup>128/</sup>.

Štetne posledice delovanja ove vrste korozije uočene su i u slučaju nesprečenog širenja opekarskih proizvoda<sup>29/</sup> ali u znatno manjoj meri i manifestuju se smanjenjem mehaničkih karakteristika proizvoda za 5% do 12%.

Na slikama br. 9 i br. 10 dat je prikaz oštećenja zida prouzrokovan iscvetavanjem rastvornih soli na površini neštićenih zidova.



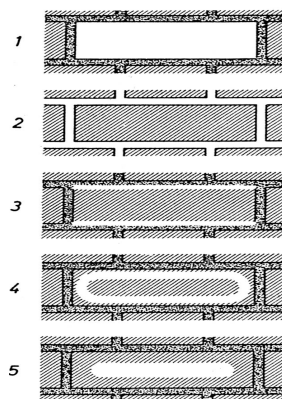
Sl. 9: Prikaz iscvetavanja rastvornih soli na površini fasadnog zida od opeka



Sl. 10: Prikaz brašnjavog raspadanja opeka kao posledica iscvetavanja rastvornih soli iz opeka

Pojava eflorescencije odnosno pojava rastvornih soli je karakteristična štetna posledica delovanja okolne sredine na opekarske proizvode ugrađene u zidove zidanih konstrukcija. U slučaju neštićenih zidanih konstrukcija odnosno fasadnih zidova od opeka, pojava ružnih belih, blede žutih, zelenih ili plavičastih fleka najčešće smanjuje estetske karakteristike zidanih konstrukcija i dovodi do "likovnog zagađenja" okolne sredine<sup>25/</sup>, a retko i do brašnjavog raspadanja opekarskih

proizvoda. Na slici br. 11 dat je šematski prikaz mogućih tipičnih pojava isvetavanja na jednom fasadnom zidu.



- Iscvetanje pod brojem 1 predstavlja iscvetavanje koje potiče iz opeka.
- Isvetavanje pod brojem 2 predstavlja tipično iscvetavanje za koje je su odgovorne soli prisutne u malternom vezivu.
- Isvetavanje pod brojem 3 i 4 predstavlja iscvetavanje koje se javlja na fugama i na ivicama opeka ili u obliku prstenastog isvetavanja na površini opeka i za ovu vrstu iscvetavanja mogu biti odgovorne soli koje potiču ili iz opeka ili iz maltera.
- Isvetavanje pod brojem 5 predstavlja specijalan vid iscvetavanja vanadijumskih soli, pri kome se obojeni delovi površine opeka, najčešće plavičasto zelene ili žuto zelene boje, obezbojavaju pod dejstvom alkalija iz malternog veziva.

Sl. 11: Šematski prikaz slučajeva pojave iscvetavanja rastvornih soli na zidu od opeka

Do pojave eflorescencije može doći i usled delovanja zagađene atmosfere u blizini fabričkih krugova (na primer fabrika veštačkih đubriva, sumporne kiseline itd.), kao i usled pogrešnog izvodjenja ukrasnih elemenata na zgradama.

Čest je slučaj da su ispusti na zgradama izvedeni od krečnjaka i da su bez ikakve zaštite prepušteni dejstvu zagađene okolne sredine. Ove vrste ispusta u obliku nadstrešnica, fasadnih venaca, doksata i dr., često su po želji arhitekata ili investitora ukomponovane u fasadne celine izgrađene od crvenih opeka. Takvi tehnički detalji, često su loše zamišljeni i izvedeni, tako da se voda u kojoj je rastvoren krečnjak sliva niz fasadu i prodire u zid. Kasnije pod dejstvom sumpornih gasova iz vazduha, na površini opeka se stvara kalcijum sulfat, čime se u znatnoj meri narušava estetski izgled zida.

U slučaju šticećenih zidanih konstrukcija do pojave iscvetavanja dolazi u principu u toku zidanja a vrlo retko po završenom zidanju i malterisanju. U kontaktu opekarskih proizvoda sa malterom u toku zidanja sa jedne strane imamo direktan prelaz soli maltera na opekarski proizvod, a sa druge strane dolazi i do reakcija izmene koje se odigravaju u opekarskom proizvodu usled dejstva kalcijum hidroksida iz maltera, pri čemu dolazi do izmena i nastajanja novih alkalnih jedinjenja. Oba ova procesa odigravaju se u zidu, manje više prinudno, u toku zidanja<sup>17/</sup>. Iscvetale soli prilikom nanošenja maltera sprečavaju uspostavljanje dobre veze između malterskog sloja i zida od opekarskih proizvoda. U slučaju značajnog iscvetavanja soli  $MgSO_4$  ili  $Na_2SO_4$  može doći do pojave odvajanja delova ili čak i većih

omalterisanih površina. Razmere štetnih posledica mogu biti veoma velike, kao što je to bio slučaj prilikom radova na nekim gradilištima u Iraku sedamdesetih godina prošlog veka. Ipak, ovaj proces dovodi do pojave iscvetavanja samo u retkim slučajevima.

Pojava ovako drastičnih primera štetnog delovanja okolne sredine na opekarske proizvode u zidanim konstrukcijama je relativno retka ali joj treba pokloniti dužnu pažnju s obzirom na razmere štetnih posledica koje mogu nastati. Na veličinu ispoljavanja korozivnih procesa opekarskih proizvoda u znatnoj meri može uticati :

- izbor materijala
- projektanska rešenja zidane konstrukcije i
- način izvođenja radova

Na slikama br. 12 i br. 13 dat je prikaz pojave iscvetavanja u toku izgradnje štitenih zidova.



Sl. 12: Pojava iscvetavanja rastvornih soli u toku gradnje objekta



Sl. 13: Pojava iscvetavanja rastvornih soli u toku gradnje objekta

## 5 ZAKLJUČAK

Korozija opekarskih konstrukcionih materijala nastaje kao posledica odvijanja velikog broja hemijskih reakcija i fizičkih procesa često teško predvidljivih, sa kojima se srećemo u svakodnevnoj graditeljskoj praksi.

Da bi se korozija građevinskih keramičkih materijala smanjila na što manju meru, neophodno je pridržavati se nekih osnovnih načela:

- Koristiti što kompaktniji keramički materijal, pečen na višim temperaturama jer su čestice unutar materijala međusobno bolje povezane pa je i njegova koroziona postojanost veća.

- Zaštiti opekarski materijal na skladištu od navlaživanja. Zaštiti zidanu konstrukciju u toku zidanja i u periodu od 48 po završenom zidanju od atmosferskih padavina i zaštiti isturene delove zidane konstrukcije od prekomernog navlaživanja u toku eksploatacije.

- Da bi se sprečile posledice vlažnog širenja u zidanim konstrukcijama, neophodno je obezbediti nesmetano širenje opeka u podužnom i poprečnom pravcu pomoću dilatacionih spojnica ispunjenih trajnoelastičnim materijalima.

Kada se želi zadržati lep estetski izgled vidnih površina opekarskih konstrukcionih materijala u jednom dužem vremenskom periodu, ili kada se želi sprečiti pojava oštećenja usled dejstva mraza ili usled iscvetavanja soli sprovodi se preventivna hidrofobna zaštita. Preventivna hidrofobna zaštita opekarskih konstrukcionih materijala u zidanim konstrukcijama, vrši se nanošenjem hidrofobnih premaza, na bazi silikonskih preparata, na suhu površinu zidane konstrukcije u cilju sprečavanja prodora vode u zidanu konstrukciju.

### Napomena:

Ovaj rad je urađen u okviru Projekta TP-19020 koji je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

## 6 LITERATURA

- [1] R.Vasić, O.Janjić: "Korozija keramičkih materijala pod uticajem spoljne sredine sa posebnim osvrtom na primenu keramičkih podnih pločica u kiseloj agresivnoj sredini". Jugoslovensko savetovanje "Korozija i propadanje građevinskih materijala i njihova zaštita". Split, Zbornik referata, 1985, 197-207.
- [2] R. Vasić: "Influence of pore - size distribution on frost resistance and moisture expansion of bricks". The IMS Institute Bulletin, Special issue: Structural ceramics, VII, (1), October 1992, 15-18.
- [3] R.Vasić: "Prilog proučavanju fenomena vlažnog bubrenja fasadnih opeka proizvedenih od domaćih opekarskih glina", Doktorska teza, TMF, 1990, 112-115.
- [4] J.Francisković, M.Pagon-Tadej, B.Punek: "Korozija, propadanje građevinskih materijala i njihova zaštita", Izdanje Zavoda za tehničko izobražavanje Ljubljana, 1985, 165-185.
- [5] P.Budnikov i F.Haritonov: "Keramičeskie materialy dlj agresivnih sred", Izdateljstvo literaturi po stroiteljstvu, Moskva, 1971.god.
- [6] R. A. Mc Cauley : "Corrosion of ceramic and Composite Materials" Book, ISBN 0824753666. Published by Marcel Dekker, 2004, 1 - 408.
- [7] R.Vasić i S. Despotović: "Uticaj radne sredine na koroziju građevinske keramike", Časopis "Izgradnja", 4, 1996, 277-279.
- [8] R.Vasić, O.Janjić: "Oštećenja fasadnih površina od opeke izazvana dejstvom rastvornih soli i mraza". II Jugoslovensko savetovanje o sanaciji zgrada. Maribor, Zbornik radova, 1986, 46-55. UDK 69.022:693.2.

- [9] R.Vasić, O. Janjić.: "The influence of Micro-Climatic Condition of Phenomenom of Ceramic Tiles Moisture Expansion", European Ceramic Society, Second Conference, September 11-14, 1991, Augsburg, FRG, Zbornik radova, Vol. 3, 1991, 2669-2672.
- [10] R. Vasić and S. Despotović: "Moisture expansion cracking phenomenon in handmade pottery products" British Ceramic Transaction, vol. 97, No 3, 1998, 133-135.
- [11] J.A.Sokolov, W.P.Boschuchin, T.S.Jakobsohu: "Über die Ausblehungen on keramischem Verkleidungameterial", Die Ziegeindustrie, 4, 1964, 122-124.
- [12] "ASTM Test Methods relateded to Corosion of ceramics": C-370, Vol. No 15.02.
- [13] R.Vasić.: "A Supplement to the Study of Moisture Expansion Phenomenon of Facing Bricks", Fourth Euro Ceramic, Vol.12, "Bricks and Roofing tiles", 1995, 89-96, Printed in Italy
- [14] T.Demediuk and F.Cole : J.Amer.Ceram Soc. 43 1960, 359-367
- [15] M.Albenque : Les Cahiers de la Terre Cuite, N° 2, 1974, 72-93, Centre Technique des Tuiles et Briques, Paris.
- [16] T. Emiliani and P. Vincenzini: "Clay mineralogy and ceramic processes and products", Bologna,1974, 159-178.
- [17] R.Vasić i D. Jašović: "Pojava rastvornih soli u toku izgradnje zidova od fasadne opeke", II Simpozijum SHD o keramici i staklu sa međunarodnim učešćem, 1994, 245-248.
- [18] S.Lorec: "Etude des composants hydrosolubles des ceramiques d'argiles", D433/D312, Bull. Soc. Francaise de Ceramique, 1968.
- [19] Butterwarth B.: "Efflorescence and staining of Brickwork", Ziegelindustrie, 16, 1963, 26-32.
- [20] M. Maage: "Frost resistance and pore size distribution of bricks", Part 2, Ziegelindustrie International, 10/90, 1900, 582-588
- [21] W. Brownell: "Eflorescence resulting from Sulfates in Clay Raw Materials", Journal of the American ceramic Society, 8, 1958, 310-314.
- [22] E. Schmidt: "Ausblehungen", Ziegelindustrie, 14, 1961,157-163.
- [23] R.Vasić and P. Petrović.: "Defects on facade brick walls investigations, checking and recommendations for repairing", Proceedings of the International Symposium "Dealing with defects in building" - Part I, Varenna, 1994, 417-422.
- [24] A. Smith: Tran. Brit. Ceram. Coc., 54, 1955, 300-318.
- [25] P.Petrović, R.Vasić:"Oštećenje omotača od fasadnih opeka - jedan od razloga za preispitivanje odnosa arhitekture i tehnologije građenja" Bilten industrije glinenih proizvoda Srbije", 12, 1992, 13-14. Časopis "IZGRADNJA", 9-10, 1992, 32-33.
- [26] J. Hosking and H Hueber: "Moisture xpansion of clay products with special reference to bricks" D.B.R Reprint No 206, Transaction of the VIIth International Ceramic Congress London, 1960, 3111-325.
- [27] I. Mc Burney: Proc. Amer. Soc. Test-Mater., 54, 1954,1219-1241.
- [28] F. Cole: "On the prediction of long-term natural moisture expnsion of fired clay bricks" J. Aust. Ceram Soc.1988, 263-271.
- [29] R.Vasić: "Fenomen vlažnog širenja i njegov uticaj na mehaničke karakteristike opekarskih proizvoda", Naučni skup "Mehanika, materijali i konstrukcije", SANU - Odeljenje Tehničkih nauka, Beograd, 17-19. april, Zbornik radova, 1995.16-24.

## REZIME

### UTICAJ RADNE SREDINE NA POJAVU OŠTEĆENJA OPEKARSKIH PROIZVODA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA

Radomir VASIĆ  
Zagorka RADOJEVIĆ  
Miloš VASIĆ

U radu je u kratkim crtama dat prikaz savremenih teorijskih postavki o koroziji i destrukciji opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama. U principu korozija opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama povezana je sa prodorom vode odnosno vlage u zidanu konstrukciju. Do oštećenja i degradacije opekarskih materijala u zidanim šticećenim i nešticećenim konstrukcijama u toku eksploatacije može doći usled: odvijanja hemijskih reakcija vode sa nekim od konstituenata u keramičkom materijalu; usled rastvaranja pojedinih konstituenata u porama materijala, hidratacionih i kristalizacionih pritisaka i kao posledica sprečenog širenja opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama usled odvijanja fenomena vlažnog širenja.

**Ključne reči:** korozija, destrukcija, opekarski proizvodi

## SUMMARY

### THE INFLUENCE OF THE SURROUNDING ENVIRONMENT ON APPEARING OF DESTRUCTION OF THE BRICK PRODUCTS IN MASONRY

Radomir VASIĆ  
Zagorka RADOJEVIĆ  
Miloš VASIĆ

In this paper the review has been given on the theoretical foundations of corrosion and destruction of the brick products in masonry. In principle corrosion of the brick products are connected with the penetration of water, that is, moisture in masonry. The appearing of corrosion and destruction of brick products in protected and unprotected masonry constructions can be the result of dissolution of soluble salts, hydrating and crystallizing pressures and a result of restrained expansion of bricks body in walls caused by moisture expansion phenomenon.

**Key words:** corrosion, destruction, brick products