



**DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE  
MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE**

**SIMPOZIJUM  
O ISTRAŽIVANJIMA I PRIMENI SAVREMENIH  
DOSTIGNUĆA U NAŠEM GRAĐEVINARSTVU  
U OBLASTI MATERIJALA I KONSTRUKCIJA**

**ZBORNİK RADOVA**

**XXIV KONGRES - DIVČIBARE  
15.-17. OKTOBAR 2008.**

Svi radovi u ovom Zborniku štampani su u autentičnom obliku, kako su dobijeni od autora.

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

624(082)

69(082)

666.7/.9(082)

**СИМПОЗИЈУМ о истраживањима и примени  
савремених достигнућа у нашем грађевинарству  
у области материјала и конструкција (2008 ;  
Дивчибаре)**

Zbornik radova / Simpozijum o  
istraživanjima i primeni savremenih  
dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti  
materijala i konstrukcija [u okviru skupa]  
Društvo za ispitivanje i istraživanje  
materijala i konstrukcija DIMK Srbije, XXIV  
kongres, Divčibare, 15.-17. oktobar 2008. -  
Beograd : Društvo za ispitivanje i  
istraživanje materijala i konstrukcija  
Srbije, 2008 (Beograd : Hektor print). - 530  
str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 170. - Bibliografija uz većinu radova.  
- Summaries.

ISBN 978-86-87615-00-7

1. Друштво за испитивање и истраживање  
материјала и конструкција Србије. Конгрес (24  
; 2008 ; Дивчибаре)

а) Грађевински материјали - Зборници б)

Грађевинске конструкције - Зборници

COBISS.SR-ID 151585036




---

**DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE  
MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE**

---

**XXIV KONGRES** – Divčibare 15.-17. oktobar 2008.

*Radomir Vasić<sup>1</sup>, Zagorka Radojević<sup>2</sup> i Miloš Vasić<sup>3</sup>*

**UTICAJ RADNE SREDINE NA KOROZIJU OPEKARSKIH  
PROIZVODA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA**

**Rezime:**

U radu je u kratkim crtama dat prikaz savremenih teorijskih postavki o koroziji 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 opekarskih proizvoda*

**THE INFLUENCE OF THE SUOURNDING ENVIRONEMENT  
ON APPEARING OF CORROSION OF THE BRICK  
PRODUCTS IN MASONRY**

**Summary:**

In this paper the review has been given on the theoretical foundations of corrosion 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 of the brick products*

---

<sup>1</sup> Dr, naučni savetnik, Institut za ispitivanje maerijala a.d. Beograd  
<sup>2</sup> Dr, viši naučni saradnik, Institut za ispitivanje maerijala a.d. Beograd  
<sup>3</sup> dipl.ing., istraživač pripravnik, Institut za ispitivanje maerijala a.d. Beograd

## 1 UVOD

Postojanost i trajnost opekarskih proizvoda u građevinskim konstrukcijama je vrlo velika, o čemu svedoči niz dobro očuvanih građevina i ostataka čovekovih naseobina starih i više hiljada godina. Do smanjenja fizičko mehaničkih i estetskih karakteristika građevinskih konstrukcionih materijala dolazi usled korozionih uticaja iz okolne sredine, prodora vode i kiselih kiša u pore ovih materijala. Pod terminom "korozija" podrazumeva se propadanje keramičkih materijala izazvano delovanjem okolne sredine.

U literaturi se mogu naći različiti modeli razvijeni u cilju opisivanja mehanizama korozije građevinskih keramičkih konstrukcionih materijala<sup>1,2/</sup>. U principu se može reći, da okolna sredina atakuje na keramički proizvod i kao rezultat tog delovanja stvara se reakcioni proizvod odnosno dolazi do korozije keramičkog materijala. Reakcioni produktat može biti:

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

Ovi produkti korozije, mogu kasnije nastaviti da dalje reaguju sa keramičkim proizvodom ili mogu stvarati zaštitni sloj koji štiti keramički proizvod od agresivnog dejstva okolne sredine. Kada se stvara čvrst reakcioni produkt on obično stvara zaštitni sloj protiv dalje 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.

U realnim sistemima, kao što je prirodno okruženje, u procesu korozije opekarskih konstrukcionih materijala odigravaju se različiti procesi tako da ne postoji jedan opšti model koji može opisati sve slučajeve korozije. Ipak, na građevinske opekarske konstrukcione materijale i njihovu postojanost na korozione uticaje iz okolne sredine znatno utiče proizvodni proces i „priroda“ opekarskog materijala odnosno mineraloški sastav polazne sirovine. Verovatno najispravnije bi bilo reći da korozija građevinskih opekarskih konstrukcionih 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.

Prema Budnikovu<sup>3/</sup> korozija keramičkih 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 elektrohemisjska korozija).

Fenomen vlažnog širenja koji se odigrava kod svih keramičkih proizvoda sa poroznim crepom je tipičan primer gasne korozije i naročito je izražen kod proizvoda iz grupe građevinske keramike. Tako na primer, fenomen vlažnog širenja je posledica odigravanja absorpcije vodene pare na unutrašnjoj površini amorfni silikata koji su prisutni u pečenom proizvodu od gline. Ulazak vode u porozni keramički materijal dovodi najčešće do neravnomerne - lokalne korozije materijala. Ovakva vrsta korozije nastaje:

- pri dejstvu različitih koncentracija agresivne sredine na pojedinim delovima keramičkog materijala;
- usled selektivnog rastvaranja jednog ili više konstituenata keramičkog materijala, usled rastvaranja topivih soli prisutnih u pečenom keramičkom materijalu i

- kao posledica neravnomerne raspodele staklaste i kristalne faze unutar keramičkog materijala.

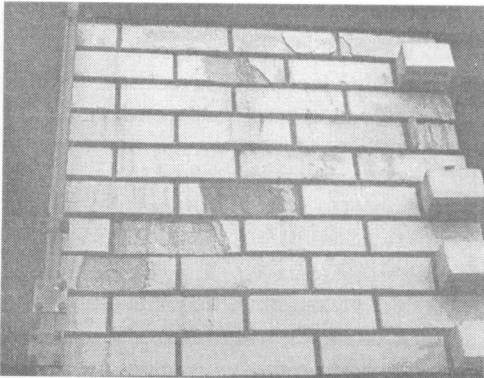
Obzirom da su proizvodi građevinske keramike u toku eksploatacije često izloženi i naglim promenama temperature kao i dejstvu niskih temperatura, prodor vode u keramički materijal povezan je i sa pojavom napona unutar keramičkog materijala. Tako na primer, pojava pritisaka na zidove pora unutar porozne strukture opeka na temperaturama ispod 0°C je posledica mehaničkog delovanja leda, odnosno posledica povećanja zapremine usled prelaska vode iz tečnog u čvrsto stanje.

Do pojave pritiska na zidove pora unutar porozne strukture keramičkog materijala, može doći i u temperaturnom intervalu od 0°C pa do 45°C kao posledica povećanja zapremine topivih soli usled promenljivog sadržaja kristalne vode.<sup>14/</sup>

Pojava ovako drastičnih primera štetnog delovanja okolne sredine na ovu vrstu građevinskih materijala je retka ali joj treba pokloniti dužnu pažnju sobzirom na razmere štetnih posledica koje mogu nastati.

## 2 KOROZIJA OPEKA U NEŠTIĆENIM ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA

Najčešći uzroci nastanka oštećenja opekarskih proizvoda u zidovima građevinskih objekata su posledica: loše otpornosti pečenog opekarskog materijala prema dejstvu mrazu, prisustva rastvornih soli u pečenom materijalu i sprečenog širenja ugrađenog materijala. Na fotografiji br.1 dat je prikaz oštećenja zida od opeka kao posledica dejstva delovanja mraza. Na fotografiji br.2 dat je prikaz oštećenja zida izazvano štetnim delovanjem rastvornih soli a na fotografiji br. 3. dat je prikaz oštećenja zida prouzrokovano dejstvom fenomena vlažnog širenja u slučaju sprečenog širenja opeka.



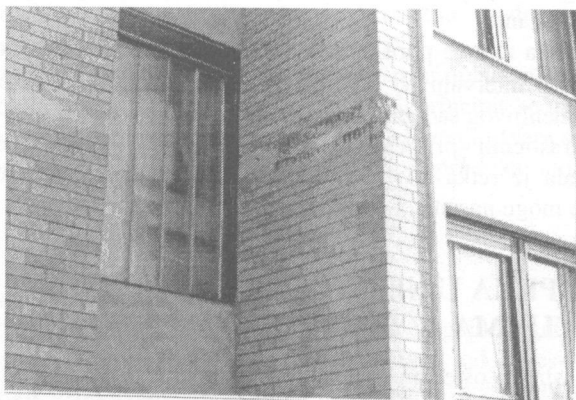
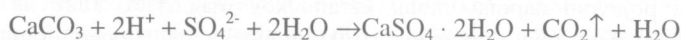
*Fotografija br.1*



*Fotografija br.2*

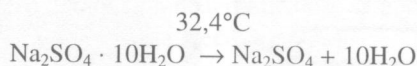
Do pojave leda u porama opekarskih proizvoda dolazi u slučajevima kada je opeka navlažena i kada je dovoljno dugo bila izložena dejstvu mraza, odnosno niskim temperaturama pri čemu dolazi do prelaska vode iz tečnog stanja u čvrsto stanje odnosno led. Do pojave kristalizacionih pritisaka na zidove pora dolazi usled izdvajanja i rasta kristala rastvornih soli iz

presićenih rastvora ili usled prekrystalizacije jedne vrste soli u drugu na temperaturi okolne sredine većoj od 0°C. Tako na primer, kalcijum karbonat prisutan u porama opekarskih proizvoda može biti preveden pod dejstvom kiselih kiša, u kalcijum sulfat prema sledećoj reakciji:



*Sl.br.3: Raspadanja opeka u fasadnom zidu kao posledica odvijanja fenomena vlažnog širenja u uslovima sprečenog širenja*

pri čemu je zapremina novostvorene soli skoro dva puta veća od polazne. Do pojave hidratacionih pritisaka 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. Tako na primer, Glauberova so ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) je postojana do temperature od 32,4°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 prekrystalizacije zavisi i od prisustva drugih vrsta soli u rastvoru tako da u prisustvu  $\text{MgSO}_4$  temperatura prekrystalizacije Glauberove soli u Tenardit će se odigrati na temperaturi od 27°C, a u prisustvu  $\text{MgCl}_2$  ova prekrystalizacija će se odigrati na temperaturi od 15°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°C do 42°C i pri relativnoj vlažnosti vazduha od 50% do 80%.

Zbog kapilarne kondenzacije u porama opekarskih proizvoda javlja se tečna faza - voda, već pri relativno niskim sadržajima vlage u vazduhu, tako da su ovi proizvodi izloženi jakim kristalizacionim i hidratacionim pritiscima u unutrašnjosti materijala, koji vremenom dovode i do destrukcije materijala. U ovakvim slučajevima dolazi do pojave "brašnastog" razaranja površinskog sloja materijala, a intenzitet promena je vrlo teško predvidiv<sup>5,6/</sup>. Zadnjih godina je

sve uočljivija pojava destrukcije opekarskih proizvoda usled prisustva kiselih gasova u atmosferi. Ispitivanja delovanja atmosfere sa povećanim sadržajem  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  iz okolne sredine stupaju skoro svi katjoni ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  i  $\text{Fe}^{3+}$  izuzev  $\text{Si}^{4+}$ ) prisutni u keramičkom crepu.

Štetne posledice izazvane dejstvom okolne sredine kod opeka su još uočljivije. Već kod kontakta opeke sa malterom u toku zidanja sa jedne strane imamo direktan prelaz soli maltera na opeku, a sa druge strane dolazi i do reakcije izmene koje se odigravaju u peći usled dejstva kalcijum hidroksida iz maltera, pri čemu dolazi do izmena i nastajanja novih alkalnih jedinjenja. Oba ova procesa odigravaju se u zidu od opeka, manje više prinudno, u toku zidanja<sup>11/</sup>. Ipak, ovaj proces dovodi do pojave iscvetavanja samo u retkim slučajevima.

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 nastrešnica, 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.

Korozija u gasnoj sredini predstavlja vid hemijske korozije pri odsustvu kondenzacije vlage na površini keramičkog materijala. Fenomen vlažnog širenja koji se odigrava kod svih keramičkih proizvoda sa poroznim crepom je tipičan primer za ovu vrstu korozije i naročito je izražen kod opekarskih proizvoda i proizvoda iz grupe građevinske keramike. Fenomen vlažnog širenja je posledica odigravanja adsorpcije vodene pare na unutrašnjoj površini amorfnih silikata koji su prisutni u pečenom proizvodu od gline<sup>18/</sup>. Ovaj proces započinje još u procesu hlađenja proizvoda u peći, tj. na temperaturama ispod  $400^\circ\text{C}$  i traje sve dok proizvod fizički egzistira.

Štetne posledice ove vrste korozije, odnosno fenomena vlažnog širenja, veoma su rasprostranjene i naročito su izražene u slučaju sprečenog širenja<sup>19/</sup>. Na slici br.3 dat je prikaz pojave raspadanja opeka u fasadnom zidu na jednom stambenom objektu, kao posledica sprečenog / širenja. Štetne posledice delovanja ove vrste korozije uočene su i u slučaju nesprečenog širenja opekarskih proizvoda ali u znatno manjoj meri i manifestuju se smanjenjem mehaničkih karakteristika proizvoda za 5 % do 12%.

### 3 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.
- Korozija opekarskih konstrukcionih materijala je uglavnom posledica prodora vode ili tečnog agensa iz okolne sredine, odnosno "selektivnog" odvijanja hemijskih reakcija sa keramičkim konstituentima materijala.
- 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 korozija sprovodi se hidrofobna zaštita.
- 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 i sprečavanja pojave korozionih procesa.

**Napomena :**

*Ovaj rad je urađen u okviru Projekta TP-19020 koji je finasiran sredstvima Ministarstva za nauku Republike Srbije*

**LITERATURA**

- [1] Ronald A. Mc Cauley : "Corrosion of ceramic and Composite Materials" Book, ISBN 0824753666. Published by Marcel Dekker, 2004, 1 - 408.
- [2] Demediuk T. and Cole F.: J.Amer.Ceram Soc. 43 (1960), 359-367.
- [3] Budnikov P. i Haritonov F.: "Keramičeskie materialy dlj agresivnih sred", Izdateljstvo literaturi po stroiteljstvu, Moskva, 1971.god.
- [4] J. Francisković, M.Pagon-Tadej i B. Punek: "Korozija, propadanje građevinskih materijala i njihova zaštita", Izdanje Zavoda za tehničko izobražavanje Ljubljana (1985), 165-185.
- [5] Albenque M.: Les Cahiers de la Terre Cuite, N° 2 (1974), 72-93, Centre Technique des Tuiles et Briques, Paris.
- [6] Vasić,R., Despotović,S.: "Uticaj radne sredine na koroziju građevinske keramike", Časopis "Izgradnja", 4, (1996), 277-279.
- [7] 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.
- [8] Vasić R.: "Prilog proučavanju fenomena vlažnog bubrenja fasadnih opeka proizvedenih od domaćih opekarskih glina", Doktorska teza, TMF (1990), 112-115.
- [9] 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