

MILICA M. VLAHOVIĆ
TAMARA Đ. BOLJANAC
ANĐELKA R. BRANKOVIĆ
VELISLAV M. VIDOJKOVIĆ
SANJA P. MARTINOVIĆ
NATAŠA G. ĐORĐEVIĆ

Institut za tehnologiju nuklearnih i
drugih mineralnih sirovina,
Beograd

NAUČNI RAD

UDK 666.974:620.193

DOI: 10.2298/HEMIND090918001V

UTICAJ VRSTE PUNIOCA NA KOROZIONU OTPORNOST SUMPORNOG BETONA

U radu je ispitana koroziona otpornost sumpornog betona u uslovima različitih hemijskih agresivnih sredina. Polazne komponente za dobijanje sumpornog betona bile su agregat definisanog sastava, modifikovano sumporno vezivo i različiti punioci (talk, glinica, mikrosilika i elektrofilerski pepeo). Ispitivanje materijala na otpornost u agresivnim sredinama i to u 20% H₂SO₄, 10% HCl i 3% NaCl na sobnoj temperaturi praćeno je promenom mase i čvrstoće sumpornog betona u trajanju do 360 dana. Rezultati su pokazali da uzorci sumpornog betona sa elektrofilterskim pepelom i talkom imaju bolju korozionu otpornost u kiselim sredinama u odnosu na betone sa glinicom i mikrosilikom. Svi uzorci imaju izuzetnu korozionu otpornost u rastvorima NaCl, pri čemu su najbolji uzorci sa talkom kao puniocem. Radi poređenja, praćena je i otpornost klasičnog portland cementnog betona u istim sredinama.

Razvoj novih tehnologija i zakonske regulative o zaštiti životne sredine usloveli su izraženije prečišćavanje prirodnog gasa, rafinerijskih tokova i naftnih derivata u smislu uklanjanja sumpora. To je dovelo do izdvajanja i gomilanja miliona tona sumpora iz nafte i prirodnog gasa.

Jedna od najčešćih primena otpadnog sumpora iz procesa rafinacije nafte danas je dobijanje modifikovanog sumpornog veziva za primenu u betonima pošto zahteva najmanja investiciona ulaganja, a predstavlja adekvatnu, a u nekim slučajevima i bolju zamenu klasičnom portland cementnom betonu [1–3]. Sumporni beton (SB) relativno je nov građevinski materijal koji u mnogim oblastima građevinarstva potencijalno može da zameni klasičan beton dobijen sa portland cementom kao vezivom [4–10]. Savremena svetska iskustva ukazuju da beton u kojem je kao vezivo umesto cementa upotrebljen sumpor pokazuje značajne hemijske i fizičko-mehaničke prednosti u odnosu na klasičan portland cementni beton (PCB). Sumporni beton već ima značajnu primenu u Americi i Kanadi, dok je njegova primena u Evropi tek u začetku. Sumporni beton se može koristiti kao visoko postojana zamena za konstrukcione materijale, na mestima unutar industrijskih postrojenja gde kisela i slana sredina izazivaju prevremeno razaranje i pucanje, kao i na mestima čestih cikličnih promena temperatura (mržnjenje–topljenje) [2,10]. Najčešće se ugrađuje u pogonima prehrambene i hemijske industrije u kojima se proizvode i skladište agresivni materijali (rezervoari, cevi, elektrolitičke ćelije), u postrojenjima za preradu otpadnih voda, na farmama domaćih životinja, za izradu elemenata koji se koriste u morskoj sredini, za izradu kanala za drenažu i kanalizacionih cevi, za pločavanje pešačkih staza, ivičnjaka, trotoara, krovnih crepova, železničkih i tramvajskih pragova i dr.

U početku, proizvodi od sumpornog betona pripremani su korišćenjem nemodifikovanog sumpora kao vezivnog sredstva; međutim pokazalo se da iako su nakon pripreme imali odličnu mehaničku čvrstoću, prilikom upotrebe su brzo gubili postojanost i pucali nakon relativno kratkog vremena [4]. Naime, izlaganje takvih sumpornih betona ponovljenim ciklusima smrzavanja i odmrzavanja u uslovima velike vlage ili potapanje u vodu vodilo je njihovom razaranju i pucanju. Razvojem modifikovanog sumpornog veziva povećana je njegova izdržljivost čime je on našao primenu za izradu i popravku puteva i kao konstrukcioni materijal [5–8]. Sam sumpor pokazuje veliku sklonost ka polimerizaciji, dok hemijska modifikacija pojačava tendenciju ili produžava vreme potrebno da sumpor polimerizuje. Drugim rečima, pored toga što se modifikacijom sprečava transformacija sumpora iz monokličnog u ortorombični oblik, povećava se stepen polimerizacije sumpora i nastaju dugi lanci sumpora [4]. Sumporni beton dobijen pomoću modifikovanog sumpornog veziva i odabirom odgovarajućeg agregata pokazao je izuzetne i jedinstvene osobine kao što su velika čvrstoća i otpornost na zamor, odlična otpornost na koroziju u kiselim i slanim sredinama i veoma brzo vezivanje. Naime, za razliku od PCB kod kojih se nakon starenja od 28 dana postiže 70–80% čvrstoće u odnosu na čvrstoću koja se postiže za veoma duga vremena [9], kod SB se 70–80% čvrstoće postiže već nakon 24 h [1].

Sumporni beton je termoplastični kompozit sačinjen od mineralnog agregata i punioca, vezanih sumporom kao vezivom (umesto cementom i vodom) na temperaturi iznad tačke očvršćavanja sumpora (120 °C) [1].

Da bi se dobio sumporni beton zadovoljavajućih fizičko-hemijskih i mehaničkih osobina, potrebno je da i komponente od kojih se priprema zadovolje određene kriterijume:

– u zavisnosti od primene, granulometrijski sastav treba da bude precizno definisan, tako da obezbedi maksimalno gusto pakovanje zrna agregata i da minimizira zahtev za količinom veziva;

Autor za prepisku: V. Vidojković, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franše d'Eperea 86, 11000 Beograd.

E-pošta: v.vidojkovic@itnms.ac.rs

Rad primljen: 18. septembar 2009.

Rad prihvaćen: 17. februar 2010.

– zrna agregata treba da budu zaobljenog oblika zbog postizanja boljeg pakovanja i smanjenja broja šupljina i pora u samom betonu, što obezbeđuje veću čvrstoću materijala;

– komponente treba da poseduju veliku otpornost na hemijski agresivne sredine i na nagle promene temperature, čime se obezbeđuje dobra postojanost SB;

– potrebno je da komponente imaju što manju poroznost čime se postiže mala adsorpcija vlage.

Punioc ima dve osnovne funkcije: sitna frakcija punioca ($\leq 75 \mu\text{m}$) popunjava prazan međuprostor između zrna agregata čime se povećava homogenost i tečljivost betonske smeše i dobija gusto pakovan proizvod sa minimalnim sadržajem šupljina i pora; druga funkcija punioca je uloga modifikatora, na taj način što pri hlađenju i očvršćavanju sprečava stvaranje velikih kristala sumpora i poboljšava mehaničke karakteristike betona [1,2].

Opravdanost upotrebe sumpora kao veziva zasniva se na njegovim fizičko-hemijskim karakteristikama: hemijskoj pasivnosti, izuzetnoj otpornosti na agresivne agense (pre svega na kiseline i slane rastvore, ali ne i na baze) i izraženoj hidrofobnosti. Ne treba zanemariti ni odnos cene skupog cementa u klasičnom betonu i jeftinog otpadnog sumpora [1–3,10].

Odnos agregata, punioca i veziva u pripremi sumpor betonske mešavine može varirati zavisno od primene.

Karakterizacija sumpornog betona je dosta slična kao kod portland cementnog zbog toga što se njihove oblasti moguće primene u dobroj meri poklapaju, tako da je njihovo poređenje veoma često i presudno kod izbora između ova dva betona [11].

Prednosti sumpornog betona u odnosu na portland cementni su [1–3,10]:

– izuzetna otpornost na uticaj mnogih kiselina i soli, čak i u veoma visokim koncentracijama, što mu omogućava da se primenjuje u visokoagresivnim sredinama;

– očvršćava veoma brzo i postiže zahtevane karakteristike već u roku od 24 sata;

– sile zatezanja, pritiska i savijanja, kao i vreme zamora materijala su bolji nego kod portland cementnog betona;

– može se proizvoditi i ugrađivati tokom cele godine, nezavisno od vremenskih uslova, pa i na temperaturama ispod 0°C ;

– veoma mala vodopropustljivost zahvaljujući hidrofobnosti sumpora, tako da se može koristiti i kao hidroizolacioni materijal;

– može da se reciklira.

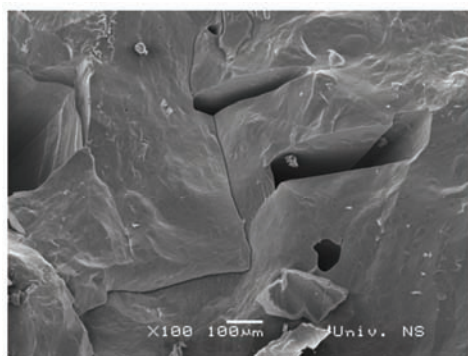
Namera svih dosadašnjih istraživačkih nastojanja bila je da se dođe do jednostavne i jasne formulacije sumpornog betona, koja će obezbediti odgovarajuće fizičko-mehaničke, hemijske i ekološke karakteristike, što bi omogućilo njegovu širu primenu, a time i značajnu potrošnju sekundarnog sumpora.

U ovom radu ispitivan je stepen razaranja betona u različitim agresivnim sredinama u toku 360 dana, u zavisnosti od vrste punioca. Kao parametri za određivanje stepena razaranja materijala, praćeni su promena mase uzoraka SB i degradacija pritiskne čvrstoće.

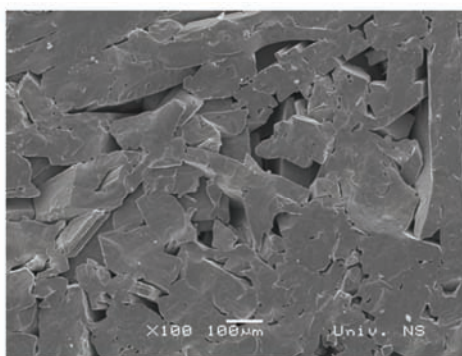
EKSPERIMENTALNI DEO

Polazne komponente za tehnološki postupak dobijanja sumpornog betona bile su: modifikovano sumporno vezivo, agregat i različiti punioci.

Sumpor koji predstavlja osnovnu komponentu za dobijanje modifikovanog sumpornog veziva potiče iz procesa rafinacije nafte u Claus-ovom postupku u Rafineriji nafte Pančevo i čistoće je 99,9%. Modifikacija sumpora izvedena je polimerizacijom cikličnim ugljovodonikom prema patentu [12], mešanjem ugljovodoničnog polimernog jedinjenja, diciklopentadiena (DCPD) i istopljenog sekundarnog sumpora u opsegu temperatura $120\text{--}140^\circ\text{C}$ u trajanju od 30 min, a zatim naglim hlađenjem i očvršćavanjem tako dobijenog sumpornog polimera. Mikrostrukture elementarnog i modifikovanog sumpora ispitivane su skenirajućim elektronskim mikroskopom (SEM), JEOL JSM-5800 sa EDX, slika 1, a dobijeni rezultati analizirani prema literaturi [2]. Stru-



a) Nemodifikovan S



b) Modifikovan S

Slika 1. Struktura sumpora: a) nemodifikovan; b) modifikovan.
Figure 1. Structure of sulphur: a) non-modified; b) modified.

kturu čistog sumpora dobijenog Claus-ovim postupkom čine gusti ortorombični kristali α -oblika (S_α), slika 1a, dok modifikovani sumpor čine pločasti monoklinični kristali β -oblika (S_β), delimično polimerizovani u cik-cak lance, slika 1b [2].

Kao agregat korišćen je pesak maksimalne veličine zrna 2 mm dobijen prosejavanjem klasične građevinske mešavine šljunka i peska „Moravac“. Granulometrijski sastav, određen sitovnom analizom pre i posle prosejavanja, dat je na slici 2.

Kao punioci korišćeni su talk (tehničkog kvaliteta, Kina), glinica (Almatis, Nemačka), mikrosilika (Sika, Švajcarska) i elektrofilterski pepeo (TE „Nikola Tesla-A“, Obrenovac). Karakteristika svih izabranih punioca je da je veličina čestica ispod 75 μm . Hemijski sastav i gustine primenjenih punioca dati su u tabeli 1.

U zavisnosti od ponašanja određenog punioca u betonskoj mešavini i uticaja na njenu reologiju a radi postizanja najveće gustinu betona, pripremani su betoni sa različitim sadržajem punioca u odnosu na agregat.

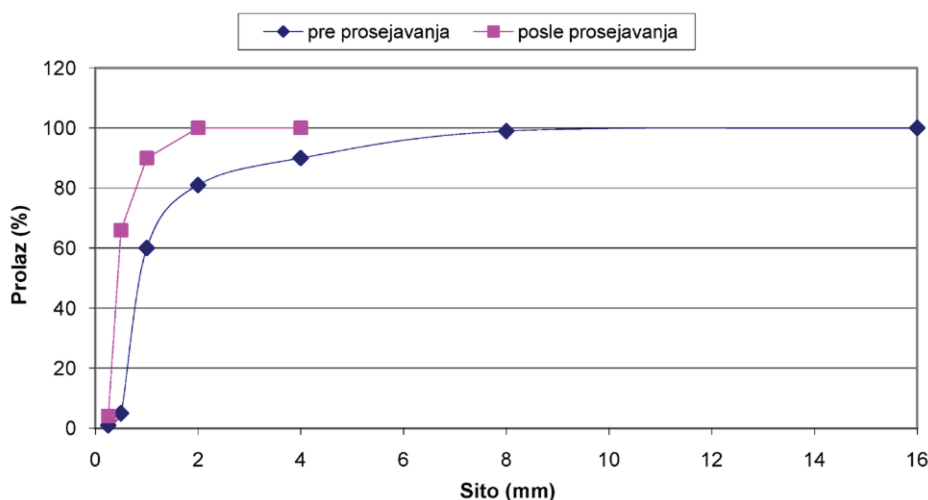
Raspodela veličina čestica je određena laserskom difrakcijom na uređaju Helos (H1597) & Sucell, Sympatec, Nemačka, za sva četiri punila i prikazana je na slici 3.

Postupak dobijanja sumpornog betona prema proceduri opisanoj u literaturi [1] sastojao se u umešavanju

rastopa sumpora i modifikovanog sumpora u zagrejanu i homogenizovanu suhu mešavinu agregata i punioca, na temperaturi topljenja sumpora, 132–141 °C. Homogenizacija i mešanje trajali su 2 min, nakon čega je beton izlivan u predgrejane kalupe na 120 °C uz vibriranje od 10 s na vibrostolu. Nakon 3 h očvršćavanja na vazduhu na sobnoj temperaturi uzorci su vađeni iz kalupa.

Veoma važna karakteristika sumpornog betona je brzo očvršćavanje (15 min do nekoliko sati, zavisno od veličine i geometrije uzorka), što omogućava brzo vađenje iz kalupa i relativno kratko vreme nege (dovoljno je 24 h na vazduhu na sobnoj temperaturi). Za praćenje fizičko-mehaničkih karakteristika betona tokom testiranja otpornosti na agresivne sredine pripremljeni su uzorci oblika prizme 4 cm×4 cm×16 cm koji očvršćavaju nakon 20–25 min. Sastav i relevantna polazna fizičko-mehanička svojstva pripremljenih referentnih uzoraka sumpornog betona, 24 h nakon vađenja iz kalupa i nege na vazduhu na sobnoj temperaturi prikazani su u tabeli 2. Može se uočiti da su fizičko mehaničke karakteristike svih referentnih uzoraka (pre testa otpornosti na agresivne sredine) slične što se može povezati sa približnim vrednostima gustina.

Poređenjem svojstava dobijenih uzoraka sa kvalitetom sumpornog betona iz literature [1], može se zaključiti da, što se tiče pritisne i savojne čvrstoće, pripre-



Slika 2. Granulometrijski sastav agregata.

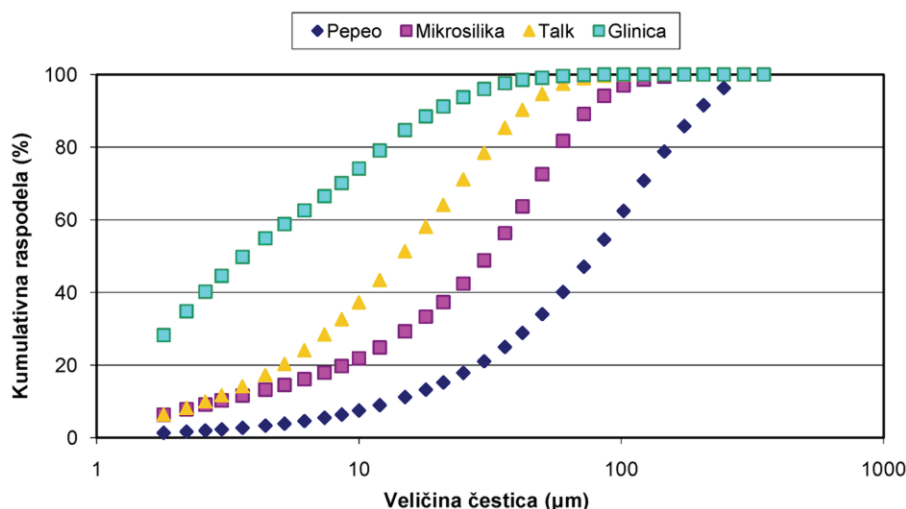
Figure 2. Grain size distribution of aggregate.

Tabela 1. Hemijski sastav i gustine punioca

Table 1. Chemical composition and density of fillers

Punioć	Sadržaj, mas. %										$\rho / \text{g cm}^{-3}$
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	
T	57	0,3	0,4	0,7	31	–	–	–	–	–	2,52
G	99,3	0,15	0,02	0,03	0,004	0,40	0,03	0,02	–	–	3,86
MS	95,1	0,5	0,5	0,4	0,6	0,2	0,7	–	1,1	0,3	2,32
EP	56,7	23,78	5,85	5,89	2,08	0,54	1,05	0,66	0,06	1,61	2

T-talk; G-glinica; MS-mikrosilika; EP-elektrofilterski pepeo



Slika 3. Raspodela veličina čestica punioca: a) talk; b) glinica; c) mikrosilika; d) elektrofilterski pepeo.
Figure 3. Grain size analysis of fillers: a) talc; b) alumina; c) microsilica; d) fly ash.

Tabela 2. Sastav i fizičko-mehanička svojstva betona posle 24 h nege na vazduhu na sobnoj temperaturi
Table 2. Composition and physico-mechanical properties of sulfur concrete after 24 h of curing at room temperature

Oznaka betona	Punioc	Sadržaj, %			Čvrstoća, MPa		$\rho / \text{g cm}^{-3}$
		Sumpor	Agregat	Punioc	Pritisna	Savojna	
SB1	T	20	74	6	55,4	8,3	2,33
SB2	G	20	73	7	49,2	8,4	2,34
SB3	MS	20	78	2	50,3	7,2	2,31
SB4	EP	20	75	5	48,9	7,8	2,25

mljeni uzorci sumpornog betona sa različitim puniocima daju potpuno zadovoljavajuće rezultate.

Radi poređenja, napravljeni su uzorci portland cementnog betona od istog agregata kao kod sumpornog betona, istih punioca i portland cementa sa vodocementnim faktorom $w/c = 0,5$.

Za ispitivanje korozione postojanosti i trajnosti sumpornog betona korišćena je metoda propisana standardom [1]. Pripremljeni uzorci sumpornog betona sa puniocima (talk, glinica, mikrosilika i elektrofilterski pepeo) ispitivani su na otpornost u hemijski agresivnim sredinama za koje se smatra da mogu delovati na sumporni beton. U našim ispitivanjima to su bili sledeći rastvori: 10% HCl, 20% H_2SO_4 i 3% NaCl. Na izbor vrste rastvora i koncentracije uticala je pretpostavka o potencijalnoj primeni sumpornog betona. Shodno tome, praćeno je razaranje materijala tokom 1 godine, periodičnim merenjem mase uzoraka i poređenjem sa početnom masom, kao i promena pritisne čvrstoće betona. Radi poređenja, istovremeno je praćeno ponašanje uzoraka od portland cementnog betona u istim agresivnim sredinama. Mase ispitivanih uzoraka merene su na vagi Shollex opsega 5 kg, tačnosti 0,01 g.

Pritisne čvrstoće pre i tokom testiranja na otpornost u različitim agresivnim sredinama ispitivane su na presi Amsler sa maksimalnim opterećenjem od 200 kN (GF,

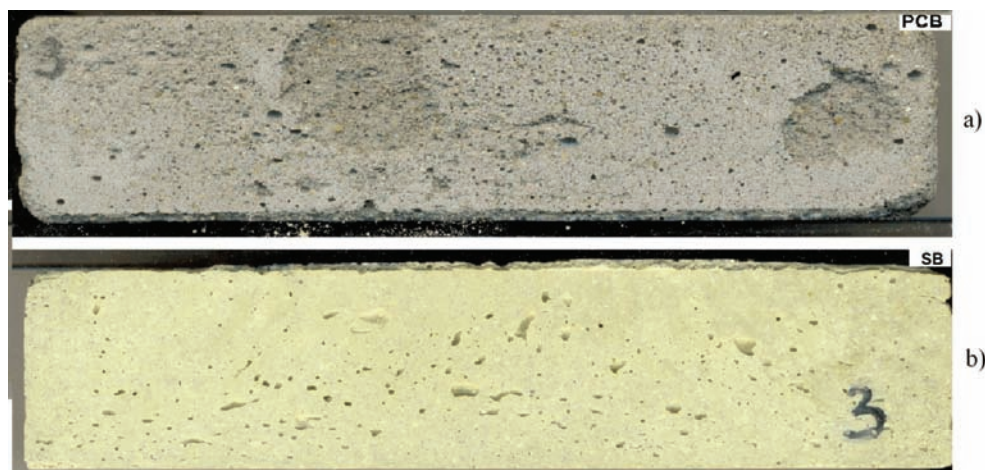
Beograd), standardizovanom metodom za ispitivanje čvrstoće betona (SRPS EN 196-1:2008).

REZULTATI I DISKUSIJA

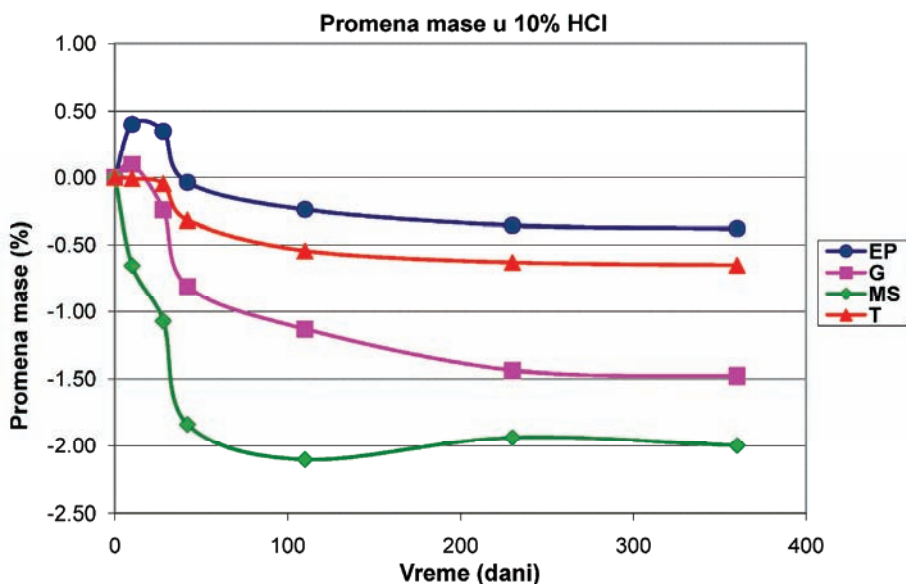
Razlike u čvrstoći između pojedinih referentnih uzoraka (tabela 2) verovatno potiču od fizičko-hemij-skih osobina primenjenih punioca, pošto su ostale komponente iste kod svih uzoraka.

Uporedo sa sumpornim betonima ispitivano je ponašanje uzoraka od portland cementnog betona u istim agresivnim sredinama. Nakon 2 meseca svi uzorci portland cementnog betona u kiselim i slanim sredinama izgubili su na masi više od 20% uz potpunu degradaciju fizičko-mehaničkih karakteristika, tako da su dalja merenja obustavljena. Snimci površine uzoraka portland cementnog betona nakon 14 dana odležavanja u 10% HCl i sumpornog betona sa glinicom kao puniocem u istom rastvoru nakon 6 meseci prikazani su na slici 4.

Ponašanje sumpornog betona praćeno je 12 meseci u kiselim i slanim agresivnim sredinama. Rezultati su pokazali da su uzorci izgubili 1–2% mase, zavisno od vrste punioca. Na slikama 5–7 prikazana je otpornost sumpornog betona na koroziju u zavisnosti od vrste punioca i korozionog agensa u funkciji vremena.



Slika 4. Površine uzoraka: a) PCB nakon 14 dana u 10% HCl; b) SB sa glinicom nakon 6 meseci u 10% HCl.
Figure 4. Samples surfaces of: a) PCC after 14 days in 10% HCl; b) SC with alumina after 6 months in 10% HCl.

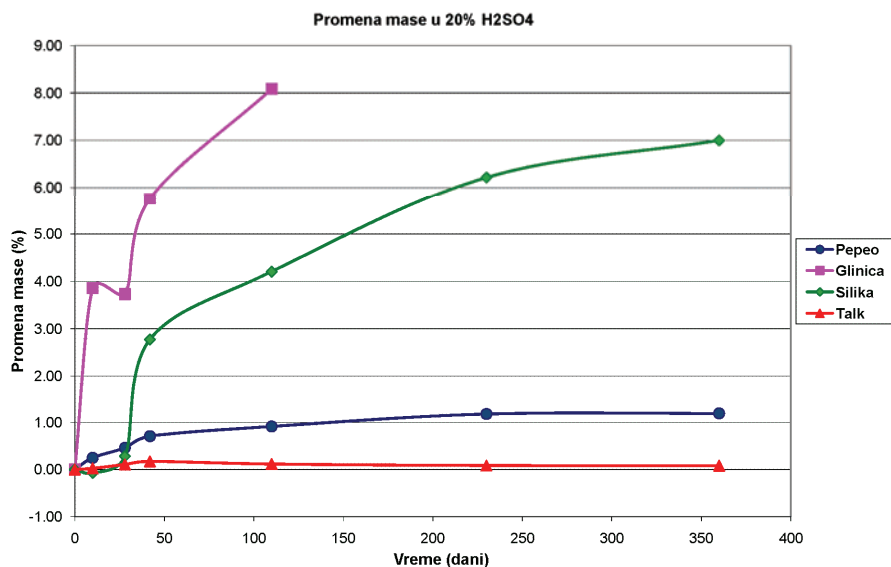
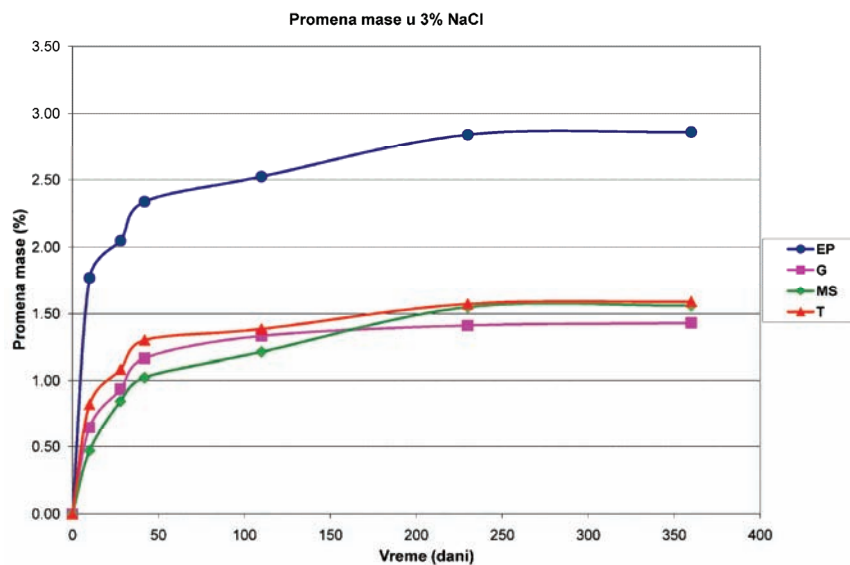


Slika 5. Promena mase uzorka sumpornog betona u 10% HCl.
Figure 5. Weight changes of the sulfur concrete sample in 10% solution of HCl.

Na slici 5 prikazan je dijagram ponašanja uzoraka sumpornog betona sa različitim puniocima u srednje koncentrovanom rastvoru hlorovodonične kiseline u trajanju od 360 dana. Zapaža se da u početnom periodu od desetak dana dolazi do privremenog porasta mase za uzorke sa elektrofilterskim pepelom (~0,4%) i glinicom (~0,1%). U toku perioda do 100 dana, dolazi do smanjenja mase svih ispitivanih uzoraka pri čemu je najmanji gubitak mase uzorka sa elektrofilterskim pepelom (~0,35%) a najveći za uzorak sa mikrosilikom (~2%). Nakon perioda od 200 dana može se smatrati da više ne dolazi do promene mase ni kod jednog uzorka. Činjenica da je gubitak mase kod svih uzoraka vremenski ograničen i da posle 200 dana masa ostaje konstantna, ukazuje na zaključak da su u zavisnosti od vrste punioca, u tom periodu uzorci korodirali u različitom stepenu. Korozija se verovatno odvijala površinski i u otvorenim

porama, i to na površinama koje nisu bile obavijene sumporom i trajala je dok je bilo takvih površina. Količina takvih površina i otvorenih pora očigledno zavisi od primenjenog punioca jer je to jedina komponenta po kojoj se uzorci međusobno razlikuju.

Na slici 6 prikazano je ponašanje sumpornog betona u srednje koncentrovanom rastvoru sumporne kiseline u trajanju od 360 dana. Uzorci sa mikrosilikom i glinicom već u periodu od 100 dana pokazuju značajan porast mase i to ~8% za uzorak sa glinicom i ~4% za uzorak sa mikrosilikom. Uzorak sa glinicom je nakon 100 dana počeo da se raspada. Ovakvo ponašanje je verovatno posledica povećanja poroznosti usled korozije i značajnog upijanja tečne faze, pri čemu je apsolutni iznos promene mase uzorka zapravo materijalni bilans između gubitka mase usled korozije i upijanja tečne faze u pore i šupljine nastale korozijom. S druge strane, kod

Slika 6. Promena mase uzorka sumpornog betona u 20% H₂SO₄.Figure 6. Weight changes of the sulfur concrete sample in 20% solution of H₂SO₄.

Slika 7. Promena mase uzorka sumpornog betona u 3% NaCl.

Figure 7. Weight changes of the sulfur concrete sample in 3% solution of NaCl.

uzoraka sa elektrofilterskim pepelom, a posebno sa talkom, porast mase tokom celog perioda je znatno manji (talk: ~0,1%; pepeo: ~1%). Kod ova dva uzorka posle 200 dana više nije bilo promene mase, pa se može zaključiti da je porast mase posledica upijanja tečne faze usled površinske poroznosti. Činjenica da je porast mase vremenski ograničen (verovatno difuzijom tečne faze kroz otvorene pore) ukazuje na zaključak da kod ova dva uzorka nema korozije ili je ona zanemarljiva i ograničena na slobodne površine agregata i punioca koje nisu prekrivene sumporom. Različita otpornost na koroziju u rastvoru H₂SO₄ očigledno je posledica primenjenog punioca, njegovog uticaja na strukturu SB i ponaša-

nja takve strukture u odnosu na fizičko-hemijske osobine rastvora H₂SO₄.

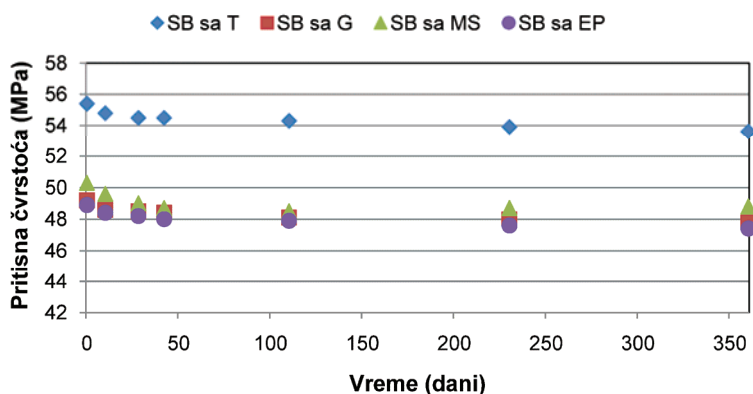
Na slici 7 prikazano je ponašanje sumpornog betona u 3% rastvoru natrijum-hlorida u trajanju od 360 dana. U sva četiri uzorka u periodu od oko 100 dana dolazi do porasta mase koji je najveći kod uzorka sa elektrofilterskim pepelom (~2,5%) dok je kod ostala tri uzorka porast mase ujednačen, pri čemu je najmanji za uzorak sa mikrosilikom ~1,2%. Nakon tog perioda tendencija porasta mase se usporava, a posle 200 dana praktično zaustavlja. Može se očekivati slično ponašanje sumpornog betona pri dejstvu ostalih korozivnih agenasa koji u vodenom rastvoru daju neutralnu sredinu (sve neorganske soli i organske supstance rastvorne u vodi).

Porast mase je verovatno posledica upijanja tečne faze usled otvorene površinske poroznosti. Na takav zaključak navodi činjenica da posle perioda od oko 200 dana masa svih uzoraka ostaje nepromenjena. Odavde se može zaključiti da je korozija SB u rastvoru NaCl zanemarljiva i da se ovom metodom ne može registrovati.

Promena čvrstoće na pritisak sumpornog betona sa različitim puniocima u srednje koncentrovanim rastvo-

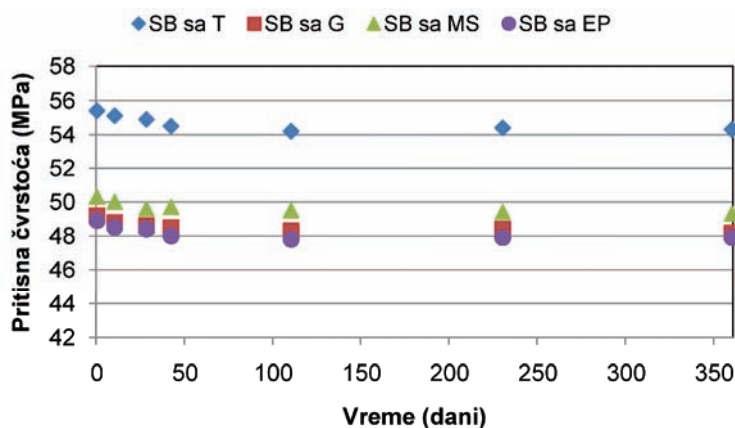
rima hlorovodonične i sumporne kiseline, kao i u 3% rastvoru natrijum hlorida prikazana je na slikama 8–10.

Rezultati su pokazali da su uzorci SB nakon 360 dana izgubili 3% vrednosti pritisne čvrstoće u 10% rastvoru HCl, dok je pad čvrstoće SB u 20% rastvoru H_2SO_4 iznosio 2%. Pad čvrstoće u NaCl nakon 360 dana bio je zanemarljivo mali.



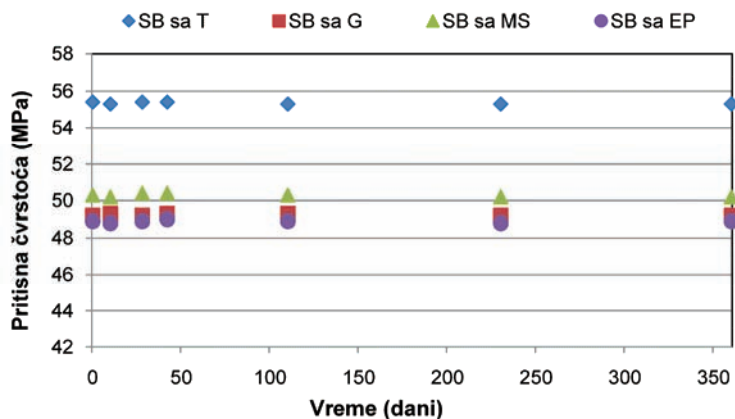
Slika 8. Promena pritisne čvrstoće uzorka sumpornog betona u 10% HCl.

Figure 8. Compressive strength changes in 10% solution of HCl.



Slika 9. Promena pritisne čvrstoće uzorka sumpornog betona u 20% H_2SO_4 .

Figure 9. Compressive strength changes in 20% solution of H_2SO_4 .



Slika 10. Promena pritisne čvrstoće uzorka sumpornog betona u 3% NaCl.

Figure 10. Compressive strength changes in 3% solution of NaCl.

ZAKLJUČAK

U ovom radu uzorci sumpornog betona dobijeni su od sekundarnog sumpora iz procesa rafinacije nafte, odgovarajućeg agregata i punioca: talka, glinice, mikrosilike i elektrofilterskog pepela. Modifikacija sumpora izvršena je cikličnim ugljovodnikom, diciklopentadienom. Portland cementni beton dobijen je od istog agregata, punioca i portland cementa sa vodocementnim faktorom $w/c = 0,5$.

Kod uzoraka portland cementnog betona u svim ispitivanim sredinama (rastvorima 10% HCl, 20% H₂SO₄ i 3% NaCl) posle dva meseca konstatovan je gubitak mase od 20% i potpuna degradacija fizičko-mehaničkih karakteristika.

Na osnovu ovih rezultata, kao i uticaja na čvrstoću sumpornog betona, zaključeno je da vrsta upotrebljenog punioca ima određenog uticaja na korozionu postojanost ispitivanih uzoraka. U rastvorima HCl i H₂SO₄ pokazalo se da su uzorci sumpornog betona sa elektrofilterskim pepelom TENT Obrenovac, a posebno sa talkom kao puniocem, otporniji na koroziju od uzoraka sa glinicom i mikrosilikom. U rastvorima NaCl svi uzorci su pokazali izuzetnu korozionu postojanost, pri čemu najbolju uzorci sa talkom kao puniocem. Dobijeni rezultati se mogu koristiti za pronalaženje novih mogućnosti primene sumpornog betona u uslovima u kojima je potrebna velika otpornost na dejstvo agresivnih sredina.

LITERATURA

- [1] ACI Committee 548, Guide for Mixing and Placing Sulfur Concrete in Construction, Report 548.2R-93, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mi, 1993.
- [2] A-M.O. Mohamed, M. El Gamal, Hydro-mechanical behavior of a newly developed sulfur polymer concrete, *Cement Concrete Comp.* **31** (2009) 186–194.
- [3] R.N. Grugel, H. Toutanji, Sulfur concrete for lunar applications – Sublimation concerns, *Adv. Space Res.* **41** (2008) 103–112.
- [4] V. Gracia, E. Vázquez, S. Carmona, Utilization of by-produced sulfur for the manufacture of unmodified sulfur concrete, *International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures*, 2004, Barcelona, Spain, pp. 1054–1063.
- [5] T.A. Sullivan, W.C. McBee, D.D. Blue, in: *Sulfur in coatings and structural materials* in: J.R. West (Ed.), *New uses of sulfur: Advances in Chemistry Series 140*, American Chemical Society, Washington DC, 1975, pp. 55–74.
- [6] R. Gregor, A. Hackl, A new approach to sulfur concrete, in: D.J. Bourne (Ed.), *New uses of Sulfur-II: Advances in Chemistry Series 165*, American Chemical Society, Washington DC, 1978, pp. 54–78.
- [7] L. Diehl, Dicyclopentadiene-modified sulfur and its use as a binder, quoting sulfur concrete as an example, *New Uses for Sulfur and Pyrites*, The Sulfur Institute, Madrid, 1976, pp. 202–214.
- [8] J.J. Beaudoin, R.F. Feldman, Durability of porous systems impregnated with dicyclopentadiene-modified sulfur, *Int. J. Cement Compos. Lightweight Concrete* **6** (1) (1984) 13–18.
- [9] M. Muravljov, *Osnovi teorije i tehnologije betona*, Građevinska knjiga, Beograd, 2000.
- [10] Y. Abdel-Jawad, M. Al-Qudah, The combined effect of water and temperature on the strength of sulfur concrete, *Cement Concrete Res.* **24** (1994) 165–175.
- [11] S.L. Lin, J.S. Lai, E.S.K. Chain, Modifications of sulfur polymer cement (SPC) stabilization and solidification (S/S) process, *Waste Manage.* **15** 85/6 (1995) 441–447.
- [12] A.F. Soderberg, P. Terness, D.L. Thomas, U.S. Patent 6,228,905, May 8, 2001.

SUMMARY**THE INFLUENCE OF FILLER TYPE ON THE CORROSION STABILITY OF THE SULFURE CONCRETE**

Milica M. Vlahović, Tamara Đ. Boljanac, Anđelka R. Branković, Velislav M. Vidojković, Sanja P. Martinović, Nataša G. Đorđević

Institute for Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials, Franchet d'Esperey St. 86, 11000 Belgrade, Serbia

(Scientific paper)

Sulfur concrete was prepared by using the initial components: sand as an aggregate, modified sulfur binder, and talc, alumina, microsilica, and fly ash as fillers. Portland cement concrete was made from the same aggregate and fillers and portland cement. The durability of the prepared concrete samples was tested in the following aggressive solutions: 10% HCl, 20% H₂SO₄, and 3% NaCl as a function of time. Changes in mass and strength of the sulfur concrete were monitored periodically during the immersion time of 360 days in above solutions. These changes were used as a measure of deterioration level. It should be highlighted that the samples with the ash and especially talc exhibit higher durability in the solutions of HCl and H₂SO₄ than the samples with alumina and microsilica. In the solutions of NaCl all samples have shown excellent durability while the samples with talc were the best. Portland cement concrete samples lost 20% of mass after two months and showed degradation of mechanical properties. By usage of sulfur for sulfur concrete production, a huge environmental problem regarding storage of waste sulfur from oil refining processes is solved. On the other hand, sulfur concrete with its low price has an excellent quality for the application in aggressive environments unlike the more expensive PCC.

Ključne reči: Sumporni beton • Punioći • Otpornost • Mehanička čvrstoća

Key words: Sulfur concrete • Fillers • Durability • Mechanical strength