

GRAĐEVNI MATERIJALI BUDUĆNOSTI

1 Uvod

Razvoj novih tehnologija i novih znanstvenih spoznaja omogućilo je proizvodnju i upotrebu novih materijala koji se upotrebljavaju u graditeljstvu. Prošlo stoljeće bilo je obilježeno velikom ekspanzijom sintetskih materijala. Međutim, problemi koji su se pojavili, vezani uz gomilanje otpada i nemogućnost recikliranja kao i zagađenje okoliša, u današnje vrijeme u prvi plan stavlja upotrebu prirodnih materijala što nije samo trend nego i nužna potreba ako se želi zaštititi i očuvati okoliš. U sve većim nastojanjima da se zadovolje potrebe suvremenog čovjeka, znanstvenici svoja istraživanja usmjeravaju istraživanjima novih materijala, s osobitim naglaskom na praćenje prirodnih procesa.

Za pripremu građevnih materijala potrebna je energija te ako se u obzir uzme činjenica da se svakodnevno troši 82 milijuna barela nafte, a samo jedan posto od svjetske energije dobiva se upotrebom obnovljivih izvora energije, logično je postaviti pitanje o postizanju energijske učinkovitosti već u proizvodnji građevnih materijala. Isto tako godišnje se proizvodi 70 milijuna tona stakleničkih plinova koji nastaju u proce-

sima prerade i proizvodnje, a koji nesumnjivo utječu okoliš i na budućnost čovječanstva.

Pojam „zdravog stanovanja“ koji je danas često u upotrebi uključuje sve više upotrebu prirodnih materijala kojima smo okruženi, a koji mogu pridonijeti poboljšanju okolišnih uvjeta, u okruženju u kojem neposredno živimo i u cijelom ekološkom ciklusu.

2 Gradnja prirodnim materijalima

Načini gradnje i materijali upotrijebljeni za izgradnju piramida nisu ni do danas u potpunosti razjašnjeni,

ali piramide su i dalje fascinante građevine koje su ostale održive, s obzirom na ljudsko i klimatsko djelovanje. Za gradnju Keopsove piramide (izgrađene u razdoblju od 2620. pr. Kr. - 2500. pr. Kr.) rabljeni su blokovi prirodnih materijala, granita i vapnenaca.

Prirodni zeoliti, hidratizirani aluminosilikati nastali nakon vulkanskih aktivnosti kod određenih uvjeta, također su materijali koji su bili rabljeni kao „lagani“ građevni kamen za gradnju prije 2000 godina zbog njihove dostupnosti u prirodi, a i zbog njihovih iznimnih svojstava. Tek u 19. sto-



Slika 2. Dvorac Nuovo (Napulj, Italija) izgrađen od blokova zeolitnog tufa



Slika 1. Keopsova piramida (Egipat)

ljeću, razvojem tehnologija, dokazana su mnoga svojstva prirodnih zeolita i mogućnosti njihove primjene u izgradnji. Neka od tih svojstava bila su niska gustoća, visoka poroznost, homogenost i ekonomska isplativost upotrebe za blokove zgrada.

Blokovi od habazita i filipsita rabljeni su još u rimsko doba za gradnju na području Italije, a prema sadašnjim istraživanjima postoje saznanja da je cijeli grad Napulj izgrađen od blokova zeolitnih tufova čije nalazište je u njegovoj okolini.

Brojne katedrale i javne zgrade u srednjoj Europi također su izgrađene od zeolitnih tufova. Danas se u Meksiku još uvijek upotrebljavaju blokovi klinoptilolitnog tufa za izgradnju javnih zgrada, a u Italiji zeolitni tufovi se rabi za izradu cigli i posebnih mortova s ciljem poboljšanja njihovih svojstava (poroznost, izolacijska svojstva, otpornost na utjecaje iz okoliša i dr.) [1]. Na slici 3. prikazano je nalazište zeolitnog tufa (Italija) i izrada zeolitnih ciglica.



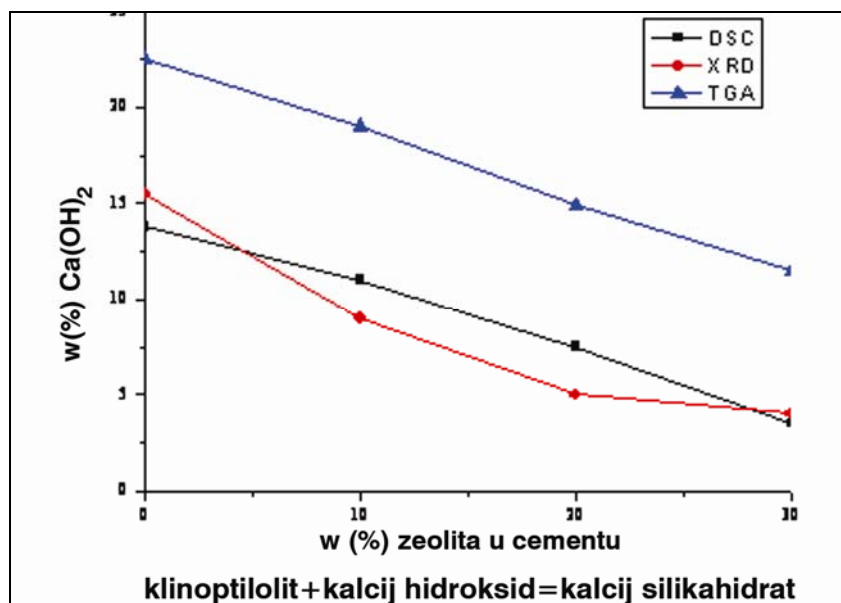
Slika 3. Izrada cigli od zeolitnog tufa

U Hrvatskoj postoji nalazište prirodnih zeolita u okolici Krapine (D. Jesenje), koje je bilo eksploatirano prije 10 godina za potrebe poljoprivredne industrije. Danas više nije u funkciji iako se prema istraživanjima na tom području nalazi oko 3,5 milijuna tona eksploatacijskih rezervi zeolitnog tufa.

3 Prirodni zeoliti u građevnim materijalima i njihov utjecaj na okoliš

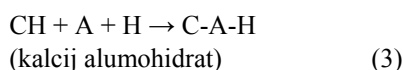
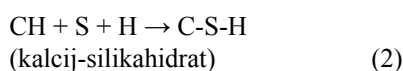
Još od drevnih Rimljana postoje zapisi koji govore da je zeolitni tuf bio vrlo važan građevni materijal kao i dodatak materijalima za poboljšanje njihovih svojstava. Dodaci materijalima nazvani su pucolani, a samo ime „pucolan“ dobiven je prema nalazištu zeolitnog tufa Napolitano Giallo u blizini grada Pozzuoli (Italija).

Europskom normom (EN 197-1) definirana je dopuštena količina pucolana u cementima, a zeoliti kao aluminosilikatni materijali mogu se dodavati u cimente kao pucolani u masenom udjelu do 55 posto [2].

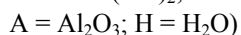
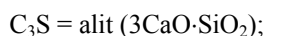


Slika 4. Kvantifikacija udjela kalcijevog hidroksida u odnosu na povećanje prirodnog zeolita-klinoptilolita (pucolana) [3]

Dodatkom fino mljevenih prirodnih zeolita (pucolana) u cement i kontakta s vodom kod sobne temperature dolazi do reakcije pucolana s topljivim Ca(OH)_2 pri čemu se formiraju spojevi kalcijevog silikahidrata i kalcijevog alumohidrata koji su odgovorni za povećanje tvrdoće dobivenog materijala. Reakcije vezanja Ca(OH)_2 nazivaju se pucolanske reakcije (1-3):



gdje su:



Provedena istraživanja utjecaja različitih količina prirodnog zeolita – klinoptilolita (pucolana) na količinu kalcijevog hidroksida kvantificirana su uz upotrebu kalorimetrijskih, rendgenskih i termičkih metoda. Povećanjem udjela pucolana u cementu dolazi do smanjenja količine kalcijevog hidroksida za oko 25 posto u odnosu na cement bez pucolana (slika 4).

Pri hidrataciji alita i belita oslobođeni Ca(OH)_2 može činiti od 15 do 20 posto mase cementnog kamena [4]. Uz sulfatnu koroziju, gotovo sve vrste korozije betona nastaju reakcijom agresivnih tvari sa Ca(OH)_2 . Dodatkom 15 posto prirodnih zeolita u cimente dolazi do smanjenja sulfatne korozije, tako da se takva vrsta pucolan cementa može rabiti u onim slučajevima gdje su materijali izloženi sulfatno agresivnom okolišu (cementne suspenzije, mase i betoni za specijalnu namjenu).

Cementna industrija fokusirana je na održivost pri čemu se nastoji pronaći ravnoteža između zaštite okoliša, socijalnog napretka i ekonomskog rasta. Pojam održivosti u cementnoj industriji obuhvaća smanjenje emisije CO_2 , efikasniju upotrebu sirovina i mogućnosti upotrebe recikliranih sirovina, a sve to s naglaskom na očuvanje zdravlja i sigurnosti ljudi. Kod proizvodnje cementa vrlo je važno pratiti energetske i ekološke značajke proizvodnje i utvrditi smjernice za razvoj budućih tehnologija koje će utjecati na smanjenje potrošnje energije i emisiju CO_2 (tablica 1). Nakon procesa dobivanja aluminija i čelika, proizvodnja cementa je energetski najintenzivniji proces [5].

Tablica 1. Energijske i ekološke značajke u proizvodnji cementa

ENERGIJSKE ZNAČAJKE	
količina energije / t cementa	Smanjenje potrošnje energije (u EU do 2030)
4 GJ	> 25 %
EKOLOŠKE ZNAČAJKE	
emisija CO ₂	Smanjenje emisije CO ₂ (u EU do 2030)
50 - 55 % (pečenje vapnenca)	> 20%
40 % (potrošnja goriva)	
do 10% (potrošnja električne energije)	

Dodatak zeolita kao i drugih pucolana ima trostruku ulogu u proizvodnji cementa:

- djelomična zamjena cementa prirodnim zeolitima za smanjenje toplina hidratacije
- poboljšanje svojstava dobivenog materijala
- ekonomska ušteda.

O ekonomskoj isplativosti i uštedi više od milijun dolara dodatkom 25 posto prirodnog zeolitnog (klinoptilolitnog) tufa na ukupnu količinu cementa postoje zapisi iz 1912. kad je u američkom gradu Los Angelesu građen akvadukt.

Ukupna uporaba cementa prema procjenama iznosi oko 2,6 milijuna tona godišnje s tendencijom porasta

u slijedećih nekoliko godina (slika 5.). Kada se uzme u obzir potrošnja cementa na godinu, to čini 5 do 7 posto svjetske, odnosno 3 posto europske emisije CO₂.

Prirodni zeoliti rabe se kao lagani agregati u betonu za poboljšanje svojstava (gustoća, poroznost), izolacijski materijali i u mortovima koji imaju veliku tlačnu snagu (50 MPa).

Industrija betona suočena je s mnogim izazovima kao što su smanjenje potrebnih prirodnih izvora, smanjenje energije, vode i CO₂.

Daljnje strategije razvoja novih materijala trebale bi biti usmjerene prema sve većoj upotrebi otpadnih materijala koji se mogu reciklirati (beton, agregati, asfalt, opeka, metal,

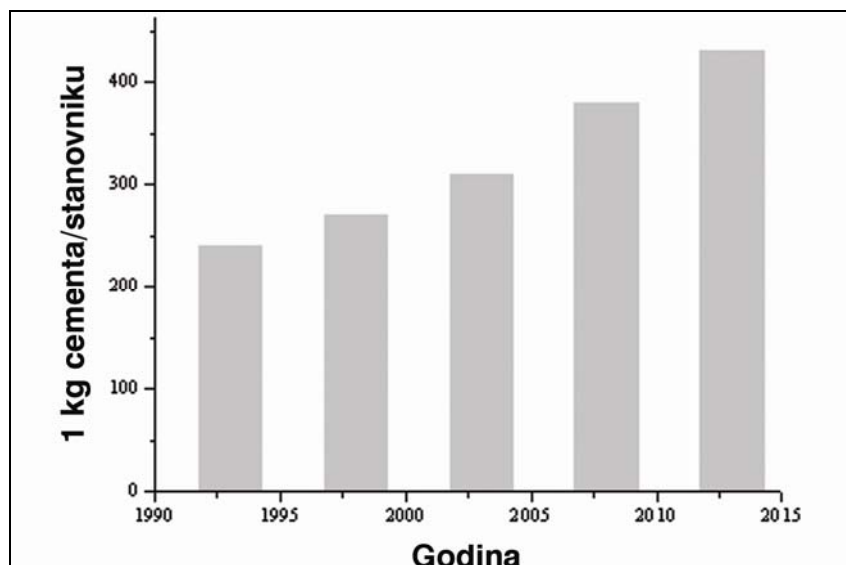
staklo, drvo, itd.) povećanoj trajnosti, poboljšanju mehaničkih svojstava, ponovnoj upotrebe vode u procesima proizvodnje i upotreba zamjenskih materijala ili nusproizvoda nastalih u industrijskim procesima koji zadovoljavaju propisane norme i kvalitetu gotovog proizvoda [6].

4 Iskustva iz prošlosti i pogled u budućnost – nanotehnologija

Razvoj nanotehnologije paralelno s razvojem nanoznanosti omogućuje istraživanja materijala na nano razini, a sve s ciljem poboljšanja svojstava materijala i njihove trajnosti, kao i utjecaje koji oni uzrokuju. Istraživanja prirodnih zeolitnih materijala i njihova primjena također pripadaju području nanoznanosti, a njihova je upotreba već pokazala efikasne učinke na smanjenje energije u procesima pripreme i proizvodnje građevnih materijala. Upotreba tih materijala također povoljno utječe na zdravlje ljudi i zaštitu okoliša smanjenjem emisije stakleničkih plinova. Prirodni zeolitni materijala istraživani su u mnogim područjima pri čemu je dokazana njihova efikasna primjena kod pročišćavanja voda, efikasnost u poljoprivrednoj industriji kao i mnogim drugim područjima.

Razvojem nanotehnologije u graditeljstvu istražuju se i proizvode novi materijali kao što su nanocementi i nanobeton. Posljednjih 40 godina intenzivno se istražuju geopolimeri čija su svojstva daleko bolja od sadašnjeg portland-cementnog betona, a uključuju veću trajnost, kemijsku otpornost i otpornost na visoke temperature. Geopolimeri su sačinjeni od dugačkih lanaca molekula nastalih polimerizacijom silicija i aluminijskih u alkalijskim otopinama kod temperatura manjim od 100°C i vrlo su slični po strukturi prirodnim zeolitnim materijalima.

Promjene u projektiranju i građenju upotrebom novih „zelenih materijala“ mogu, prema nekim istraživanjima, smanjiti godišnju emisiju CO₂ i



Slika 5. Potrošnja cementa po stanovniku u ratdoblju od 1993.-2013.

do 6 milijuna tona. Način razmišljanja i izlazak iz okvira tradicijske proizvodnje građevnih materijala moglo bi pozitivno utjecati na ekološke, ekonomske i zdravstvene efekte. Zbog toga su svjetska istraživanja usmjerena na inovacije u području građevnih materijala. Neke od tih inovacija su: *Self healing* betoni (dobivaju se pomoću posebne bakterije koja živi u ekstremnim uvjetima i u suhom betonu može proizvoditi vapnenac) i *Self cleaning* betoni (uz određene dodatke vežu se čestice dušikovog oksida, pretvarajući ih u nitrate). Dušikovi oksidi nastaju u industrijskim procesima i kao proizvod ispušni plinovi motornih vozila, a poznato je da su oni glavni zagađivači (uz ostale stakleničke plinove) koji uzrokuju klimatske promjene (kisela kiše, smanjenje ozonskog omotača, itd.).

Primjer razvoja novih tehnologije je dobivanje tzv. „prozirnog betona“ (patentirao ga je mađarski arhitekt Aron Losonczy 2001. godine) koji se sastoji od mješavine optičkih staklenih vlakana, drobljenog kamena, cementa i vode (slika 6.). Nedostatak

primjene ovih materijala je visoka cijena dobivenog proizvoda [6].



Slika 7. Ekološki vodootporna opeka

Ekološki vodootporna opeka (slika 7.) dobivena je primjenom novih tehnologija proizvodnje, uz preciznu obradu, upotrebom prirodnih zeolitnih materijala kao glavnih agregata. Dobiveni proizvodi, iako porozni, imaju veliku mehaničku čvrstoću i otpornost na habanje. Idealni su za primjenu u parkovima, na parkiralištima, površinama u tvornicama, trgovinama uz mogućnost filtracije i do 80 posto prirodnih oborina.

5 Istraživanja i razvoj novih materijala

U području graditeljstva ulažu se vrlo malo sredstava od ukupne prodaje gotovih proizvoda za daljnja istraživanja i razvoj novih materijala



Slika 6. Nove tehnologije u građevinarstvu „Prozirni beton“

i tehnologija u odnosu na druge industrije. No, upravo ta činjenica otvara veliki prostor za brz tehnološki napredak u tom području te poticanje industrije ekološki održivih građevnih materijala.

6 Zaključak

Održivi razvoj postao je prioritet u svim područjima, s osobitim naglaskom na očuvanja prirodnih resursa i smanjenje utjecaja na okoliš, stvaranjem što manje otpadnih materijala, odnosno njihove ponovne uporabe. Upotreba prirodnih zeolitnih materijala u građevnom materijalu efikasno smanjuje štetno djelovanje nastalo utjecajima iz okoliša. Primjenom nanotehnologija razvoj novih građevnih materijala omogućava poboljšanje ekoloških, ekonomskih i zdravstvenih aspekata, dajući doprinos ukupnoj kvaliteti življenja. Pitanje je samo da li smo spremni učiti na iskustvima iz prošlosti kako bismo mogli imati bolji pogled u budućnost.

Karmen Margeta¹; Anamarija Farkaš²; Zvonimir Glasnović¹

¹Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 10000 Zagreb, Savska 16; ²Institut za međunarodne odnose (IMO), 10000 Zagreb, Ulica Ljudevita Farkaša Vukotinovića 2

IZVORI

- [1] Frederick A. Mumpton. *La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 96, pp. 3463–3470, March 1999
- [2] EN 197-1, 2000. <http://www.rucem.ru/yabfiles/Attachments/EN-197-1.pdf>
- [3] Dipayan Jana. CLINOPTILOLITE –A PROMISING POZZOLAN IN CONCRETE Construction Materials Consultants, Inc. & Applied Petrographic Services, Inc. Greensburg, PA USA
- [4] D. Vrkljan, M. Klanfar. Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina. Cement. RGN, lipanj 2010. http://rgn.hr/~mklanfar/nids_mklanfar/TEHNOLOGIJA_Cementne-sirovine.pdf
- [5] http://info.grad.hr/res/odbfiles/1887/13_predavanje_odrzivost.pdf
- [6] Krešimir Popović, Ružica Rosković, Dubravka Bjegović. Proizvodnja cementa i održivi razvoj, Građevinar 55 (2003) 4, 201-206.
- [7] <http://www.litracon.hu/>