

PREGLED UPOTREBE DODATAKA ZA POVEĆANJE POROZNOSTI U OPEKARSKIM PROIZVODIMA

AN OVERVIEW OF PORE FORMING ADDITIVES USAGE IN FIRED CLAY BRICKS

Adnan MUJKANOVIĆ, Marina JOVANOVIĆ
Fakultet za metalurgiju i materijale
Univerzitet u Zenici

Kategorizacija rada: Pregledni rad

SAŽETAK

Za proizvodnju građevinske opeke sa jako dobrim svojstvima u pogledu toplotne izolacije, pored vertikalnih šupljina koje se u opeku ugrađuju u fazi oblikovanja, neophodno je i samo tijelo opeke učiniti poroznim. Najefikasniji način kojim se to može postići je uvođenje organskih dodataka u glinenu masu u toku miješanja sirove gline. U procesu pečenja dolazi do sagorijevanja organske supstance, koja iza sebe ostavlja veliki broj finih pora te se na taj način drastično smanjuje toplotna provodljivost opeke. U ovom radu je dat pregled najviše korištenih organskih dodataka za povećanje poroznosti opeke.

Ključne riječi: dodaci, poroznost, glina, opeka, piljevina, polistiren, papirna pulpa, ugalj

ABSTRACT

For the production of vertically perforated bricks with very good thermal insulation properties it is necessary to increase porosity of ceramic body. The most effective way to achieve this is the addition of organic substances into the clay mass. During the firing process combustion of these substances occurs, leaving behind a large number of fine pores and thus drastically reducing the thermal conductivity of bricks. This paper provides an overview of the most widely used organic pore forming additives for bricks production.

Keywords: pore-forming additives, clay brick, sawdust, polystyrene, paper pulp, coal

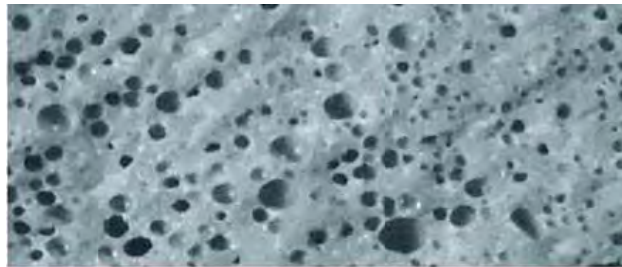
1. UVOD

Savremena industrija opekarskih proizvoda okarakterisana je velikom tržišnom konkurencijom koja postavlja sve oštrije zahtjeve u pogledu kvaliteta, ali i posebnih svojstava proizvoda. Pored dobrih fizičko-mehaničkih svojstava, od opeke se zahtijevaju i izvanredna toplotno - izolaciona svojstva koja se mogu postići povećanjem poroznosti opeke. Poboljšanje toplotne izolacije opekarskih proizvoda rezultira značajnim uštedama energije prilikom zagrijavanja, odnosno hlađenja zatvorenih prostora. Korištenjem opeke poboljšanih toplotno - izolacionih svojstava smanjuje se debljina zida, a time i ukupna masa građevine. U najviše

korištene dodatke za povećanje poroznosti opeke spadaju drvena piljevina, papirna pulpa i ekspanzirani polistiren (EPS). Organski ostaci iz prehrambene, tekstilne i industrije kože takođe se široko primjenjuju. Mljeveni ugalj i ugljena prašina se, zbog njihove visoke kalorične moći, za sada mogu samo u manjim količima miješati sa glinom, što obično nije dovoljno za postizanje zadovoljavajućeg stepena poroznosti.

2. DODACI ZA POVEĆANJE POROZNOSTI OPEKE

Povećanje poroznosti se najčešće postiže miješanjem glinene mase sa organskim dodacima koji sagorijevaju u procesu pečenja. U kombinaciji sa šupljinama koje se u fazi oblikovanja ugrađuju u opeku, pore koje ostaju nakon sagorijevanja organskih čestica (slika 1) dovode do značajnog smanjenja toplotne provodljivosti opeke. Ovim dodacima, koji obično imaju vlaknastu strukturu, se takođe smanjuje osjetljivost gline na sušenje, a povećava čvrstoća osušenih proizvoda.



Slika 1. Porozna struktura pečenih glinenih proizvoda [1]

Stepen povećanja poroznosti opeke zavisi od gustoće čestica, sadržaja vode i gubitka žarenjem. Što je upijanje vode čestica dodatka veće, potrebna je veća količina vode da bi se postigla zadovoljavajuća obradljivost gline. Ponašanje pri sušenju čestica gline i čestica dodataka se u velikoj mjeri razlikuje. Dok se čestice gline međusobno približavaju kako voda odlazi, što se manifestuje skupljanjem gline, vlakna papirne pulpe i čestice piljevine ne pokazuju velike volumne promjene [2]. Time se objašnjava smanjenje skupljanja pri sušenju i manja pojava pukotina.

Među dodacima kojima se povećava poroznost pečenih glinenih proizvoda najviše se koriste nusproizvodi iz drvoprerađivačke industrije i poljoprivrede, materijali koji su dostupni u velikim količinama i koji teže nalaze primjenu u drugim granama industrije. Kako odlaganje otpadnih materijala na deponijama postaje sve manje prihvatljivo i istovremeno zahtijeva sve veće troškove, traže se alternativna rješenja za zbrinjavanje ovog otpada. Kao jedno od mogućih rješenja javlja se i industrija opekarskih proizvoda. Međutim, ekonomski faktori koji diktiraju sve aspekte poslovanja u opekarskoj industriji su kompleksni i specifični. Cijena sirovinskih materijala je relativno niska, dok su znatno veći troškovi energije i ostali proizvodni troškovi. Iz tog razloga presudan faktor za potencijalnu primjenu nekog alternativnog materijala je njegova cijena u odnosu na cijenu sirove gline. Troškovi prerade ovih materijala mogu dovesti do toga da njihova upotreba ne bude ekonomična. Jako bitan faktor u razmatranju uporebe alternativnih materijala je svakako udaljenost sa koje se oni trebaju transportovati do tvornice. Opravdanje za nešto veće transportne troškove može biti

jedino slučaj da se radi o jako jeftinim materijalima, za čije deponovanje trebaju dodatna ulaganja.

Pored dodataka čijim sagorijevanjem dolazi do povećanja poroznosti, često se primjenjuju i dodaci koji zahvaljujući sopstvenoj poroznoj strukturi, koju zadržavaju i nakon pečenja, doprinose ukupnoj poroznosti opeke, kao što su dijatomejska zemlja i perlit. Što se tiče upotrebe mineralnih dodataka za uvođenje pora u tijelo opeke, ona ima nekoliko nedostataka. Karbonati su uvjetno prihvatljivi, ali formiranje CaO dovodi do nadimanja opeke, što može rezultirati degradacijom mehaničkih svojstava [2].

2.1. Drvena piljevina

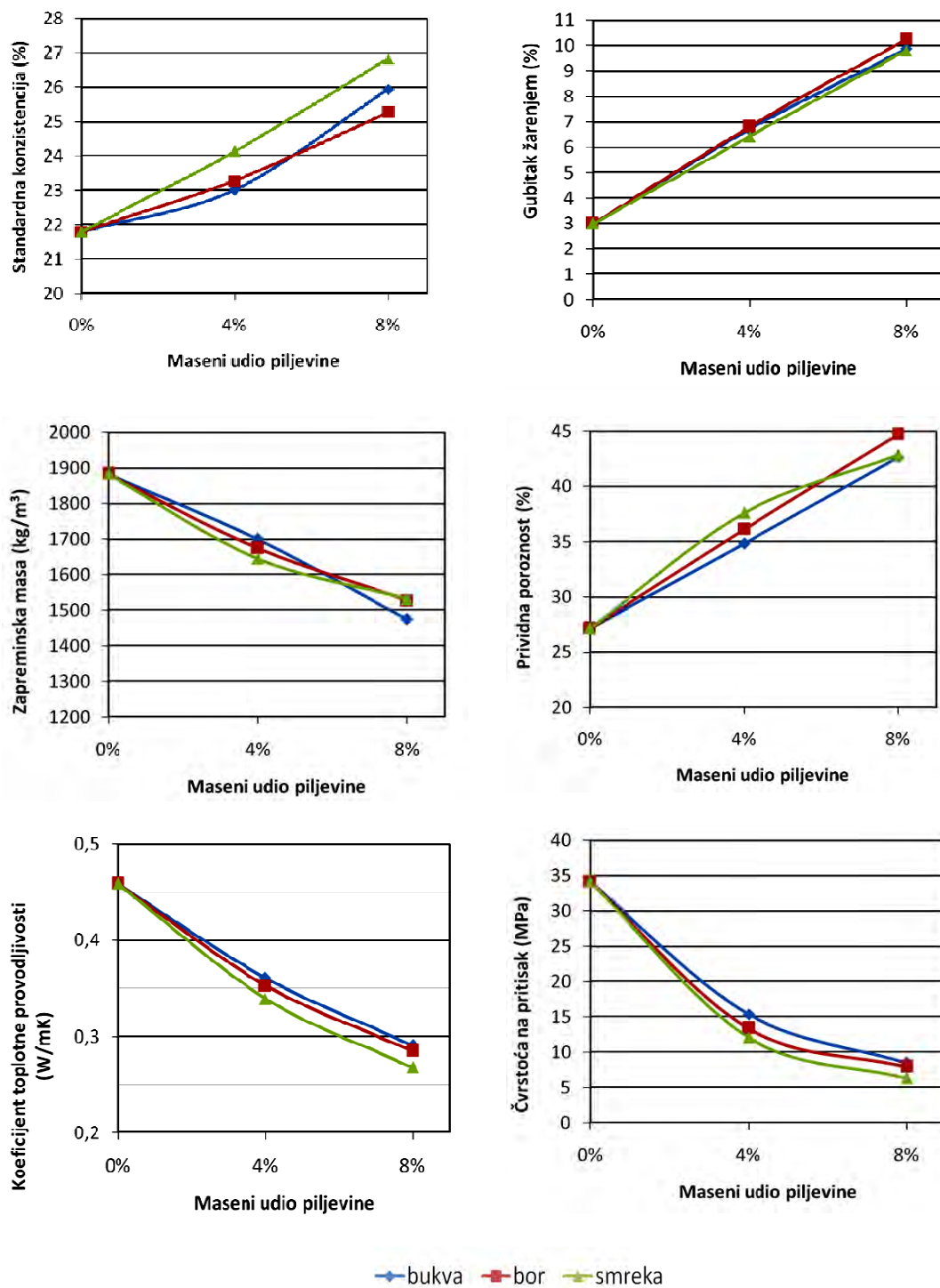
Kod primjene piljevine za povećanje poroznosti opekarskih proizvoda važnu ulogu igra vrsta drveta (meko drvo – četinari, tvrdo drvo – lišćari) kao i tip pile (cirkularne, tračne). Čestice piljevine mekog drveta obično imaju izduženiji oblik u odnosu na čestice piljevine tvrdog drveta. Cirkularna pila daje grublje čestice sa izraženom vlaknastom teksturom, što može negativno uticati na čvrstoću pečenih proizvoda, ali i dovesti do oštećenja profila oblikovanih proizvoda prilikom rezanja. Neujednačena vlažnost piljevine jako je nepoželjna. Naime, suha piljevina apsorbira vodu iz glinene mase i smanjuje njenu obradljivost, dok piljevina sa visokim sadržajem vlage ima suprotan efekat [3]. Zato je prije upotrebe drvene piljevine obavezna njena priprema kojom se postiže željena vlažnost, te veličina i oblik čestica.

U zavisnosti od obima proizvodnje poroznih opekarskih proizvoda moguće su slijedeća rješenja u pogledu pripreme drvene piljevine:

- nabavka prethodno pripremljene piljevine,
- djelimična priprema koja uključuje samo prosijavanje piljevine,
- potpuna priprema piljevine.

Prethodno pripremljena piljevina je obično suviše skupa da bi bilo ekonomične njeno korištenje u većim količinama. Prosijavanjem piljevine u cilju odstranjivanja suviše krupnih čestica dobiva se vrlo visok procenat neupotrebive piljevine koji se kreće i do 40%. Zato je za proizvodnju većih serija poroznih opekarskih proizvoda najekonomičnije rješenje vlastita priprema koja uključuje i mljevenje pomoću odogovarajućih mlinova i klasiranje čestica po veličini pomoću sita [4].

Na slici 2 predstavljen je uticaj dodatka piljevine od različitih vrsta drveta na svojstva gline i opeke.

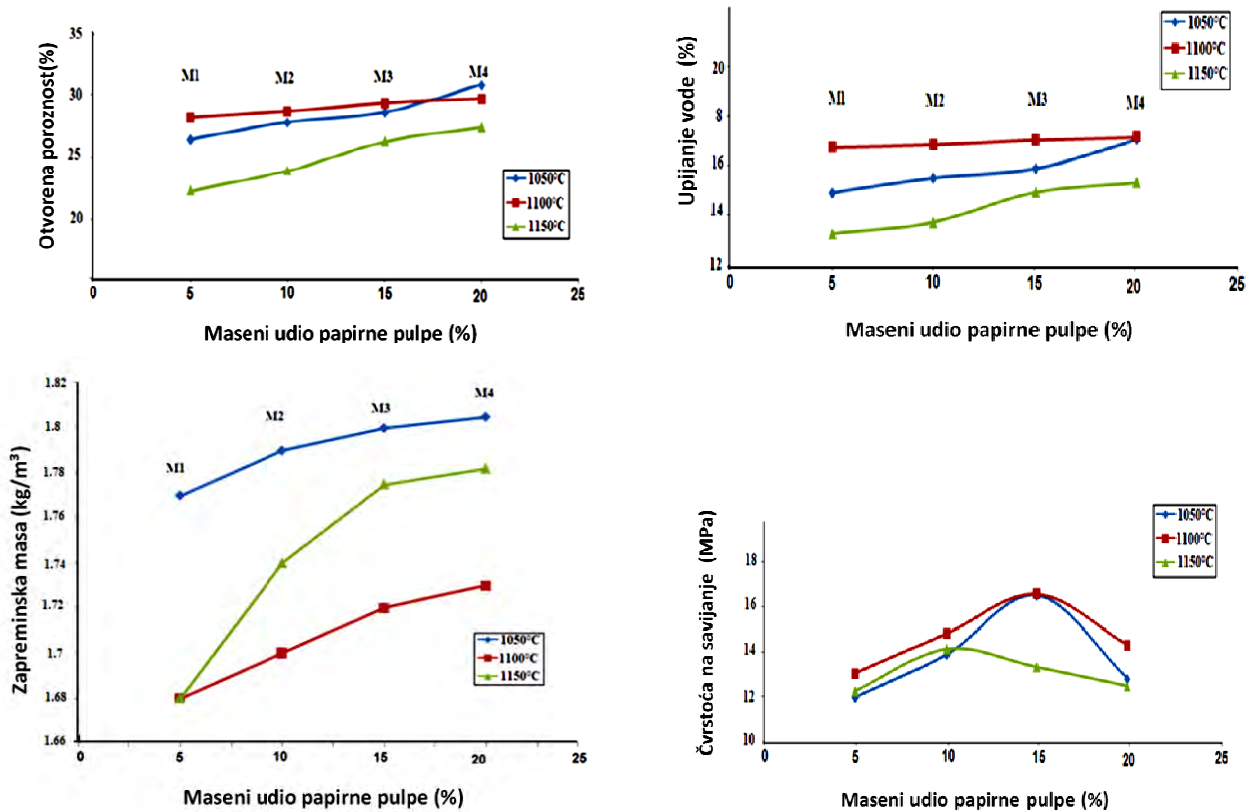


Slika 2. Uticaj dodatka piljevine od različitih vrsta drveta na svojstva gline i opeke [3]

2.2. Papirna pulpa

Papirna pulpa, pored celuloznih vlakana, sadrži i veću količinu mineralnih punila, kao što su kalcit, kaolin i talk. Sadržaj vode kreće se u širokim granicama od 2 do 70 mas.%, a zapreminska masa od 0,15 do 0,72 kg/m³. Gubitak žarenjem zavisno od vrste mineralnog punila iznosi od 30 do 75 %. Pored pulpe iz proizvodnje papira, kao dodatak glini može se koristiti i otpadni papir koji se prethodno isječe, natapa u vodi i samelje u pulpu. Efekti na svojstva opeke su slični kao u slučaju kada se kao dodatak koristi otpadna pulpa iz

proizvodnje papira. Pored smanjenja toplotne provodljivosti opeke, smanjuje se i skupljanje gline pri sušenju, bez suviše izraženog smanjenja njihove čvrstoće [5]. Na slici 3 je predstavljen uticaj dodatka papirne pulpe na fizičko-mehanička svojstva opeke.

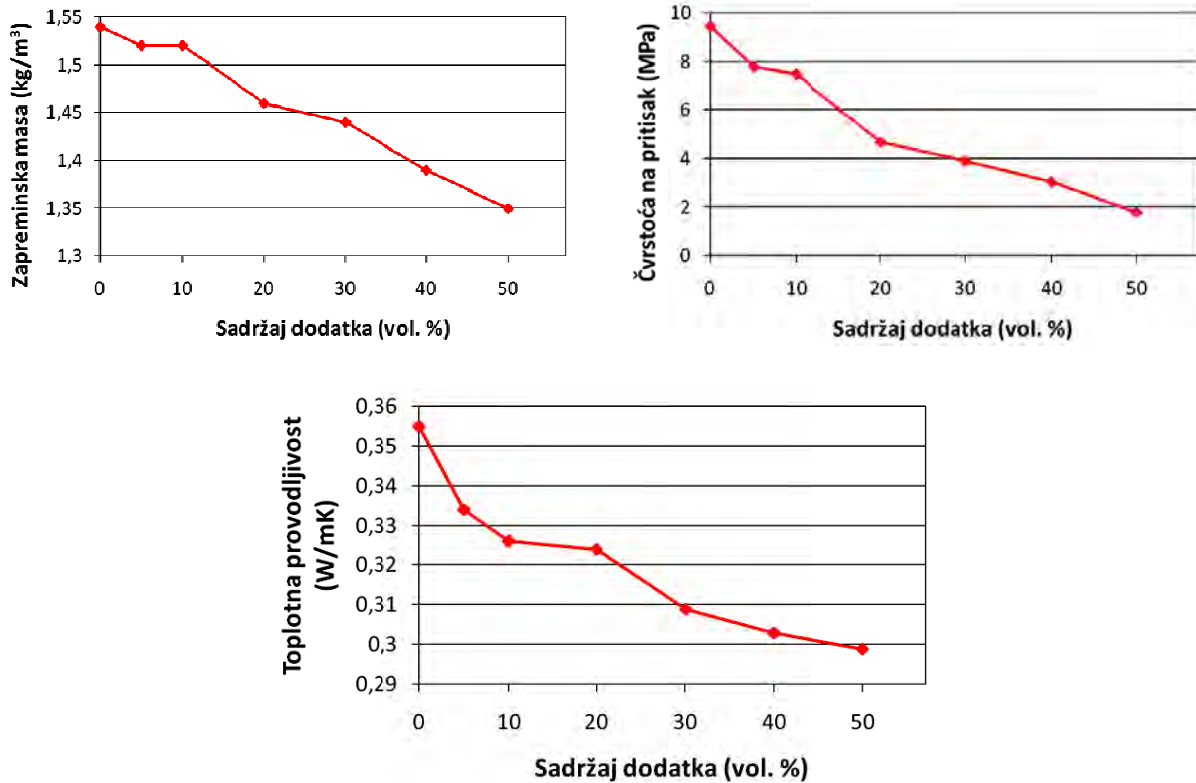


Slika 3. Uticaj dodatka papirne pulpe na svojstva opeke [5]

Rezultati predstavljeni u dijagramima upućuju na zaključak da se sa prekomjernim povećanjem temperature pečenja (u ovom slučaju preko 1100°C) poništava dejstvo papirne pulpe kao dodatka za povećanje pora. S obzirom da papirna pulpa sadrži visok sadržaj kalcita i dolomita mora se voditi računa o njihovom uticaju na sniženje temperature sinterovanja.

2.4. Ekspandirani polistiren (EPS)

EPS je polimerni materijal ćelijske strukture i male gustoće. Proizvodi se miješanjem polistirena sa lako isparljivim tečnostima, koje se zagrijavanjem šire i tako ekspandiraju polistiren do željene gustoće i oblika. Granule EPS-a ne upijaju vodu i ne omekšavaju u ekstruderu. Na taj način, nakon njihovog sagorijevanja, dobivaju se sferične pore koje ne smanjuju mehaničku čvrstoću u tolikoj mjeri kao pore nepravilnog oblika. EPS se potpuno razgrađuje u intervalu 100-700°C bez ostatka pepela. Plinovi koji se pri tome oslobađaju sagorijevaju u atmosferi peći ili odlaze sa dimnim plinom [7]. Povećanjem sadržaja EPS-a smanjuju se zapreminska masa, čvrstoća na pritisak i toplotna provodljivost (slika 4). Ukoliko se koristi reciklirani EPS, tada je za postizanje istog efekta potrebno udvostručiti njegov sadržaj [2].



Slika 4. Uticaj dodatka EPS na svojstva opeke [8]

Za proizvodnju lakih opekarskih blokova sa veoma niskom toplotnom provodljivošću može se koristiti kombinovani dodatak granula EPS-a i perlitne prašine. Kao rezultat pečenja dobiva se porozna struktura sa bimodalnom raspodjelom veličina pora. Krupnije pore, nastale izgaranjem EPS-a su promjera 0,2 - 1,5 mm, dok su fine pore manje od 10 μm . Veći udio dodataka zahtijeva glinu sa visokim sadržajem glinenih minerala, jer se sa posnijim glinama ne bi mogla postići zadovoljavajuća čvrstoća. Način miješanja gline takođe se mora modifikovati. Dio gline se razmuljava uz dodatak deflokulacionog sredstva, a zatim se u masu dodaju aditivi za povećanje poroznosti. Tek onda slijedi miješanje sa ostatkom suhe gline. U laboratorijskim uvjetima postignuta je toplotna provodljivost od svega 0,20 W/mK uz čvrstoću na pritisak od 8 MPa [7].

2.4. Ugalj i ugljena prašina

Ugalj, ugljena prašina i jalovina iz rudnika uglja, kao i ostali organski dodaci u toku pečenja sagrijevaju pri čemu se formiraju pore unutar glinene mase. Ovi materijali se sa glinom miješaju u toku njene pripreme pri čemu se usitnjavaju i ravnomjerno disperguju u masi gline. Međutim, zbog oslobađanja velike količine energije njihova količina se mora ograničiti. Zato je sa ovim dodacima znatno teže postići željenu poroznost u poređenju sa piljevinom ili papirnom pulpom. Ipak, nekolicina autora [9,10] u svojim radovima je potvrdila mogućnost korištenja uglja kao dodataka za povećanje poroznosti opekarskih proizvoda. U tabeli 1. predstavljeni su rezultati ispitivanja svojstava pečenih proizvoda koji sadrže različite masene udjele drvenog uglja.

Tabela 1. Uticaj dodatka drvenog uglja na svojstva opeke [9]

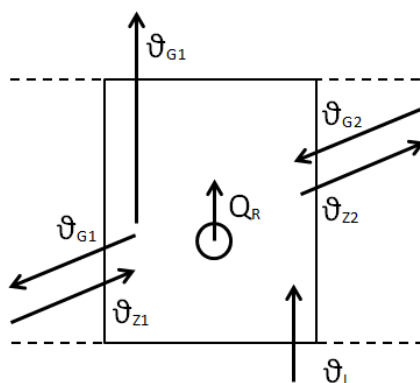
Svojstvo	Maseni udio drvenog uglja			
	0 %	2,5 %	5 %	10%
Zapreminska masa (kg/m ³)	1,80	1,68	1,63	1,49
Upijanje vode (%)	17,8	18,27	19,98	33,21
Poroznost (%)	28,96	31,45	35,14	46,85
Čvrstoća na pritisak (MPa)	15,0	14,1	8,9	7,7
Toplotna provodljivost (W/mK)	0,27	0,262	0,252	0,216

3. PROBLEM OSLOBAĐANJA PREVELIKE KOLIČINE TOPLOTE PRILIKOM SAGORIJEVANJA ORGANSKIH DODATAKA

U bliskoj prošlosti osnovni problem koji se javljao zbog uvođenja dodataka za povećanje poroznosti bio je snižavanje čvrstoće proizvoda. Razvoj novih aditiva za povećanje čvrstoće, te novih, poboljšanih metoda pripreme sirovina i dodataka omogućio je postizanje do tada nedostižno niskih koeficijenata toplotne provodljivosti uz vrlo malo smanjenje čvrstoće. Ovaj tehnološki napredak je, međutim, pred proizvođače opeke stavio potpuno novi problem koji se sa manje ili više uspjeha rješava na različite načine. Naime, danas proizvođači opeke, da bi postigli potrebno sniženje toplotne provodljivosti svojih proizvoda, žele da na raspolaganju imaju aditive koje mogu bez velikih ograničenja dodavati u sirovinu. Međutim, pečenjem sirovih glinenih proizvoda koji sadrže organske dodatke odvijaju se pirolitičke reakcije koje dovode do procesa termičkog razlaganja. Oslobođeni plinovi sagorijevaju unutar samog proizvoda ili u atmosferi peći. Sve dok je toplota koja se oslobađa pri sagorijevanju manja od 400 kJ/kg, moguće je smanjenjem količine primarnog goriva kompenzirati ovaj višak energije. [2].

Velike količine organskih aditiva koji sagorijevaju u toku pečenja opeke mogu dovesti do toga da zbog oslobađanja prevelike količine toplote dođe do potpunog gubitka kontrole nad režimom pečenja. Naime, za pečenje 1 kg osušenog proizvoda potrebno je približno 1000 kJ energije. Pod pretpostavkom potpunog sagorijevanja, dodaci od svega 3,3 % ugljene prašine čija je kalorična moć 30000 kJ/kg, odnosno 8,3 % drvene piljevine kalorične moći 12000 kJ/kg, daju dovoljnu količinu toplote za pečenje opeke. Zbog toga, u slučaju kada se dodaju veći udjeli ovih materijala neophodno je modificirati režim pečenja u tunelskoj peći. Dovod primarnog goriva je potrebno smanjiti, što je naravno povoljno sa aspekta uštede energije, ali je praktično nemoguće postići ravnomjerno zagrijavanje. Naime, u toku zagrijavanja glinenih proizvoda na temperaturu pečenja, u dva navrata dolazi do naglog oslobađanje toplote, prvo u intervalu 300-500°C zbog sagorijevanja plinovitih ugljikovodika koji se se oslobađaju prilikom karbonizacije dodataka, a zatim na oko 700°C kada sagorijeva koksni ostatak.

Na slici je prikazan presjek tunelske peći koji odgovara zoni karbonizacije. U egzotermnoj reakciji sagorijevanja ugljikovodika koja se odvija u ovoj zoni oslobađa se količina toplote \dot{Q}_R . Da bi se režim pečenja zadržao u zadatim okvirima mora biti zadovoljen slijedeći uslov: temperature proizvoda pri ulasku u ovu zonu peći i pri izlasku iz nje (T_{z1} i T_{z2}) kao i odgovarajuće temperature dimnih plinova (T_{G1} i T_{G2}) moraju imati iste vrijednosti koje bi imale u slučaju da nema gorivih komponenata u glinenim proizvodima koji se termički tretiraju.



Slika 5. Presjek dijela peći u kome se odvija karbonizacija organskih dodataka [11]

Brojna istraživanja su pokazala da pri normalnom radu peći plinoviti ugljikovodici nastali karbonizacijom dodataka u temperaturnom intervalu 300-500°C gotovo u potpunosti sagorijevaju, pa eventualno odvođenje dimnog plina sa nesagorjelim ugljikovodicima iz ove zone u cilju smanjenja količine toplote koja se oslobađa nema značajnijeg efekta. Ukoliko bi se režim rada peći izmijenio tako da se smanji sadržaj kisika u atmosferi ovog dijela peći, došlo bi do usporavanja procesa sagorijevanja plinovitih ugljikovodika. U ovom slučaju bi dimni plin obogaćen gorivim komponentama mogao biti odveden iz peći i iskorišten u neke druge svrhe. Naknadno sagorijevanje u peći nije moguće, jer još uvijek preostaje suviše velika količina energije koja prevazilazi potrebe termičkih procesa u peći. Najefikasniji način vraćanja režima pečenja u okviru optimalnog je da se vrši odvođenje dimnog plina iz ove zone peći uz istovremeno dovođenje jednake količine svježeg zraka. Dimni plin temperature približno 500°C može se koristiti za druge svrhe, npr. zagrijavanje tvorničkog kruga i sl. [12].

4. ZAKLJUČAK

Uvođenje dodataka za povećanje poroznosti opekarskih proizvoda dovodi do značajnih promjena tehnoloških svojstava sirovine i fizičkih i mehaničkih svojstava gotovih proizvoda. Od prirode dodataka zavisi na koji način i u kojoj mjeri će se manifestirati promjene navedenih svojstava. Mineralne komponente prisutne u nekim vrstama dodataka mogu učestvovati u formiranju čvrste keramičke strukture i na taj način pozitivno uticati na mehanička svojstva proizvoda. Ipak, generalno se može konstatovati da se sa povećanjem sadržaja dodataka povećava poroznost čime se smanjuje čvrstoća, dok se istovremeno smanjuje toplotna provodljivost gotovih proizvoda. Čestice koje upijaju vodu, kao što je to slučaj sa piljevinom, omekšavaju i deformišu se usljed visokih pritisaka u ekstruderu. Njihovim sagorijevanjem nastaju pore koje dovode do znatno većeg gubitka čvrstoće nego što je to slučaj kada se kao dodatak koristi hidrofobni materijal, kao što je npr. EPS. Upotreba uglja i drugih materijala visoke kalorične moći za povećanje poroznosti još uvijek nailazi na poteškoće, jer se režim rada peći mora prilagoditi tako da se osigura što ravnomjernije zagrijavanje proizvoda u peći, što je najčešće vrlo teško postići.

5. LITERATURA

- [1] Shibib, K. S., et al.: Enhancement in thermal and mechanical properties of bricks, Thermal Science, 2013, Vol. 17, No. 4, p.1119-1123
- [2] Ruppik, M.: Use of organic and inorganic pore-forming agents in the brick and tile industry, Zi. Int., vol. 8, 2006, p.22-29
- [3] Sveda M.: The influence of sawdust on the physical properties of a clay body, Zi. Int., vol. 11, 2000, p.29-35

- [4] Faller, A.: The preparation of sawdust, *Zi. Int.*, vol. 9, 2000, p.35-45
- [5] Sütçü, M., Akkurt ,S.: The Use of Recycled Paper Processing Residues in Making Porous Brick with Reduced Thermal Conductivity, *Ceramics International*, 35, 2625-2631, 2009
- [5] Chemani B., Chemani H.: Utilization of paper sludge in clay bricks industry to obtain lightweight material: Evidence from partial replacement of feldspar by paper sludge, *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 8(9), pp. 335-342, 9 March, 2013
- [6] Bartuch R., Melzer D., Müller P.: Backing bricks with high percentage of pore formers, *ZI 3/2006*, pp. 31-34
- [7] Veiseh, S., Yousefi A.A.: The use of polystyrene in lightweight brick production, *Iranian Polymer Journal*, Vol. 12, No., 2003
- [8] Freimann F, et al.: Pore-forming agents put to the test – maize meal extrudate in comparison with Styropor (polystyrene), *Zi. Int.*, vol. 7, 2004, p.14-19
- [9] Phonphuak, N.: Effects of Additive on the Physical and Thermal Conductivity of Fired Clay Brick, *Journal of Chemical Science and Technology* Apr. 2013, Vol. 2 Iss. 2, PP. 95-99
- [10] Phonphuak, N., Thiansem, S.: Effects of charcoal on physical and mechanical properties of fired test briquettes, *Science Asia* 37 (2011): 120–124
- [11] Junge, K.: Oversupply of energy due to combustible additives, *Zi. Int.*, vol. 12, 2001, p.10-14
- [12] Junge, K.: Additives in the brick and tile industry, *Zi. Int.*, vol. 12, 2000, p. 25-39