

Polimerni betoni

Razvoj novih materijala je oblast u koju se danas najviše ulaže. Kompozitni materijali postoje i koriste se već hiljadama godina. Poboljšane osobine kompozitnih materijala pružaju mogućnost njihove široke primene. Jedan od najpoznatijih i najčešće korišćenih kompozita je beton sa česticama peska i šljunka povezanih cementom. Modifikacija betona pomoću polimera jedan od mogućih pravaca dobijanja materijala sa zadovoljavajućim mehaničkim karakteristikama, sa poboljšanom trajnošću u različitim sredinama i sa visokim estetskim vrednostima. Sve veća potrošnja agregata i ograničenja u eksploataciji prirodnih sirovina za proizvodnju agregata, dovela su do primene alternativnih materijala. Ovi materijali su najčešće industrijski sekundarni proizvodi ili građevinski otpad, čije deponovanje predstavlja veliki ekološki problem. Sve kompozite karakterišu neke zajedničke odlike koje ih čine posebnim i izdvajaju od drugih materijala: velika jačina i krutost - mogu biti jači od čelika, mala gustina i masa, otpornost na koroziju i visoke temperature, hemijska inertnost, mogućnost obrade i oblikovanja u raznovrsne oblike, izdržljivost i postojanost.

Ključne reči: beton, impregnacija, polimeri, modifikovacija, monomeri, kompoziti...

1. UVOD

Razvoj novih materijala je oblast u koju se danas najviše ulaže. Istroja graditeljstva obiluje primerima različitog pristupa trajnosti građevina od osnovne ideje čoveka da za sobom ostave građevine koje traju večno [12]. Kompozitni materijali postoje i koriste se već hiljadama godina. Malo je poznato da drvo predstavlja prirodni kompozit u kome lignin povezuje duga vlakna celuloze. U ovu vrstu materijala spadaju i svima dobro poznati i široko korišćeni opeka i beton, sastavljen od čestica peska i šljunka sjedinjenih pomoću cementa. Prvi savremeni kompozitni materijali su oni sa staklenim vlaknima, proizvedeni kasnih četrdesetih godina prošlog veka. Oni su još uvek najčešće korišćeni i čine 65 % svih kompozita koji se danas proizvode.

Kompozitni materijali nastaju sjedinjavanjem dva ili više raznolika materijala. Polazni materijali imaju međusobno različite osobine a njihov spoj daje potpuno nov materijal. On ima jedinstvena, sasvim nova i drugačija svojstva u odnosu na sastavne komponente. Cilj je da se poboljšaju strukturne, termičke, hemijske ili neke druge karakteristike pojedinačnih materijala. Komponente se međusobno ne mešaju niti rastvaraju tako da se unutar kompozita jasno razlikuju dve ili više faza. Jedna faza nazvana ojačivačem, daje jačinu i tvrdoću. Druga faza se naziva matricom ili vezivom

i ona okružuje i drži zajedno grupe vlakana ili fragmente ojačivača. Konstituenti kompozita mogu biti raznorodni materijali: nemetali, keramike, metali, polimeri. Od njihovih osobina, zastupljenosti, raspodele i vezivanja zavisiće svojstva novonastalog materijala. Sve kompozite karakterišu neke zajedničke odlike koje ih čine posebnim i izdvajaju od drugih materijala: velika jačina i krutost - mogu biti jači od čelika, mala gustina i masa, otpornost na koroziju i visoke temperature, hemijska inertnost, mogućnost obrade i oblikovanja u raznovrsne oblike, izdržljivost i postojanost. Poboljšane osobine kompozitnih materijala pružaju mogućnost njihove široke primene. U poslednjim decenijama napravljeno je mnoštvo novih sa nekim izuzetno korisnim osobinama. Pažljivim izborom materijala ojačivača i matrice i proizvodnog procesa kojim se oni spajaju, mogu se dobiti kompoziti sa svojstvima potrebnim za specijalne primene. Koriste se u avionskoj, automobilskoj i elektronskoj industriji, medicini, građevinarstvu itd. Jedan od najpoznatijih i najčešće korišćenih kompozita je beton sa česticama peska i šljunka povezanih cementom [16].

Kompozitni materijali postaju sve značajnija alternativa konvencionalnom aramturnom čeliku, a njihova primena je najzastupljenija kod sanacija i ojačanja konstrukcija od betona, različitih konstrukcijskih sistema [10].

U ekonomski najrazvijenijim zemljama se bez problema proizvode betoni čvrstoće od 125 Mpa i više [4]. Merenje površinske tvrdoće omogućava da se na dosta jednostavan način odredi orijentaciona vrednost čvrstoće pri pritisku [13].

Adresa autora: Građevinsko-arhitektonski fakultet
Univerziteta u Nišu – PhD student, petmil@ni.ac.rs

Primljeno za publikovanje: 29. 12. 2012.

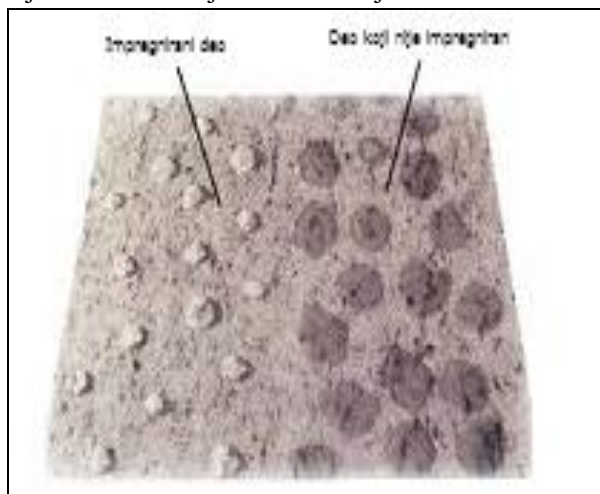
Prihvaćeno za publikovanje: 15. 03. 2013.

2. BETONI IMPREGNIRANI POLIMERIMA

Impregnacija predstavlja postupak natapanja materijala pogodnom tečnošću koja u daljem postupku ima sposobnost da pređe u čvrsto stanje [2].

Kako je beton porozan materijal postupak impregnacije cement betona je moguće uraditi upotrebom odgovarajućih monomera na veoma efikasan način. Sama efikasnost zavisi od mnogo faktora.

U svetu je za ovu vrstu polimerbetonskog kompozita usvojen skraćeni naziv "PIC", od "polymer impregnated concrete". U literaturi na ruskom jeziku koristi se naziv "betonopolimer – BP" [7]. Polimerom impregnacijom se može obezbediti relativna nepropustljivost betona u delu zaštitnog sloja u cilju povećanja trajnosti betona, a impregnacijom sa pogodnim polimerima, mogu se unaprediti i druge karakteristike kao što su: čvrstoća na zatezanje, pritiska čvrstoća, modul elastičnosti, otpornost na habanje, otpornost na vodu, kiseline i soli i otpornost na dejstvo zamrzavanja i odmrzavanja.



Slika 1 - Prikaz impregniranog dela betona i ne impregniranog dela

Monomeri čijom se polimerizacijom dobijaju termostabilni polimeri imaju prednost nad ostalim monomerima. Monomer treba da se odlikuje:

- malom viskoznošću,
- visokom tačkom ključanja,
- što manjom toksičnošću,
- jednostavnom polimerizacijom, i
- što manjom cenom.

Najpoznatiji monomeri koji se koriste za impregnaciju betona su:

- metil metakrilat, čijom polimerizacijom nastaje polimetilmetakrilat ili takozvani pleksiglas, i
- monomer stiren (samostalno ili pomešan sa poliestrom).

Impregnacijom se čvrstoća betona može povećati 2 do 4 puta. „ σ - ϵ “ dijagram može imati linearni tok i do 75% vrednosti maksimalnog napona pritiska. Lom nastaje iznenada. Impregnacija polimerom ojačava cementnu pastu i vezu sa agregatom pa linija loma može ići kroz agregat i on može biti limitirajući faktor čvrstoće.

Deformacija skupljanja je odprilike 10 puta manja kod impregniranih betona nego kod običnih, jer je sam postupak impregnacije takav da ostaje mala količina slobodne vode. Kod visokih temperatura može doći do porasta deformacije tečenja zbog omekšavanja polimera. Nisu otporni na požare ali su veoma otporni na dejstvo mraza, agresivnih rastvora i soli za odmrzavanje i na habanje jer im je ukupna poroznost veoma mala, nepropustljivi su za vodu i za gasove.

Impregnacija betona s nekim sada već klasičnim materijalima kao što su slikoni, akrilati, epoksidi i sl. nije delotvorno a ni naročito efikasno a ni dovoljno trajno. Novijeg datuma su vodoodbojne impregnacije betona silanima ili siloksanima, koji zbog vrlo jednostavne strukturne građe (u prvom slučaju monomerne tj. jednomolekularne, a druge oligomertne, tj. dvomolekularne ili tromolekularne) penetriraju znatno dublje u površinski sloj betona [8]. Polimerizacijom u porama betona u završnici kao silikonska polimerna zaštita:

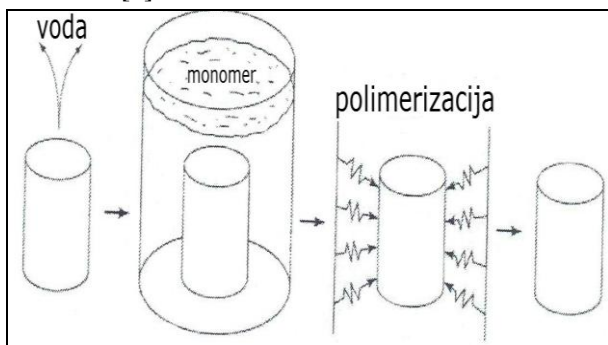
- formiraju vodoodbojni film u površinskom sloju betona,
- sprečavaju prodor vode i hlorida, a omogućavaju evaporaciju vlage,
- penetriraju, u određenoj meri, u pore betona,
- obično ne usporavaju karbonatizaciju betona, i
- iako ne sadrže pigmente boje mogu lagano izmeniti boju betona [1].

Impregnacija se izvodi sukcesivno i to:

- Zagrevanje i sušenje betona je prvi korak i on ima za cilj uklanjanje celokupne količine vode koja može ispariti iz betona. Vreme trajanja zagrevanja zavisi od temperature, vodocementnog faktora i dimenzija betonskog elementa. Uobičajna temperatura zagrevanja koja se primenjuje je oko 150°C u trajanju od 24 sata. Ukoliko se radi parcijalna impregnacija nekog konstruktivnog elementa in situ, ili dela konstruktivnog elementa, zbog mogućnosti pojave ozbiljnih prslina, treba koristiti temperature zagrevanja niže od 125°C.
- Impregnacija monomerom je sledeći korak. Beton koji je podvrgnut impregnaciji mora biti zasićen u što većoj meri, po mogućstvu u potpunosti. Dužina trajanja faze impregnacije zavisi od poroznosti betona, rasporeda i strukture pora, viskoznosti polimera i pritiska tečnog monomera na

beton. Kod prefabrikovanih betonskih elemenata moguće je veoma efikasno uraditi postupak impregnacije tako što se u prostoru za impregnacije smanji vazdušni pritisak (isisavanjem vazduha pomoću vakum pumpe), a zatim uvede monomer. U takvim uslovima impregnacija se može završiti za sat vremena. Parcijalna impregnacija in situ se obično sprovodi na suprotan način tako što monomer prodire u sistem pora betona pod pritiskom.

- Polimerizacija je naredni korak. Ona se može efikasno obaviti primenom gama zračenja ali se retko koristi zbog bezbednosti. Zato je primena katalizatora danas gotovo redovno prisutna. Impregnacija se radi mešavinom monomera i katalizatora, koju nakon što beton upije, treba zagrejati na 80 do 100o C (vrućom vodenom parom, infracrvenim zračenjem, vrućom vodom). Postoje i supstance koje se dodaju monomerima i omogućavaju polimerizaciju i na ambijentnoj temperaturi [2].



Slika 2 - Šematski prikaz impregnacije betona

3. BETONI MODIFIKOVANI POLIMERIMA

Betoni modifikovani polimerima dobijaju se dodavanjem monomera ili polimera u svežu betonsku masu. Za ovu grupu kompozita uobičajen je i naziv polimer portlandcementni beton, sa skraćenom oznakom na engleskom govornom području "PPCC" koja potiče od reči "polymer portland cement concrete". U ruskoj literaturi koristi se termin "polimercementni beton", sa skraćenom oznakom "PCB" [7].

Najčešće korišćeni modifikatori cementnih kompozita, na osnovu rezultata dosadašnjih istraživanja i prakse, su polimerni lateksi. U opštem slučaju polimerni lateksi predstavljaju kopolimerne sisteme, koji se sastoje iz dva ili više monomera, u obliku vodene disperzije. Dispergovane čestice su reda veličine od 0.05-5 μ m. Sastav polimernih lateksa varira u zavisnosti od konkretnog tipa polimera i obično sadrži 30-50% suve materije. U okviru suve materije sadržani su i emulgatori i stabilizatori, a u nekim slučajevima i antipenušavci. Standardni polimerni lateksi koji se mogu koristiti kao modifikatori cementnih kompozita, predstavljaju netoksične i bezopasne materijale, za

koje nije potrebno preduzimati posebne mere opreza. Praškaste emulzije su "suvi" polimeri koji se naknadno mešaju sa vodom. U ovu grupu polimera spadaju polietilenacetat, polivinilacetat-vinilversat i dr. U vodorastvorljive polimere ubrajaju se različite vrste celuloze (metilceluloza, karboksimetilceluloza i dr.), polivinil alkohol, polietilen oksid, poliakrilamid i druge slične supstance. U grupu tečnih smola spadaju poliesterske smole, epoksidne smole, fenolformaldehidne smole, poliuretani itd. Najčešće primenjivani monomeri su metilmetakrilat, furilov špirit i hlorigovodonični anilin.

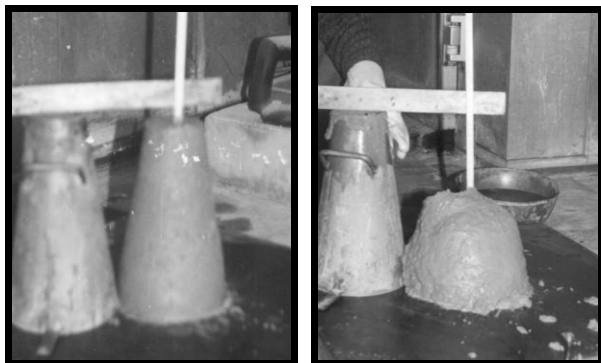
Betoni modifikovani polimerima pripremaju se putem mešanja polimera ili monomera u disperznoj, praškastoj ili tečnoj formi sa svežom betonskom mešavinom. Za sve vrste polimera i monomera koji se koriste u cementnim kompozitima - malterima i betonima, posebno je važno istaći da se hidratacija cementa i obrazovanje polimerne faze (sedinjavanje polimernih čestica i polimerizacija monomera) odvijaju nesmetano i paralelno. Pri tome dolazi do promene oblika monolitne matične faze sa rešetkastom strukturom, a faza hidratisanog cementa i polimerna faza se međusobno prožimaju. U strukturi betona modifikovanih polimerima, zrna granulate su povezana takvom bimatričnom fazom. Većina svojstava betona modifikovanih polimerima su u upoređenju sa običnim betonima promenjena zahvaljujući tako formiranoj strukturi. U sistemima, modifikovanim lateksom, praškastim emulzijama i vodorastvorljivim polimerima, gubitak vode iz tih sistema, pri hidrataciji cementa, dovodi do obrazovanja tankog polimernog sloja (filma) ili membrane. Nasuprot tome, u sistemima modifikovanim tečnim smolama monomerima, dodatak vode stimuliše i hidrataciju cementa i polimerizaciju tečnih smola i monomera.

Princip modifikacije cementnih kompozita monomerima je sličan kao i kod tečnih smola. Značajne količine monomera mešaju se sa cementnim malterima i betonima, pri čemu se hidratacija cementa i proces polimerizacije odvijaju paralelno. Proces polimerizacije može biti termokatalitički ili radijacioni, pri čemu se taj proces može odvijati za vreme ili posle faze vezivanja. Najčešće takav tip modifikacije ne obezbeđuje zadovoljavajuća svojstva modifikovanog sistema. Razlozi za to leže u narušavanju procesa hidratacije cementa, degradaciji monomera alkalijama iz cementa i problemima povezanim sa obezbeđivanjem homogenosti dispergovanog monomera i drugih komponenti u vreme mešanja.

Tehnologija dobijanja betona modifikovanih polimerima je skoro identična sa tehnologijom dobijanja običnih cementnih betona. Većina polimera, kao što su lateksi, nalazi se u disperznoj formi i dodaje se cementnom betonu prilikom mešanja. Pošto lateksi

imaju najveću primenu u modifikaciji betona, u nastavku se daju osnove tehnologije dobijanja betona modifikovanih lateksima. Za praškaste emulzije, polimere rastvorljive u vodi i epoksidne smole tehnološki postupci spravljanja, ugrađivanja i negovanja se bitno ne razlikuju od postupaka za betone modifikovane lateksima, dok je za monomer potrebno obezbediti termokatalitički ili radijacioni proces polimerizacije.

Obradljivost i ugradljivost betona modifikovanih polimerima je bolja u odnosu na klasične betone. Količina upotrebljenog polimernog lateksa ima direktan uticaj na konzistenciju svežeg betona zato što primenjeni polimer proizvodi efekat koji je karakterističan za aditive tipa superplastifikatora. Bolja ugradljivost i obradljivost svežeg betona modifikovanog polimerima može se objasniti poznatim efektom "kugličnih ležajeva" polimernih čestica, uticajem površinski aktivnih supstanci iz polimera i povećanom količinom uvučenog vazduha, koja takođe ima svojstvo "kugličnih ležajeva". Ovakav uticaj polimernog dodatka omogućava spravljanje betonskih mešavina zahtevane konzistencije sa manjim vodocementnim faktorom u odnosu na klasične betone, što ima pozitivan uticaj na većinu svojstava očvrstlog betona. Sa povećanjem polimer-cementnog odnosa potrebna količina vode za spravljanje može se smanjiti i za 30% [8].



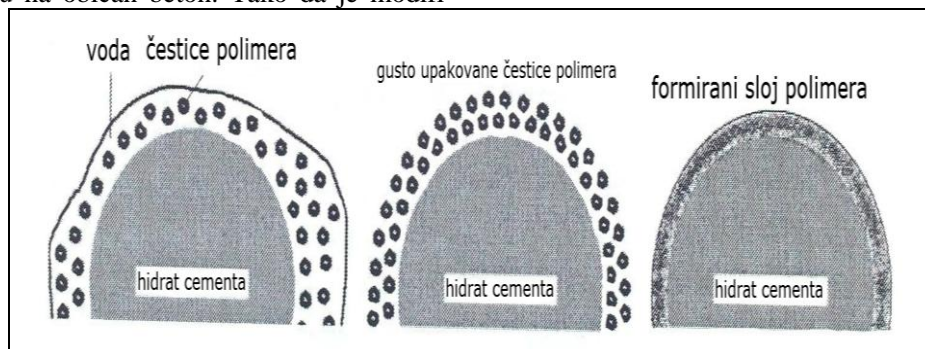
Slika 3 - Referentni beton i beton sa 15% polimernog dodatka

Čvrstoća pri zatezanju i savijanju betona modifikovanog polimerom je po pravilu veća za 2 do 3 puta u odnosu na obican beton. Tako da je modifi-

kovani beton pokazuju značajno veću žilavost i imaju manju vrednost modula elastičnosti. Posebnu prednost polimerima modifikovani betony imaju u domenu trajnosti zbog manjeg upijanja vode, odlične otpornosti na dejstvo mraza i soli za odmrzavanje, kao i otpornosti na dejstvo mnogih hemijskih agenasa.

U našoj sredini još uvek nije otpočela masovnjia primena betona modifikovanih polimerima, a poslednjih godina započela je primena gotovih maltera modifikovanih polimerima, koji se uglavnom koriste za sanacione radove i izvođenje industrijskih podova. Prema dostupnim podacima, primena betona modifikovanih polimerima u razvijenim zemljama, obuhvata praktično sve vrste objekata i sve oblasti građevinarstva, ali je najizraženija kod industrijskih i saobraćajnih objekata. Ova primena odnosi se kako na građenje novih, tako i na sanaciju postojećih objekata.

Odvija se istovremeno sa hidratacijom cementa i sa procesom obrazovanja polimernog sloja. Proces hidratacije cementa obično prethodi procesu obrazovanja polimernog sloja [6]. Kada se polimerni lateks doda svežem cementnom malteru ili betonskoj mešavini, polimerne čestice dispergiraju u fazu cementnog testa (faza a). U takvom, polimer-cementnom testu cementni gel se postepeno formira usled hidratacije cementa. U isto vreme čestice polimera se postepeno talože na površini smese cementnog gela i nehidratiranih čestica cementa (faza b). Zahvaljujući razvijanju strukture cementnog gela, čestice polimera se postepeno orijentišu u prostore kapilarnih pora. Sa nastavljanjem procesa hidratacije cementa, količina kapilarne vode se smanjuje, a polimerne čestice koaguliraju uz formiranje zaptivajućeg sloja na površini smese cementnog gela i nehidratiranih čestica cementa, a zatim se vezuju i za smesu i za silikatni sloj na površini granulata (faza c) [9]. Na kraju, čestice upakovanog polimera na produktima hidratacije cementa povezuju se u kontinualne slojeve ili membrane (faza d). Pri tome se formira monolitna rešetka, u kojoj polimerna faza prožima fazu postojećih produkata hidratacije. Uprošćeni proces obrazovanja polimernog sloja preko produkata hidratacije [6].



Slika 4 - Faze u postupku lateksne modifikacije betona

Komponentni materijali koji se koriste za dobijanje betona modifikovanih lateksima, su isti kao i materijali za dobijanje klasičnih cementnih betona. Čist Portland cement se najčešće koristi za dobijanje betona modifikovanih lateksom. Dodatke i aditive za beton u principu ne treba koristiti bez prethodnih ispitivanja, a naročito ne dodatke tipa aeranata, zato što dodatak lateksa izaziva povećanje količine uvučenog vazduha. Opreznost pri eventualnoj primeni dodataka i aditiva je neophodna zato što, u opštem slučaju, kombinovanje polimera sa nekim od dodataka ili aditiva može dovesti do nepovoljnih efekata, zbog mogućih hemijskih reakcija. Za spravljanje betona modifikovanih lateksima koristi se sitan i krupan agregat, kao i za klasične betone. Za koroziono otporne betone upotrebljava se kvarcni pesak i drobljeni agregat od kvarcita. Treba izbegavati primenu agregata sa velikom površinskom vlagom, zato što je u tom slučaju teško postići željenu konzistenciju betona. Voda za spravljanje modifikovanih betona ne sme da sadrži sastojke koji mogu nepovoljno uticati na proces hidratacije cementa i/ili na proces polimerizacije. U principu voda koja ispunjava uslove za spravljanje klasičnih betona može se koristiti i za spravljanje modifikovanih betona. Pri spravljanju betona modifikovanih lateksom često se koriste dodaci tipa "antipenušavca" u cilju smanjenja količine uvučenog vazduha. U poslednje vreme na tržištu su se pojavili polimerni lateksi koji već sadrže odgovarajuće antipenušavce, pa se mogu koristiti bez dodavanja takvih agenasa prilikom spravljanja betona.

Sastav betona modifikovanih lateksima određuje se na sličan način kao i za klasične betone, odnosno u zavisnosti od oblika i dimenzija konstruktivnog elementa, zahtevane ugradljivosti svežeg betona, projektovane čvrstoće, vodonepropustljivosti, hemijske otpornosti i drugih zahtevanih svojstava očvrstlog betona. Pri izboru sastava modifikovanih betona treba u prvom redu voditi računa o onim svojstvima (čvrstoća na zatezanje i savijanje, duktilnost, athezija i trajnost) koja se bitno poboljšavaju primenom polimera. Ova svojstva su zavisna od polimercementnog odnosa u većoj meri nego od vodocementnog odnosa, ali se ne sme zanemariti ni uticaj vodocementnog faktora na svojstva betona. Polimercementni odnos (kg/kg) predstavlja količnik između ukupne količine suve supstance u polimernoj disperziji i količine cementa u modifikovanom betonu. Zbog toga se prilikom usvajanja polimercementnog odnosa mora znati tačna količina suve materije u primenjenoj polimernoj disperziji. Pored toga, pri određivanju vodocementnog faktora mešavine mora se voditi računa i o količini vode koja se u mešavinu unosi preko polimerne disperzije. Najčešći polimercementni odnosi za modifikovane betone su u granicama od 5 - 20%, a vodocementni faktor od 30-50%. Sastav mešavine za betone modifi-

kovane lateksima, u većini slučajeva, ne može se odrediti na jednostavan način zato što je potrebno uzeti u obzir veliki broj uticajnih faktora u fazi projektovanja sastava. Za projektovanje sastava modifikovanih betona mogu se koristiti i određeni računski modeli, kao što je "model racionalnog sistema izbora sastava, koji je predložio Ohama. Radi provere saglasnosti zahtevanih sa ostvarenim svojstvima modifikovanih betona, nakon izbora komponentnih materijala i računskog određivanja sastava mešavine, obavezno se sprovodi eksperimentalno ispitivanje pomoću prethodnih proba. Stvarni sastav konkretnog modifikovanog betona definiše se na osnovu rezultata eksperimentalnog ispitivanja. Betoni modifikovani lateksima mogu se lako pripremati korišćenjem svih raspoloživih tipova mešalica.

Mogući postupci za spravljanje modifikovanih betona su:

- polimerna disperzija se pomeša sa potrebnom količinom vode za spravljanje betona i dodaje se mešavini agregata i cementa, i
- homogenizovanoj mešavini cementa, agregata i vode dodaje se polimerna disperzija.

U praksi se drugi postupak pokazao kao bolji sa aspekta smanjenja sadržaja uvučenog vazduha (zbog sklonosti nekih polimera ka penušanju u fazi mešanja) i poboljšanja fizičko-mehaničkih karakteristika. Pri spravljanju modifikovanih betona mora se voditi računa o brzini, vremenu mešanja i tipu mešalice, da bi se izbeglo neželjeno uvlačenje vazduha, bez obzira na primenu dodatka antipenušavca. U praksi je, takođe, potvrđeno da je celishodnije koristiti gravitacione mešalice umesto protivstrujnih. Preporučuje se da brzina mešanja za polimerne disperzije sklone penušanju bude do 10 obrtaja u minuti i da vreme mešanja iznosi najduže 2- 3minuta. Nakon završenog mešanja, modifikovani betonu se ugrađuju i obrađuju istim postupcima kao i klasični betoni. Modifikovani betoni imaju nešto kraće vreme obradljivosti u u poređenju sa običnim cementnim betonima. Iako vreme obrade zavisi u velikoj meri od temperature spoljne sredine, generalno se može reći da se modifikovani beton mora ugraditi u roku od 1 sata nakon mešanja. Budući da modifikovani betoni imaju mnogo bolju atheziju sa različitim materijalima, čak i sa metalima, sva oprema i alati moraju biti oprani i očišćeni odmah nakon korišćenja. Iz istog razloga, očišćenu površinu oplata ili kalupa treba pažljivo premazati specijalnim sredstvima za oplata. Modifikovane maltere i betone ne treba ugrađivati pri temperaturama nižim od 50°C i višim od 300°C. Prilikom kompaktiranja modifikovanog betona treba izbegavati dugo vibriranje, odnosno suviše vibracije, da se ne bi izazvalo izdvajanje vode zajedno sa polimerom na površinu betona [8].

Nega betona modifikovanih polimerima razlikuje se od nege klasičnih betona zbog prirode očvršćavanja upotrebljenih veziva. Naime, poznato je da je za hidrataciju cementa potrebna vlažna sredina (voda), dok je za formiranje polimerne matrice potrebna suva sredina (vazduh). Zbog toga se optimalna svojstva modifikovanih betona dobijaju pri kombinovanom režimu nege, koji se sastoji od negovanja u vlažnoj sredini u početnom periodu, a zatim suvog negovanja na vazduhu. Za betone modifikovane lateksima preporučuje se da period nege u vlažnoj sredini traje 5-7 dana. Postupak ubrzanog očvršćavanja zagrejanom vodenom parom se ne preporučuje [8].

U većini slučajeva praškaste emulzije se uvode preko suvog mešanja sa cementom, zatim mešanjem sa granulatom i dodavanjem potrebne količine vode na kraju. U trenutku dodavanja vode praškasta emulzija reemulgira u malteru ili betonskoj mešavini i kao i lateks dobija osobinu modifikatora cementa. Proces modifikacije cementnih kompozita praškastim emulzijama, zatim se odvija kao i proces modifikacije sa lateksom [8].

Pri modifikaciji vodorastvorljivim polimerima, mala količina polimera u formi praška ili vodenog rastvora dodaje se cementnom malteru ili betonskoj mešavini prilikom mešanja. Proces modifikacije poboljšava se uglavnom lakim "pakovanjem" usled površinske aktivnosti vodorastvorljivih polimera i sprečavanja efekta "isušivanja". Sprečavanje isušivanja, koje omogućava nesmetanu hidrataciju cementa, objašnjava se povećanjem viskoziteta tečne faze u cementnom malteru i betonu i izolatorskog efekta, zahvaljujući formiranju izuzetno tankih i vodonepropustljivih membrana [8].

Pri modifikaciji tečnim termoplastičnim smolama, značajna količina polimera sa niskom molekularnom masom ili prepolimera u tečnoj formi, dodaje se u cementni malter ili beton prilikom mešanja. Sadržaj polimera u tako modifikovanim malterima ili betonima je generalno veći nego u sistemima modifikovanim lateksima. Pri takvoj modifikaciji polimerizacija se odvija u prisustvu vode uz obrazovanje polimerne faze i istovremenu hidrataciju cementa. Kao rezultat takvog procesa formira se bimatrična faza sa rešetkastom strukturom uz uzajamno prožimanje polimerne faze i produkata hidratacije cementa, što obezbeđuje visoku atheziju sa granulatom [8].

4. POLIMERNI BETONI

U sastavu polimernih betona ne ulaze portland cement i voda. Komponentni materijali polimernih betona su agregat i uglavnom termostabilni polimeri. Polimerni beton je sastavljen u najvećem delu iz prirodnih mineralnih sirovina, kao npr. kvarc, bazalt i

granit. Oni se u obliku peščanog i šljunčanog agregata određene frakcije mešaju sa poliesterskim vezivom [14].

Polimeri – sintetičke smole koje se najviše koriste za spravljanje polimera betona su epoksidni (epoksidne smole), polyester, metilmetakrilat i fenolformaldehid. Polimeri se isporučuju kao dvokomponentni material u tečnom agregatnom stanju, često obeležene kao komponenta A (polimer) i komponenta B (katalizator koji inicira polimerizaciju). Proizvođač je u obavezi da da tačnu razmeru mešanja ovih komponenti. Nakon njihovog mešanja doći će do polimerizacije i očvršćavanja. Za praktičnu upotrebu je veoma važno imati podatak kada će polimer početi da očvršćava odnosno, koliko vremena će nakon mešanja komponentni A i B beton imati dovoljnu fluidnost da bi sa njima moglo da se manipuliše. Veliki uticaj na «radno vreme» polimera ima i temperatura vazduha. Obično, vreme koji stoji na raspolaganju za manipulaciju sa svežim polimer betonom (mešanje, transport ugradnja, završna obrada) iznosi 30 do 60 minuta što je uglavnom značajno kraće u poređenju sa običnim cement betonom [2].

Količina polimera značajno utiče na svojstvo polimer betona tako da se može govoriti o određenom optimalnom sadržaju koji je najbolje utvrditi eksperimentalnim putem. Povećanje sadržaja polimera iznad optimalnog će rezultovati povećanjem čvrstoće pri savijanju i smanjenjem čvrstoće pri pritisku. Praktična iskustva i čvrstoće očvrstlog betona optimalni sadržaj polimera kreće se od 12 do 14% u odnosu na masu betona. Ispitivanja su pokazala da upotreba vlakana kod polimernih betona dodatno unapređuje svojstva betona [2].

Za spravljanje polimer betona može se koristiti rečni agregat koji sadrži veliku količinu kvarca, kao i agregat dobijen drobljenjem jedrog krečnjaka, bazalta ili granite. Agregat mora biti suv i mora sadržati dovoljnu količinu sitnih čestica koje prolaze kroz sito otvora 0.09mm. U tu svrhu se može koristiti filter (kamenno brašno) dobijen mlevenjem krečnjaka, dolomite, kvarca, andezita, itd. Veličine nominalno najvećeg zrna agregata za spravljanje polimer betona odgovaraju uobičajnoj gradijaciji kao i kod običnih betona 16mm, 31.5 mm pa čak i 63mm. ako se koristi samo frakcija 0/4mm (sitni agregat) onda se govori o sitnozrnatom polimernom betonu, odnosno polimernom malteru [2].

Opšta svojstva polimer betona su:

- visoke vrednosti čvrstoće pri pritisku koje mogu biti veće od 120 Mpa,
- visoke vrednosti čvrstoće pri zatezanju i savijanju preko 50 Mpa,
- modul elastičnosti manji od 30 Gpa,

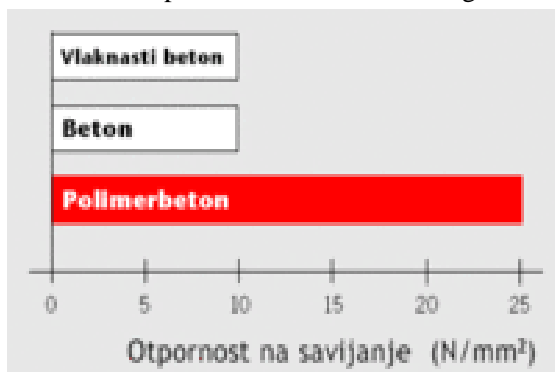
- nešto veća deformacija skupljanja kao kod običnih cement betona,
- praktično ne upijaju vodu i ne propuštaju gasove,
- dubina neravnina je oko ca. 25, i
- velika otpornost na delovanje širokog spektra hemijskih agenasa.

Pozitivne karakteristike poliernih betona:

- bolje fizičke, mahianičke i hemijske osobine,
 - plastičnost,
 - vodonepropustljivost,
 - otpornost na mraz i soli,
 - trajnost, i
 - moguće kombinovanje sa drugima aditivima [15].
- Negativne karakteristike polimernih betona:
- nisu dovoljno otporni na delovanje povišenih i visokih temperatura,
 - izloženost visokim temperaturama dovodi do smanjenja čvrstoće za 80 do 20%,
 - zapaljivi i gore prilikom požara,
 - ispuštaju toksične i zagušujuće gasove prilikom požara, i
 - visoka cena.

Polimer beton kroz svoju dugovečnost doprinosi smanjenju otpada. Može se potpuno reciklirati te ponovo vratiti u proces proizvodnje [14].

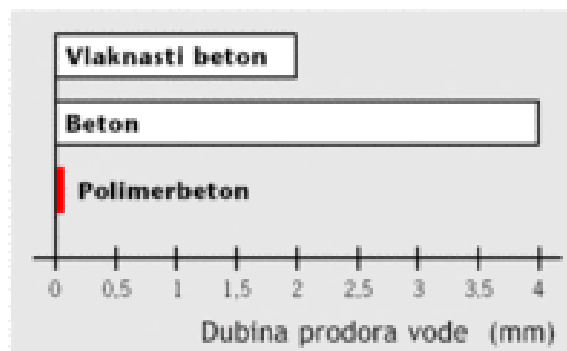
Na dijagramima prikazano je upoređivanje karakteristika betona, polimer betona i vlaknastog betona.



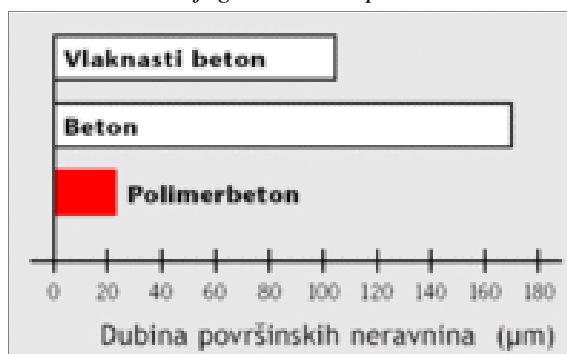
Slika 5 - Dijagram otpornosti na savijanje



Slika 6 - Dijagram čvrstoće na pritisak



Slika 7 - Dijagram dubine prodora vode



Slika 8 - Dijagram dubine površinskih neravnina

Sa dijagrama se vidi da najbolje osobine u odnosu na „obične“ betone i vlaknaste betone pokazuje polimer beton.

5. ZAKLJUČAK

Modifikacija betona pomoću polimera jedan od mogućih pravaca dobijanja materijala sa zadovoljavajućim mehaničkim karakteristikama, sa poboljšanom trajnošću u različitim sredinama i sa visokim estetskim vrednostima. Da bi se postigla željena svojstva betona neophodna su eksperimentalna istraživanja u cilju iznalaženja optimalne količine i vrste dodataka. Promene fizičko-mehaničkih karakteristika materijala kod upotrebe polimernih dodataka objašnjavaju se promenama u unutrašnjoj strukturi betona. Naime, poznato je da se uvođenjem polimernih dodataka modifikuje struktura betona, formiranjem dvostruke matrice. Prva je matrica produkata hidratacije cementa a druga polimerizovani skelet formiran od upotrebljenog polimernog dodatka. Najizraženiji efekti ovih promena u odnosu na klasičan beton su povećanje čvrstoće pri zatezanju, duktilnosti, prijanjanja armature i betona, i poboljšanje svojstava koja povećavaju trajnost AB konstrukcija [8].

Sve veća potrošnja agregata i ograničenja u eksploataciji prirodnih sirovina za proizvodnju agregata, dovela su do primene alternativnih materijala. Ovi materijali su najčešće industrijski sekundarni proizvodi ili građevinski otpad, čije deponovanje predstavlja veliki ekološki problem. Sirovine jednom ekstrah-

vane iz tla konačno su potrošene, dakle neobnovljive i moraće se naći alternativa za njih u budućnosti [3]. Poslednjih godina započeta su istraživanja betona i maltera u kojima se kombinuje mogućnost modifikacije strukture betona primenom polimera i upotreba agregata od recikliranog betona [8].

Potrebno je da se projektanti sve više opredeljuju za materijale koji ne zagađuju životnu sredinu, i koji se mogu posle određenog vremenskog perioda kada nisu u upotrebi, reciklirati [11]. Širom sveta su razvijeni različiti modeli mašina za reciklažu velikih kapaciteta čiji je osnovni deo reciklažna komora u kojoj se odigrava proces mlevenja materijala [5].

LITERATURA

- [1] Beslač, J., Bjegović, D., Rosković, J., „Inovativni materijali i tehnologije u građenju i održavanju betonskih konstrukcija“, Građevinar, 57.4 (2005): 247-255. Zagreb, Hrvatska.
- [2] Grdić, Z., „Tehnologija betona“, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, (2011): 282-291. Niš, Srbija.
- [3] Grdić, Z., Topličić-Ćurčić, G., „Ekološki materijali - komponenta održive arhitekture“, Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, 25(2010): 87-94. Niš, Srbija.
- [4] Grdić, Z., Topličić-Ćurčić, G., Ristić, N., „Primena betona visokih čvrstoća za izradu betonskih adheziona prednapregnutih železničkih pragova“, Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, 24(2009): 97-106. Niš, Srbija.
- [5] Miljković, M., „Penasti bitumen u reciklaži asfaltnih kolovoznih konstrukcija“, Nauka + Praksa, 12.1(2009): 118-122. Niš, Srbija.
- [6] Ohama, Y., “Study on properties and mix proportions of polymer modified mortars for buildings”, Report of the building resarch institute No-65, (1973). Tokyo, Japan.
- [7] Radonjanin, V., Malešev, M., Lukić, I., Milovanović, V., „Polimer-betonski kompoziti na bazi recikliranog agregata“, Materijali i konstrukcije, 52.1 (2009): 91-107. Beograd, Srbija.
- [8] Radonjanin, V., Folić, R., Muravljov, M., „Eksperimentalno istraživanje nekih karakteristika betona modifikovanim polimerima“, Naučni skup „Mehanika, materijali i konstrukcije“, Srpska akademija nauka i umetnosti, Zbornik radova, Knjiga 2 (1996): 335-343. Srbija.
- [9] Ranković, S., Folić, R., „Ispitivanje AB grednih nosača ojačanih vlaknastim kompozitima lepljenim na površini betona“, Nauka + Praksa, 13(2010): 113-116. Niš, Srbija.
- [10] Ramachandran, V.S., “Concrete admixtures handbook”, Noyes Publications, (1984).
- [11] Stevanović, S., Đorđević, A., Trajković, S., „Značaj solarne energije u 'zelenoj arhitekturi“, Nauka + Praksa, 10 (2007): 73-80. Niš, Srbija.
- [12] Stojić, N., Stojić, D., „Projektovanje mostova prema upotrebnoj dobi“, Nauka + Praksa, 13(2010): 141-144. Niš, Srbija.
- [13] Topličić-Ćurčić, G., Grdić, Z., Ristić, N., „Uticaj mineralnog sastava agregata na veličinu odskočnog broja sklerometra“, Nauka + Praksa, 11(2008): 69-73. Niš, Srbija.
- [14] www.aco.bg
- [15] www.svezagradjevinu.com
- [16] www.sr.wikipedia.org

ABSTRACT

POLYMER CONCRETE

Development of new materials is an area that is today the most invested. Composite materials are also used for thousands of years. Improved properties of composite materials offer the possibility of their wide range of applications. One of the most commonly used composite the concrete with sand and gravel particles associated with cement. Modification polymer concrete using one of the possible routes to obtain materials with satisfactory mechanical properties, with improved durability in different environments and with high aesthetic values. The increasing aggregate consumption and limits the exploitation of natural resources for production units, led to the use of alternative materials. These materials are usually secondary products or industrial construction waste, whose disposal represents a major environmental problem. All composites are characterized by some common features that make them special and apart from other materials: high strength and stiffness-can be stronger steel, low density and weight, corrosion resistance and high temperature, chemical inertness, the possibility of processing and shaping the various forms, stamina and endurance.

Key words: concrete, impregnation, polymerization, modified, monomers, composites...

Professional paper

Received for Publication: 29. 12. 2012.

Accepted for Publication: 15. 03. 2013.