Utjecaj mineralnih dodataka na svojstva betona

Mršić-Božinović, Frane

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:266812

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

GRAĐEVINSKO–ARHITEKTONSKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

FRANE MRŠIĆ-BOŽINOVIĆ

SPLIT,2015

SVEUČILIŠTE U SPLITU

GRAĐEVINSKO–ARHITEKTONSKI FAKULTET

Utjecaj mineralnih dodataka na svojstva betona

Završni rad

Frane Mršić-Božinović

Split,2015

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **Frane Mršić-Božinović**

BROJ INDEKSA: **3940**

KATEDRA: **Katedra za građevinske materijale**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Utjecaj različitih dodataka na svojstva betona u svježem i očvrslom stanju

Opis zadatka: Zadatak kandidata je izraditi nekoliko mješavina svježeg betona sa različitom vrstom dodataka. Kao dodaci na raspolaganju su silikatna prašina, leteći pepeo, filer od recikliranog betona i filer od kamenog brašna. Granulometrijsku krivulju betona treba proračunati prema Fulleru. Mješavinama je potrebno ispitati u svježem stanju: konzistenciju metodom slijeganja i sadržaj zraka, a u očvrslom stanju: masu, dinamički modul elastičnosti i čvrstoću. Mehaničke karakteristike betona ispituju se kod 3. 7 i 28-dnevne starosti betona.

U Splitu, 12.11.2014.

Voditelj Završnog rada:

Prof.dr.sc. Sandra Juradin

Sadržaj

1.Uvod.....1

2.Agregat.....1

2.1.Proizvodnja agregata za beton 3

2.2.Svojstva i ispitivanje agregata.....4

3.Cement.....6

3.1.Hidratacija cementa.....10

3.2.Hidratacija glavnih konstitenata portland cementa.....11

4.Voda.....12

5.Leteći pepeo.....13

6.Silikatna prašina.....15

6.1.Značajke silikatne prašine.....16

6.2.Utjecaj silikatne prašine na hidrataciju portland cementa.....17

6.3.Primjena i u činci silikatne prašine u cementnom kompozitu.....17

7.Beton.....17

7.1.Uloga cementnog kamena i agregata.....18

EKSPERIMENTALNI DIO.....21

Uvod.....22

8. Izbor komponenti 23

8.1.Cement.....24

8.2.Agregat.....25

8.3 Voda.....27

8.4.Superplastifikator FTF.....28

8.5.Mineralni dodaci.....28

8.5.1.Silikatna prašina.....29

8.5.2 Leteći pepeo.....29

8.5.3.Reciklirani beton.....30

8.5.4.Punilo(kameno brašno).....32

9.Proračun sastava betona.....32

9.1.Proračun recepture betona.....32

9.2. Priprema mješavine betona.....34

9.3.Slijeganje.....35

9.4. Ispitivanje sadržaja zraka u svježem betonu.....36

9.5. Ugradba svježeg betona u kalupe.....38

9.6. Masa svježeg uzorka.....39

9.7. Ispitivanje dinamičkog modula elastičnosti i čvrstoće.....40

10. Rezultati ispitivanja i analiza rezultata.....41

10.1. Ispitivanje čvrstoće betona na pritisak.....41

10.2. Ispitivanje modula elastičnosti materijala.....43

11. Zaključak.....47

Literatura.....48

1.UVOD

Beton je složeni građevinski materijal koji nastaje miješanjem većeg broja sastojaka:veziva,vode i agregata. Osim tih sastojaka vrlo često se upotrebljavaju dodaci betonu ili aditivi kao i mineralni dodaci koji omogućuju postizanje određenih svojstava betona u svježem i očvrslom stanju. Beton je nastao kao posljedica težnje da se napravi čvrst i jeftin građevinski materijal kojim će se moći brzo i jeftino graditi,uz prihvatljiv vijek trajanja građevine. Prvi cilj je u načelu postignut,dok je trajnost betona mnogo manja nego kod nekih drugih materijala kao što su kamen,staklo,keramika. Agregat je inertni i jeftini materijal koji čini pretežni dio volumena betonske mase. Veziva mogu biti hidraulična,zračna,umjetne smole i ugljikovodikova veziva.Upotrebom hidrauličnih veziva dobiva se takozvani cementni beton koji je građevinski materijal s najširom primjenom. Sastav se odabire tako da se postignu zadovoljavajuća svojstva:

-svježeg betona u svim fazama obrade od miješanja ,transporta do ugradnje.

-očvrslog betona s obzirom na čvrstoće i druge mehaničke karakeristike

-minimalni troškovi za prihvatljivu kakvoću

Izvođači ga proizvode u centralnoj betonari ili na gradilištu, te ugrađuju i kontroliraju postignutu kakvoću. Proizvodnja i primjena betona postaje visoka tehnologija i znanost, koja traži dobro poznavanje i strogu kontrolu svojstva komponenata i svih faza proizvodnje i primjene.

2.AGREGAT

Agregat za obični beton dobiva se od kamena. Zbog toga se često naziva kameni ili mineralni agregat. Može biti prirodni ili umjetno drobljen. Prirodni agregat nastaje raspadanjem kamenih masiva. Raspadnute komade stijene valjaju potoci i rijeke,pri čemu se dalje drobe i bruse. Zbog toga su zrna iz riječnih nanosa najboljeg kvaliteta, jer su lošiji i mekši dijelovi razbijeni i odneseni vodom,a preostala zrna su zaobljena. Prirodni agregat nastaje i djelovanjem ledenjaka koji također valjaju,drobe i bruse komade stijene i ostavljanju ih na svom donjem kraju u obliku ledenjačkog ili glacijalnog nanosa oblika jezika. Umjetno drobljeni agregat dobiva se drobljenjem raznih vrsta magmatskih, vezanih sedimentnih i metamorfnih stijena u drobilicama. Drobljeni agregat je obično ujednačenijeg mineralnog

sastava i vrlo povoljne hrapave površine, koja osigurava dobru prionjivost cementnog kamena Stariji naziv je tucanik,jer se prvobitno drobljeni agregat dobivao ručnim razbijanjem ,dok je danas uobičajani naziv drobljeni agregat. Pri sipanju agregat niz kosinu ili na hrpu krupnija zrna se kotrljaju prema dolje i zaustavljaju u podnožju kosine. Zbog toga u gornjem dijelu hrpe ima više sitnijih zrna i obratno. Ova pojava se naziva segregacija.Zrna sitnija od 4 mm manje su sklona segregaciji,te je od od agregat veličine zrna 0-4 mm moguće formirati relativno homogenu hrpu. Zrna različite veličine krupnija od 4 mm izrazito se segregiraju,te je hrpa izrazito nehomogena. To je jedan od glavnih razloga da je agregat podijeljen na dvije osnovne vrste:sitni agregat(zrna sitnija od 4 mm),krupni agregat(zrna krupnija od 4 mm.

Tri osnovne vrste štetnih sastojaka u agregatu:

1)Obavijena zrna:Katkad u agregatu ima zdravih zrna koja su obavijena tankim slojem gline,blata ili finim česticama koje su slabo ili nedovoljno vezane za zrno karbonatima i oksidima. Takav ovoj spriječava kontakt paste i zdravog materijala zrna,te je veza između zrna i cementnog kamena određena kvalitetom slabog materijala ovoja.

2)Meka ,trošna i slaba zrna:Agregat često sadrži zrna koja se pod utjecajem vode raspadaju ili postaju trošna. Takvi materijali su ,primjerice grudve gline,lapor,ugljen,škriljevci i biljne čestice. Raspadnuta i trošna zrna imaju malu ili nikakvu čvrstoću pa treba uzeti da su volumeni koje zauzimaju šupljine u betonu.

3)Organske primjese:Mnoge organske tvari stvaraju zračne mjehuriće i čine beton poroznim. Humusna kiselina štetno djeluje na hidrataciju cementa,a šećer usporava ili potpuno spriječava vezanje. Masti i ulja slabe vezu cementnog kamena i agregata. Sitne čestice,organske primjese,biljne čestice ,glineni ovoj oko zrna i neki drugi štetni sastojci agregata mogu se u većini slučajeva ,djelomično odstraniti pranjem agregat u odgovarajućim postrojenjima. Kod suhog agregata sitne čestice mogu se odstraniti i strujom zraka.



Slika 2.1. Kamenolom [3]

2.1.PROIZVODNJA AGREGATA ZA BETON

Agregat se prozvodi frakcioniranjem prirodnog agregata ili drobljenjem kamena i frakcioniranjem. Dio postrojenja za drobljenje kamena naziva se drobilana,a dio postrojenja za frakcioniranje agregat naziva se separacija. Frakcioniranje se ,u pravilu vrši uz pranje.ako se frakcioniranje izvodi bez pranja tada umjesto odvajača vode mora postojati još jedan silos za frakciju 0-4 mm.

Kamen se najčešće usitnjava u dva stupnja. Najprije se kamena masa ,koja sadrži komade čak i do veličine 1 m ,drobi u primarnoj drobilici na veličinu koja odgovara sljedećem stupnju drobljenja. Primarna drobilica je obično čeljusnog tipa. Materijal se drobi pritiskom,što predstavlja gnječenje kamenog materijala. To se postiže pomicanjem pomične čeljusti drobilice. Ta čeljust visi na osovini oko čijeg se središta vrti zamašnjak. Na mjestu gdje je obješena čeljust osovina ima ekscentar,tako da se na tom mjestu pomična čeljust pokreće lijevo-desno i istodobno gore-dolje. Kod pomicanja u horizontalnom smjeru otvara se i zatvara gornji dio čeljusti. Kad se pomična čeljust spušta ,donji dio se udaljava od nepomične čeljusti i zdrobljeni materijal ispada iz drobilice.

Djelomično zdrobljeni materijal dalje se drobi u udarnoj drobilici. To predstavlja drugi stupanj usitnjavanja ,zbog čega se i drobilica naziva sekundarna drobilice. Masivni rotor vrti se brzinom 300-1200 okretaja u minuti. Na obodu rotora strše udarne grede od specijalnog čelika velike tvrdoće. Zbog sudara kamenih zrna s udarnim gredama i oklopom,ona se lome i zatim ispadaju na donjem kraju drobilice. Zrna iznad 31.5 mm obično se drobe u mlinu koji je

najčešće u principu udarna drobilica,ali se također mogu vraćati na ponovno drobljenje u sekundarnu drobilicu. Ako je potrebno drobiti zrna koja nisu mnogo veća od 4 mm,tada se upotrebljava mlin koji zrna drobi pritiskom između dva valjka ili mlin sa šipkama od specijalnog čelika. Šipke se nalaze u bubnju s oblogom od čelika velike tvrdoće. Okretanjem bubnja oko horizontalne osi pokreću se i vrte šipke,te drobe zrna agregata.

Frakcioniranje agregata vrši se prosijavanjem na vibracijskim sitima. Sito se sastoji od otvorene kutije bez dna. Mreže se učvršćene i nategnute unutar kutije,umjesto dna. Približno na sredini kutije nalazi se elektromotor s ekscentrom na horizonatalnoj osi,koji proizvodi kružne vibracije u vertikalnoj ravnini. Pod utjecajem vibracija kameni materijal se pomiče po mreži i propada kroz otvore. Zdrobljeni materijal može se uspješno prosijavati na vibracijskim sitima samo ako je dovoljno suh. Vlažni materijal ne može se prosijavati,jer se sitna zrna lijepe za žice mreže i zatvaraju otvore. U takvom slučaju kameni materijal može se prosijavati samo uz upotrebu dovoljne količine vode koja stalno pere mrežu i potiskuje zrna kroz otvore. Mlazevi vode moraju biti dovoljno jaki,da mogu probiti sloj kamenog materijal na mreži. Pri tome voda gura sitna zrna kroz otvore mreže i spriječava lijepljenje sitnih čestica o mrežu. Pod jakost mlaza podrazumijeva se dovoljna količina vode i pritisak vode. Pri pranju se voda skuplja ispod mreže s najmanjim otvorima,primjerice 4 mm,koja se nalazi na najnižem mjestu. Voda je pomiješana sa zrnima 0-4 mm. Ostale frakcije odvajaju se od vode i djelomično ocjeđuju već na sitima. Razdvajanje se vrši u odvajaču vode. Krupne čestice tonu na dno ,a spiralni uređaj(pužnica) ih povlači prema gornjem kraju,izvlači ih iz vode i gura izvan odvajača. Voda odlazi u preljev i sa sobom odnosi sitne čestice.

2.2.SVOJSTVA I ISPITIVANJE AGREGATA

Za izradu betona smije se upotrijebiti samo agregat za kojeg je izdana svjedodžba(certifikat,atest) o kvaliteti. U našoj zemlji postupak provodi institucija ovlaštena za izdavanje svjedodžbe o kvalitetu agregat za beton i asfalt.na mjestu proizvodnje,takva institucija uzima uzorke svake frakcije agregata najmanje jedan put mjesečno kroz period od 6 mjeseci. Na jednom uzorku ovlaštena institucija ispituje sljedeća svojstva agregata:upijanje vode,volumnu masu u rastresitom i zbijenom stanju,čvrstoću na pritisak,mineraloško-petrografski sastav,sastojci koji spriječavaju hidrataciju cementa,volumnu masu zrna,otpornost na mraz poslije 5 ciklusa u zasićenoj otpopini Na_2SO_4,sadržaj sumpora izražen

kao SO_3,sadržaj klorida izražen kao CI,sadržaj organskih tvari,volumni koeficijent oblika zrna,sadržaj grudvi gline,sadržaj trošnih zrna,lake čestice:ugljen,obavijenost površine zrna slabo vezanim česticama,otpornost protiv drobljenja,sitne čestice.

GRANULOMETRIJSKI SASTAV frakcija agregata ispituje se prosijavanjem potpuno suhog uzorka agregata na standardnim sitima. Utvrđuje se masa agregata koj je prošao kroz svako sito i izražava u % ukupne mase uzorka. Taj podatak se naziva prolaz.Sita su izrađena od mreže ili perforiranog lima s kvadratnim otvorima. Veličina otvora sita definirana je stranicom kvadrata. Promjer žice mreže i dimenzije lima propisani su standardima. Za ispitivanje agregata upotrebljava se standardna serija serija sita sa sljedećim otvorima u milimetrima 0.063 0.125 0.25 0.5 1 2 4 8 16 31.5 63 125. Kod svih proračuna za posljednja sita u seriji uzimaju se vrijednosti 32,64 i 128 mm. Najvažniji razlog za odabiranje manjih stvarnih otvora je sljedeći. Broj zrna na ovim sitima ,pri jednakoj masi materijala ,je znatno manji nego na sitima s manjim otvorima. Stoga svako zrno ima veću mogućnost da se povoljno namjesti i lakše prođe kroz otvor. Posljedica toga je da kroz sito prođe više zrna koja su neznatno manja od otvora,nego što je slučaj kod otvora manjih od 31.5 mm . Dakle odabiranjem manjih otvora za tri posljednja sita izjednačavaju se uvjeti prosijavanja za sva sita u seriji. Rezultati ispitivanja granulometrijskog sastava mogu se prikazati dijagramom,tj. granulometrijskom krivuljom agregata.

FRAKCIONIRANJE AGREGATA

Svaki agregat nema granulometrijski sastav povoljan za izradu betona. Osim toga agregat koji sadrži zrna različitih veličina sklon je segregaciji. Da bi se uklonili ti nedostatci ,agregat se po veličini zrna razdvaja u više dijelova. Dio agregata koji sadrži zrna određenih veličina naziva se frakcija. Granice razdvajanja(frakcioniranja) odabiru se tako da frakcija sadrži samo onoliko različitih veličina zrna(razreda) da je segregacija pojedine frakcije smanjena na prihvatljivu mjeru. Općenito sitnije frakcije su manje sklone segregaciji ,te su i granice razdvajanja u tom području šire. Broj frakcija zavisi o maksimalnom zrnu agregata. Granice razdvajanja frakcija zovu se donja i gornja nazivna veličina frakcije. Gornja nazivna veličina najkrupnije frakcije u betonu je maksimalno zrno agregata.

3.CEMENT

Vezivni materijali dobivaju se pečenjem sirovine na visokim temperaturama. To su materijali koji pomiješani s vodom ili drugim sredstvom nakon kemijske reakcije dobiju svojstva krutog tijela. Takav se proces naziva vezanje u širem smislu. Anorganska veziva mogu:zračna i hidraulična. Zračna veziva mogu vezati uz prisustvo vode samo na zraku. Hidraulična veziva mogu ,uz prisustvo vode vezati i na zraku i pod vodom. Svojstva veziva ovisna su o dva temeljna parametra:temperaturi pečenja i kemijskom sastavu sirovine. Sirovine za anorganska veziva su najčešće vapnenac i glina. Vapnenac je stijena čiji je dominantni mineral kalcijev karbonat. Glina sadrži različite minerale koji su sastavljeni od ovih glavnih oksida:kalcij oksid,silicij dioksida,željezov oksid i aluminij oksid. U prirodi se vapnenac i glina često javljaju pomiješani u različitim međusobnim odnosima i imaju različite nazive. Imamo neke opće zakonitosti:-temperatura pečenja mora biti viša ,što je veći sadržaj gline u sirovini

-sirovina za proizvodnju portland-cementa sadrži oko 1/3 gline

Prvo hidraulično vezivo dobio je Englez Smeaton,1756.godine. On je pekao vapnenac koji je sadržavao 20-25% gline i dobio vezivo koje je vezalo i pod vodom. Poslije očvršćivanja taj materijal je izgledao slično kao kamen u blizini mjesta Portland u Engleskoj pa odatle i potječe naziv portland-cement. Cement se definira kao hidraulično vezivo, odnosno fino mljevni anorganski materijal koji pomiješan s vodom,kemijskim reakcijama i pratećim fizikalnim procesima, nakon određenog vremena prelazi u očvrsnulu cementnu pastu ili cementni kamen. Prve tvornice cementa upotrebljavale su prirodnu mješavinu gline i vapnenca. Danas se gotovo isključivo proizvode umjetni cementi kod kojih je sastav sirovine strogo kontroliran i po sastavu optimalan. Danas je u upotrebi više vrsta cementa. Osim portland-cementa rabi se i bijeli cement,aluminatni ili taljeni cement,metalurški cement,pucolanski cement ,bušotinski cement.

Cement se uglavnom proizvodi u rotacijskim pećima suhog postupka. Mokri postupak sve je rjeđi. U samom početku cement se proizvodio u vertikalnim pećima sličnim pećima za vapno,međutim one su danas sasvim napuštene uglavnom zbog nejednolikog pečenja. Sirovine za proizvodnju portland cementa su vapnenac i glina. Tvornica se gradi u neposrednoj blizini nalazišta vapnenca ili prirodne mješavine vapnenca i gline. Glina mora imati odgovarajući sastav te se često dovozi s udaljenog nalazišta. Po potrebi,mješavini

prirodnih sirovina dodaju se tvari za korekciju sastava. Prirodna mješavina vapnenca i gline ,prikladna za proizvodnju cementa,je lapor(tupina). Laporu se dodaje odgovarajuća količina vapnenca ili gline za postizanje optimalnog sastava. Prilikom samog procesa proizvodnje cementa brašno se ne može ubacivati direktno u peć,jer bi ono gasilo plamen,a polurastaljene čestice lijepile bi se o stijenke peći. Zbog toga se ,kod suhog postupka ,uz dodatak vode stvaraju granule(zrna) koja ulaze u peć. Kod mokrog postupka mulj teče direktno u prostor za sušenje i zatim u peć,gdje se pri sušenju formiraju granule. Sinteriranje je stanje u kojem su granule materijala užarene nešto ispod tališta,ali se djelomično tale samo na površini. Granule su veličine od nekoliko milimetara do nekoliko centimetara. Pri sinteriranju dolazi do spajanja oksida u cementne minerale. Svaki sinterirani materijal zove se klinker. Na izlazu iz rotacijske peći portland-cementni klinker ima temperaturu od preko 1400°C i mora se brzo hladiti. Gorivo je usitnjen kvalitetan ugljen,mazut,nafta ili plin. Često se upotrebljava mješavina ugljena i nafte. Na donjem kraju peći nalazi se cijev od vatrostalnog materijala,oblika topa,kroz koju se u struji zraka ubrizgava gorivo,tako da se na izlazu iz cijevi formira plameni mlaz. Pored cijevi ventilatori ubacuju u peć dovoljnu količinu zraka za sagorijevanje. Zrak se uzima iz hladnjaka gdje prolazi kroz gotovi vrući klinker i hladi ga. Dužina klasične rotacijske peći mokrog postupka je i do 160 metar, a promjer 2-4 metra. Suvremene rotacijske peći suhog postupka,iako mnogo većeg kapaciteta znatno su kraće:dužine oko 70 metara i promjera do najviše 6 metara.

Pri mljevenju klinkeru se dodaje sadra,radi regulacije procesa vezanja i vremena vezanja. Količina sadre je 2.5-5.0 % .Točna količina se određuje eksperimentalno. Aktivni dodaci ,kao zgura ili pucolani ,mogu se dodavati klinkeru u većim količinama. Mlin za praškasti materijal je u obliku cilindra s horizontalnom osovinom. U njemu je točno određena količina čeličnih kugli različitih veličina,koje se pri okretanju cilindra kotrljaju i materijal drobe u prah. Na jednom kraju mlina kontinuirano ulazi zrnati materijal,a na drugom kraju izlazi prah.

Glavni oksidi klinkera vezani u cementnim mineralima su:

-kalcij oksid(CaO)

-silicij diksid(SiO_2)

-željezov oksid(Fe_2O_3)

-aluminij oksid(Al_2O_3)

Ispravno sastavljen klinker sadrži sljedeće količina glavnih oksida: CaO (54-68 %), SiO_2(20-25%), Al_2O_3(2-8%), Fe_2O_3(2-5%). Ti se sastojci vrlo rijetko u nekoj sirovini nalaze u željenom omjeru. Stoga se najčešće moraju proračunati razmjeri za smjesu koja će imati jednu

komponentu bogatu vapnom (vapnena komponenta) i drugu komponentu siromašnu vapnom, ali sa znatnim udjelom silicijeva dioksida,gline i željeznog oksida (glinasta komponenta). Te su dvije komponente najčešće vapnenac i glina ili vapnenac i lapor. Za vapnenu se komponentu može upotrijebiti vapnenac, kreda ili lapor. Vapnenac je po kemijskom sastavu $CaCO_3$ i u prirodi je vrlo raširen. Kemijski čisti oblici vapnenca jesu kalcit i aragonit. Kreda je sedimentna stijena koja je u usporedbi s kalcitom znatno mekša, zbog čega je vrlo povoljna kao sirovina za mokri postupak proizvodnje cementa. Sadržaj vapnene komponente u sirovini cementa najčešće se kreće između 76-89 % mase.

Lapor je vapnenac u kojem se nalaze primjese silicijeva dioksida, glinenih komponenata i željeznog oksida. Po kemijskom sastavu lapor je prelazak od vapnenca prema glinama, stoga i vrlo povoljan za proizvodnju cementa.

Druga važna sirovinska komponenta za proizvodnju cementa jest glina. Glavani sastojak u glinama jesu alumo-silikati s ugrađenim OH skupinama i molekulama vode. Gline se dijele u nekoliko mineraloških skupina: kaolinsku i montmorilonitsku te skupinu glina koje sadrže alkalije i mineraloršku skupinu glinastih tinjaca uključujući ilit. Kemijski sastav glina znatno varira u odnosu na kemijski sastav čistih glinenih minerala. Gline sadrže velike količine željeznog oksida, željeznog sulfida, kvarca, kalcijeva karbonata i slično. Glinena komponenta u sirovini za proizvodnju klinkera glavni je izvor SiO2, ali i pratećih "minor" komponenata, posebice alkalija.

Ako u sastavu sirovinske smjese za proizvodnju cementnog klinkera neki sastojak nije prisutan u dovoljnoj količini, tada se dodaju takozvani korekcijski sastojci. Korekcijski sastojak sadrži uglavnom nedostajuće kemijske supstancije u cementnoj sirovinskoj smjesi. Pri nedostatku željeznog oksida uporabljuje se željezna ruda ili piritna troska, a u nedostatku silicijeva dioksida za korekturu se dodaje kvarcni pijesak ili glina s visokim sadržajem SiO2.

Iako se cement koristi već više od 200 godina ,tek se pedesetih godina ovog stoljeća dobiveni pouzdani podaci o minerološkom sastavu klinkera. Portland-cement sadrži četiri glavna minerala i više sporednih minerala i oksida. Glavni minerali si sljedeći:alit ili trikalcijski silikat,belit ili dikalcijski silikat,celit ili tetrakalcijski aluminat-ferit(celit),trikalcijski aluminat. Alit je glavni mineral običnog portland-cementnog klinkera(maseni udjel viši od 50%) o kojem najviše ovisi čvrstoća cementa.Belitna pasta hidratacijom otvrdnjava znatno sporije od paste alita,ali nakon dugog vremena reakcije konačne su čvrstoće približno jednake čvrstoćama od alitnih pasta. Trikalcijski aluminat vrlo brzo reagira s vodom,ali nema posebno izražene hidrauličke karakteristike ,no koristan je za postizanje ranih čvrstoća cementa

Tehnološki proces proizvodnje portland-cementnog klinkera spada u složene procese i sastoji se od tri glavne faze:priprema sirovine,procesa zagrijavanja,procesa hlađenja.
Svaka od te tri faze mora biti pod pouzdanom kontrolom ,jer veća odstupanja od zadanih parametara procesa mogu imati značajan utjecaj na konačan kvalitet klinkera.

Prema vrsti, odnosno sastavu, cemente možemo podijeliti na:
CEM I - portland cement
CEM II - portland cement s miješanim dodatkom
CEM III - cement sa zgurom visokih peći (metalurški cement)
CEM IV - pucolanski cement
CEM V - miješani cement
Posebne vrste cementa



Slika 3.1. Portland cement [4]

Kvalitet cementa u praksi se definira njegovim mehaničko-fizikalnim svojstvima:volumna masa,gustoća,finoća mliva ,vlaga,postojanost volumena,vezanje,mehaničke čvrstoće, skupljanje i bubrenje

.

3.1. HIDRATACIJA CEMENTA

Kada cement dođe u kontakt s vodom,cementni minerali i voda stvaraju potpuno nove minerale koji se nazivaju jednim imenom-hidrati. Kemijski procesi , koji se pri tome događaju ,zovu se hidratacija cementa u širem smislu. Tijek hidratacije čistih cementnih minerala je detaljnog istražen. Međutim,tijek hidratacije smjese minerala je znatno kompliciraniji. U svakom portland-cementu uvijek postoje četiri glavna minerala,i oni međusobno utječu na ukupan kemijski proces. Zbog toga određeni mineral hidratizira nešto drukčije nego kad nema prisustava ostalih minerala. Pod hidratacijom cementa u širem smislu obuhvaćena su sva osnovna procesa ,pri čemu se oslobađa toplina:

-hidratacija u užem smislu(to je direktno spajanje minerala s vodom)

-hidroliza(to je raspadanje minerala u prisustvu vode i,istodobno,njihovo spajanje u hidrate)

Započinjanjem procesa hidratacije mješavina anhidritnoga portland-cementa i vode počinje se ugušćivati do konačna skrućivanja,tj mijenjati se iz materijalnog sustava koncentriranog flokulama u viskozno-elastičnu čvrstu strukturu,koja je sposobna,određeno kratko vrijeme,izdržati opterećenje pritiskom bez signifikantnih deformacija. Ugušćivanje je praćeno smanjenjem poroznosti. Očvršćivanje vodi razvoju konačnih mehaničkih čvrstoća. Napredovanje hidratacije cementa odražava se na razvoj kemijskih,fizikalnih,mehaničkih i električnih svojstava paste ili betona. Stoga se napredovanje hidratacije može pratiti mjerenjem promjena kemijskog sastava,entlapije,brzine prolaska ultrazvuka,promjene volumena,i naravno promjene u konzistenciji i čvrstoći cementne paste. Kao i kod pojedinačnih minerala portalnd-cementnog klinkera,pojednostavljen,ali uobičajen način ,za praćenje napredovanja reakcija hidratacije portalnd-cementa jest registriranje krivulje razvijanja topline. Iako te krivulje ne daju reprezentativan odgovar na mehanistička pitanja,one su korisne za korelaciju eksperimentalnih podataka prema pojedinačnom parametru,tj .razvoju topline dQ/dt.

Trikalcijski aluminat

Hidratizira veoma brzo nakon kontakta s vodom. Takva hidratacija dovela bi do vrlo brzog vezanja,tj. gubitka obradivosti svježeg betona. Zbog toga kristalni trikalcijski aluminat nije poželjan u cementu. Trikalcijski aluminat je glavni nositelj čvrstoće cementnog kamena kroz prva 24 sata nakon kontakta s vodom

Alit

Nešto sporije odvija se drukčiji tip hidrolize. Alit doprinosi ranom razvoju čvrstoću cementnog kamena,posebno kroz prvih 7 dana.Nakon 28 dana je njegov doprinos neznatan.

Belit

Nešto sporije odvija se hidroliza. Belit doprinosi razvoju čvrstoće cementnog kamena,uglavnom jednoliko tijekom prvih 28 dana. Glavni je nositelj razvoja čvrstoće nakon tog perioda.

Celit

Feritna faza doprinosi čvrstoći cementnog kamena podjednako u svim periodima te njezin utjecaj na brzinu razvoja čvrstoće, u pravilu ,nije primjetan.

3.2. HIDRATACIJA GLAVNIH KONSTITUENATA PORTLAND CEMENTA

Da bi se razumjelo razvijanje fizikalnih svojstava cementnog veziva i djelovanje pojedinih vrsta dodataka za beton, potrebno je upoznati glavne aspekte hidratacije portland cementa i karakteristike očvrsnule cementne paste.

Sistem cement/voda u kojem se odvija reakcija hidratizacije sastoji se od velikog broja anhidrita (spojeva koji nastaju iz kiselina kad im se oduzme jedan ili više molekula vode),velikog broja krutih hidratiziranih spojeva i vodene otopine bogate raznim ionima. Tako kompleksnoj smjesi još je i danas teško definirati pojedine faze i ustanoviti uvjete postizanja ravnoteže, no, kako se hidratacija cementa može shvatiti kao reakcija između individualnih konstituenata nehidaratiziranog cementa i vode, potrebno je upoznati prvo jednostavnije sisteme, tj. definirati tok hidratacije pojedinih glavnih konstituenata portland-cementnog klinkera. Zbog toga što je portland cement složeni kompozit i proces njegove

hidratacije vrlo je kompliciran, najprije treba pojedinačno razmatrit hidrataciju za C_3S (alit), β-C_2S (belit), C_3A (aluminatnu fazu) te C_4AF (feritnu fazu). Poznavanje reakcija hidratacije pojedinih konstituenata klinkera osnova je za interpretaciju kompleksnih reakcija koje se zbivaju u hidratizirajućem cementu u različitim uvjetim

4.VODA

Za izradu betona može se upotrijebiti samo čista voda. Tvari koje su otopljene,lebde ili plivaju u vodi mogu štetno djelovati na kvalitet svježeg i očvrslog betona. Takve tvari mogu potjecati iz kanalizacije,ispusta raznih industrijskih pogona,a mogu se nalaziti u terenu iz kojeg izvire voda ili po njemu teče. Naročito su opasni za kvalitet betona:šećer,masti,sapun i deterdžent. Koncentracija vodikovih iona u otopini naziva se pH-faktor. Neutralna vodena otopina ima pH=7. Kisele otopine imaju pH-faktor manji od 7,a bazične veći od 7.Potpuno zasićena tj.koncentrirana otopina kiseline ima pH=0. Koncentrirana otopina lužine ili baze ima pH=14.Voda za pripremu betona mora mora imati pH-faktor u granicama između 4.5 i 9.5. U vodi se najčešeć pojavljuju sljedeće štetne tvari:sulfati,spojevi klora,anorganske i organske soli i organske tvari. Morska voda ima sljedeće djelovanje na svojstva betona:

-produžava vrijema vezanja cementa i betona,a može ga i skraćivati ,zavisno o temperaturi

-uzrokuje koroziju armature

-čini gotovi beton higroskopskim,zbog sadržaja Nacl i $MgCl_2$.Sadržaj svih soli u morskoj vodi iznosi oko 3,5%

-ne utječe bitno na čvrstoću betona

Zbog toga se morska voda ne smije upotrebljavati za pripremanje betona.

5.LETEĆI PEPEO

Leteći pepeo je ostatak nakon spaljivanja(u energetske svrhe) mljevenjog ugljena. Time je jasno da se svaki pepel ne može izjednačiti s letećim pepelom. Nakon potpunog sagorijevanja ugljena ostatak s kemijskog stajališta čine anorganske supstancije. Zato se leteći pepeli označačuju i kao mineralni dodaci za beton.

Općenitim pojmom mineralnih dodataka za beton razumijevaju se finozrnato dispergirani materijali koji mogu biti dodavani u beton u relativno velikim udjelima s obzirom na masu cementa.

PORIJEKLO I ZNAČAJKE LETEĆIH PEPELA

Leteći peli nastaju kao nusprodukt u moderni termoelektranama koje imaju pogon na ugljen i koji prethodno mora biti sitno samljaven. U takvim postrojenjima ,kada ugljen dođe u peći u zonu visokih temperatura(obično između 1000-1600 °C),hlapljive supstancije i organski sastojci sagore,a mineralna onečišćenja iz ugljena(kao što su kvarc,glina) zaostaju kao nesagoreni ostatak. Taj nesagoreni ostatak brzim se transportom u zonu niže temperature solidificira u obliku obliku sferičnih čestica. Dio se mineralnog ostataka aglomerira kao pepeo donjeg ložišta,a veći dio bude povučen sagorijevnim plinovima, te se naziva letećim pepelom. Leteći se pepeli ne ispuštaju u atmosferu,već se zadržavaju primjerice elektrostatskim filtarskim uređajima.



Slika 5.1. Leteći pepeo [5]

UTJECAJ LETEĆEG PEPELA NA HIDRATACIJU PORTLAND-CEMENTA

Utjecaj letećeg pepela na hidrataciju portland-cementa ovisi o doziranju i vrsti letećeg pepela,odnosno o njegovoj reaktivnosti.

Općenito je hidratacija portland-cementa a dodatkom letećih pepela u tijeku prvih dana usporena.Samo inicijalna hidratacija može biti uspješna ako leteći pepeli imaju znatan udio finih čestica.

Ukupno razvijena toplina hidratacija u portalnd-cementu s dodatkom letećeg pepela u principu se smanjuje,a taj se efekt iskorištava za komponiranje cementnih kompozita s niskom toplinom hidratacije.

UTJECAJ LETEĆIH NA SVOJSTVA CEMENTNIH KOMPOZITA

Više svojstava cementnog kompozita(betona/mortova) može se poboljšati dodatkom letećih pepela. Neki od tih poboljšanja rezultat su fizikalnog efekta povezanog s povišenjem udjela finih čestica jer je veličina čestica letećih pepela manja nego portland-cementa,dok je dio poboljšanja posljedica pucolanske i/ili hidrauličnih reakcija.

Za danu konzistenciju betona prisutnost letećih pepela omogućuje smanjenje vode potrebne za njegovu pripremu,a posljedično tome,poboljšavaju se i pojedina inženjerska svojstva takvog betona. Dodatak finih čestica letećih pepela,tipičnih veličina 1 do 20μm,može biti dodatni učinak portland-cementnim česticama za daljnje smanjenje volumena zraka u betonskoj mješavini,stoga i manjoj potrebi za vodom za postizanje zadane konzistencije betona.

Dodatak letećih pepela u portland-cementni kompozit obično znači produženje vremena vezanja. Rane čvstoće betona s dodatkom letećeg pepela obično su niže ,a poslije mogu biti i više od čvstoća kontrolnog betona ili specifirane čvstoće.

Ukupni potencijal i razvijena toplina u cementnom kompozitu s letećim pepelom smanji se zbog toga što se uz leteći pepeo reakcije u tijeku srednjeg perioda hidratacije usporavaju(a to je razdoblje kada inače dolazi do oslobođanja najviše hidratacijske topline),te stoga što se zamjenom normalnoga portland-cementa,koji potencijalno daje najviše topline,smanji ukupni potencijal za razvoj topline mjiešanog cementa s letećim pepelom,za koji se općenito uzima da ne daje toplinu u nekoliko prvih dana hidratacije.

6.SILIKATNA PRAŠINA

Filtarska SiO_2 prašina među onim je industrijskim nusproizvodima koji se u cementnim kompozitima rabe,uvjetno rečeno u novije vrijeme.U općenitom smislu ,nevezano za normalne specifikacije,filtarska SiO_2 prašina može se promatrati i kao mineralni dodatak za beton.

Silikatna prašina vrlo je fini pucolanski materijal koji se sastoji uglavnom od amorfnog silicijevog dioksida koji se nastao kao nusproizvod u elektrolučnim pećima pri proizvodnji elementarnog silicija ili ferosilicisjkih slitina.



Slika 6.1. Silikatna prašina[6]

6.1 ZNAČAJKE SILIKATNE PRAŠINE

Proizvodnja silicij-metala i silicijskih slitina postupkom reduciranja rastaljenih sirovina u elekrolučnim pećima (1600-2000 °C),tipična je osim po velikoj potrebi električne energije,i po nastajanju specifičnog nusproizvoda.Redukcija kvarca,naime,nije izravna ,pa se oko 10-15 % kvarca gubi u obliku Si i SiO para,koje se u dodiru s kisikom iz zraka oksidiraju te hlađenjem kondenziraju u obliku ultrafinih staklastih čestica.Zbog ekoloških razloga te se čestice zajedno s ostalim česticama iz sagorijevnih plinova elektolize zadržavaju u filtarskim uređajima(uglavnom vrećastim filtrima).

Osnovna je sirovina kvarc (SiO_2) koji se u rastaljenom stanju reducira s pomoću ugljika.Izvor ugljika(najčistiji,ali i najskuplji) može biti koks ili ugljen(kao jeftinija mogućnost ako je tehnološki prihvatljiva).

Ako se proizvodi slitina silicija i željeza ,u sirovinskoj smjesi treba postojati i izvor željeza.

Kao izvor željeza može služiti otpadno željezo ili (jeftiniji slučaj) željezna ruda. Osim slitina silicija i željeza postupkom elektrolize proizvode se i druge silicijske slitine,pri čemu nastaju prašinasti nusproizvodi koji se zadržavaju filtarskim uređajima.

Pored visokog sadržaja SiO_2 (85-98 mas.%) silikatnu prašinu karakterizira i amorfna struktura po obliku sferičnih čestica kojih je radijus u području od 0,01μm do 0,3μm , a to je oko 70-100 puta finije od prosječne čestice cementa.

Originalni ,suhi,oblik silikatne prašine zadržan filtarskim uređajem odlikuje se malom prostornom masom(najčešće oko 210 kg/m^3) što je nepovoljno za transport (pogotvo za njegovu cijenu),a u primjeni traži i prilagođeni postupak doziranja.

6.2. UTJECAJ SILIKATNE PRAŠINE NA HIDRATACIJU PORTLAND-CEMENTA

Hidratacija normalnog potland-cementa s dodatkom silikatne prašine je ubrzana. Nakon prva tri dana kvantitativnom rendgenskom analizom utvrđeno je ,da se hidratacija u prisutnosti silikatne prašine usporava,odnosno da je stupanj hidratacije bio jednak u portland-pastama bez dodatka silitne prašine. Kasnije,do 28 dana hidratacija uz prisutnost silikatne prašine bila je opet ubrzana u usporedbi s pastom silikatne prašine.

6.3. PRIMJENA I UČINCI SILIKATNE PRAŠINE U CEMENTNOM KOMPOZITU

Eksperimentalon etablirana količina silikatne prašine koja se dodaje kreće se do 10 % od mase cementa. Dodatkom silikatne prašine u normalni betonski sastav postiže se povišenje njegove čvrtoće. Pri tome silikatna prašina može zamijeniti istu masu cementa i tada će povišenje čvrstoće biti manje(za neke slučaje i potpuno anulirano) ili se silikatna prašina dodaje povrh količine cementa,kada će povećanje čvrstoće biti izrazitije.

Uz povišenje čvrstoće očvrslog betona,a to je jedno od najčešće ispitivanih svojstava u kompozitima s dodatkom silikatne prašine ,signifikanta se poboljšana očituje i na obradljivost i kohezivnost svježe mase te na nepropusnost očvrslog materijala.Iznad određenog doziranja silikatne prašine se povećava se čvrstoća,već krtost cementnog kompozita.

6.BETON

Beton se definira kao mješavina agregata,cementa,vode,zraka i aditiva. Dok još nisu počeli intezivniji kemijski procesi cementa i vode,ovakva mješavina naziva se svježi beton. Količina zraka je promjenjiva za vrijeme miješanja i transporta betona,a smanji se na konačnu veličinu tek nakon završenog zbijanja.Sastav uzorka svježeg betona definiran je izrazom.

$V_b=V_a+V_c+V_w+V_z$

Oznaka V znači volumen,a indeksi znače:

b.....beton

a.....agregat u vodom zasićenom stanju

c.....cement

w.....voda

z.....zrak

Aditivi se ,u pravilu ,dodaju betonu u malim količinama te je njihov udio u volumenu betona neznatan pa se u izrazu zanemaruje. Voda koju su upila zrna agregata ne utječe na svojstva betona u svježem i očvrslom stanju. Zbog toga je agregat u definiciji svježeg betona u vodom zasićenom površinski suhom stanju. Čestice agregat sitnije od 0.125 mm istog su reda veličine kao i čestice cementa,te ih treba smatrati primjesom cementu ,a ne kao agregat u pravom smislu riječi.Mješavina čestica agregat sitnijih od 0.125 mm i sve čestice cementa čine vezivo u svježem betonu.

Ako se izme da je V_b=1,odnosno gornji izraz podijeli s V_b ,onda on poprima oblik $v_a+v_{cv}+u=1$

$u=v_w+v_z$

gdje indeks cv znači vezivo. Oznaka v znači volumnu koncentraciju komponente u uzorku svježeg betona. Šupljine među krutim česticam ispunjene su mješavinom vode i zraka. Takva mješavina ponaša se u betonu slično kao sama voda ,te se smatra jedinstvenim fluidom volumne koncentracije u. Voda,zrak i vezivo tvore pastu koja ispunja šupljine među zrnima agregata. Nakon očvršćivanja betona volumne koncentracije agregata i paste ostaju iste kao i u svježem betonu,ali se struktura paste bitno mijenja. Dio vode veže cement,a dio ispari i ostavlja u betonu pore i šupljine ispunjene zrakom. Očvrsla pasta naziva se cementni kamen. Parametri prostornog modela uzorka svježeg betona ne mogu se direktno izračunati iz količina komponenata od kojih je napravljena mješavina svježeg betona. To je moguće tek kad se eksperimentalno utvrdi sadržaj zraka u uzorku svježeg betona.

.

6.1. ULOGA CEMENTNOG KAMENA I AGREGATA

Uobičajene količine cementa u kubnom metru betona su 200 do 400 kg, što odgovara 7 do 14% volumena. Obradivost betona regulira se količinom vode,što znači da vodi potrebnoj za hidrataciju treba dodati i vodu potrebnu za postizanje željene obradivosti svježeg betona. Uobičajene količina vode u kubnom metru betona su od 160 do 200 litara, odnosno 16 do 20% ukupnog volumena. Svako povećanje količine vode preko one koja je potrebna za hidrataciju cementa znači povećanje količine pora u očvrslom betonu. Posljedica je smanjenje čvrstoće, trajnosti i drugih temeljnih svojstava betona.

U čvrstom betonu cementni kamen ima dvije glavne zadaće:

a) da slijepi zrna agregata i betonu dade odgovarajuću čvrstoću,

b) da ispuni prostor između čestica agregata i s njime tvori nepropusnu masu.

Cementni kamen je nosilac dvaju karakterističnih svojstava betona: skupljanja i puzanja. To su nazivi za dugotrajne deformacije betona, koje su posljedica smanjenja vlažnosti betona u slučaju skupljanja, odnosno dugotrajnog djelovanja opterećenja u slučaju puzanja.
Svojstva cementnog kamena ovise o:
- karakteristikama cementa,
- omjeru mase vode i cementa (vodocementni faktor, v/c-faktor),
- količini cementa (kg/m^3),
- stupnju hidratacije cementa ili zrelosti betona.

Vodocementni faktor ima značajan utjecaj na čvrstoću i mnoga ostala svojstva očvrslog betona. Za hidratciju cementa prosječne finoće mliva potreban je vodocementni faktor od oko 0.33. Da bi se dobio beton željene obradivosti , za njegovu pripremu treba upotrijebiti znatno veću količinu vode. Rijetko se proizvodi beton s vodocementnim faktorom manjim od 0.40.Beton s manjim vodocementnim faktorom ima slabiju obradivost. Zbog toga je za njegovo zbijanje potrebno utrošiti više energije i upotrijebiti veću snagu. Međutim,što je v/c omjer manji, veće su čvrstoće. Time se poboljšava i vodonepropustljivost betona. Povećanjem količine cementa, radi smanjenja v/c faktora, povećava se količina cementnog kamena i skupljanje i puzanje betona i toplina oslobođena hidratacijom cementa, a to sve povećava, vjerojatnost pojave pukotina. U modernoj proizvodnji proizvodi se sve kvalitetniji cement i primjenjuju se dodaci betonu kojima se dobiva veća čvrstoća od traženih već uz relativno veliki v/c omjer i malu količinu cementa.

Ovisno o vrsti konstrukcije,na beton u očvrslom stanju postavljaju se veoma različiti zahtjevi. Uvijek se traži da beton postigne određenu čvrstoću,ali istodobno postavljaju i drugi zahtjevi. Tako se može tražiti da beton ima čim manje puzanje,visoku vodoneprousnost, otpornost na mraz ili čim veću trajnost pri određenim uvjetima okoliša. Budući da kamen ima znatno bolja gotovo sva mehaničko-fizikalna svojstva nego cementni kamen,spomenute zahtjeve lakše je ispuniti ako čim veći volumen u beton zauzimaju zrna kamenog agregata. Istodobno se traži da beton u svježem stanju ima određenu obradljivost.

Agregat u betonu ima tri osnovne zadaće:
- zrna agregata čine skelet, koji daje krutost betonu,
- daje dimenzionalnu stabilnost betonu, tj. umanjuje dugotrajne volumne promjene svojstvene za cementni kamen,

- relativno je jeftin, pa to osigurava ekonomičnost betonskih konstrukcija.

Svojstva određene vrste agregata, koja bitno utječu na svojstva betona jesu:
- mineraloško petrografski sastav utječe u prvom redu na mehaničke karakteristike i trajnost očvrslog betona,
- granulometrijski sastav utječe u prvom redu na obradljivost svježeg betona, gustoću i ekonomičnost betona,
- oblik i tekstura zrna utječu na obradljivost svježeg betona i prionjivost cementnog kamena u očvrslom betonu.

EKSPERIMENTALNI DIO

UVOD

Beton je danas najviše korišten građevinski materijal na svijetu (10-12 milijardi tona godišnje). Čovjek koristi samo još vodu u toj količini. Gotovo stoljeće i pol, koliko se beton primjenjuje, pokrivao je oko 70 % potreba u građenju. Beton ovisi o karakteristikama svih komponenti od kojih se proizvodi. Zadatak ovog eksperimentalnog dijela rada je određivanje utjecaja mineralnih dodataka na svojstva betona. Budući da će na svojstva betona utjecaj imati samo različiti mineralni dodaci sve ostale komponente betona ostaju nepromijenjene..Tako će se osigurati da ostale komponente, koje općenito utječu na svojstva betona, u ovom slučaju nemaju nikakav utjecaj.

Za potrebe ovog ispitivanja izradilo se 4 serije betonskih uzoraka, koje se samo razlikuju u mineralnim dodacima.

UZORAK 1-prva serija uzoraka kao mineralni dodatak ima silikatnu prašinu.

UZORAK 2-druga serija uzoraka kao mineralni dodatak ima leteći pepeo.

UZORAK 3-treća serija uzoraka kao mineralni dodatak ima reciklirani beton.

UZORAK 4 -četvrta serija uzoraka kao mineralni dodatak ima punilo od kamenog brašna.

Svojstva betona su ispitana u svježem i očvrslom stanju. Uzorcima je ispitana konzinstencija metodom slijeganja. Također je u svježem stanju izmjerena količina zraka i masa po jednog uzorka od svake serije.

Uzorci su čuvani u vlažnoj komori na temperaturi $20 \pm 2°C$.

Na uzorcima su vršena ispitivanja dinamičkog modula elastičnosti i čvrstoće nakon 3,7 i 28 dana.

U nastavku slijedi detaljan opis upotrijebljenih materijala, postupka ispitivanja te dobivenih rezultata.

8.IZBOR KOMPONENTI

8.1.CEMENT

Za ovo ispitivanje upotrijebljen je cement s oznakom Cemex

CEM II/B-M (S-LL) 42.5N.To je miješani portland cement s udjelom 65-79% klinkera i 21-35 % dodataka.

TIPIČNA SVOJSTVA	ZAHTJEV NORME
% SO3 3,0 ± 0,20%	≤ 3,5
Kloridi 0,04 ± 0,02%	≤ 0,1
Vrijeme vezivanja* 170 ± 30 min	≥ 60
(početak)	
Rana čvrstoća 21 ± 2 MPa	≥ 10
(2 dana)	
Normirana čvrstoća 48 ± 2 Mpa	≥ 42,5; ≤ 62,5;
(28 dana)	

TIPIČAN SASTAV	ZAHTJEV NORME	ZAHTJEV NO
Klinker (K) + gips (G)	66-72%	65-79
Zgura (S)	28-34%	21-35
Vapnenac (LL)		
Ostalo	0%	0-5

*pri temperaturi od 20°C

CEMENT

Cement je hidraulično vezivo, tj. fino mljeven anorganski materijal koji pomiješan s vodom tvori pastu, koja se hidratacijskim reakcijama i procesima vezuje i očvršćuje i koja nakon očvrsnuća zadržava čvrstoću i stabilnost i pod vodom. Cement, usklađen s normama HRN EN 197-1 i BAS EN 197-1, označen kao CEM cement, ako je pravilno pomiješan s odgovarajućim udjelima agregata i vode, ima sposobnost stvaranja betona ili morta, koji dovoljno dugo zadržavaju obradivost, a nakon određenih vremenskih razdoblja postižu određene razrede čvrstoće i zadržavaju dugotrajnu postojanost volumena.

KARAKTERISTIKE

visoka konačna čvrstoća / sporiji pad konzistencije i

zadržavanje prikladne ugradivosti / izvrsna reološka svojstva morta

i betona (ugradljivost, pumpabilnost) / reducirana tendencija

skupljanja / svjetlija boja prikladnija za kombiniranje s pigmentima

PREPORUKE ZA PRIMJENU

betoni za široku primjenu / betoni s različitim vrstama aditiva /

izrada nosivih konstrukcijskih elemenata u visokogradnji

/ izrada betonskih blokova, reparaturnih mortova / monolitizacija

polumontažnih međukatnih konstrukcija / za cementne estrihe

(plivajuće podove) / izvođenje svih vrsta rekonstrukcijskih radova

OSOBITO JE PRIKLADAN

za proizvodnju transportnog betona / za izradu svih vrsta

armiranobetonskih konstrukcija / za proizvodnju betona

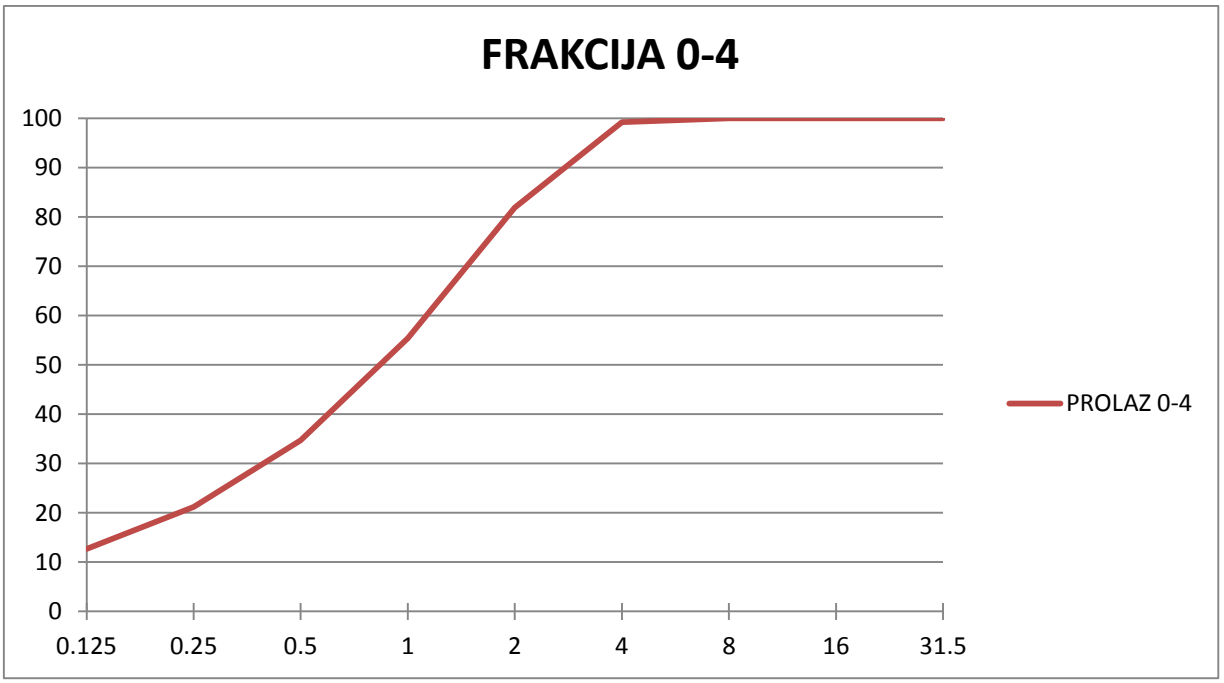
izloženog umjereno agresivnom okolišu

TRANSPORT I SKLADIŠTENJE

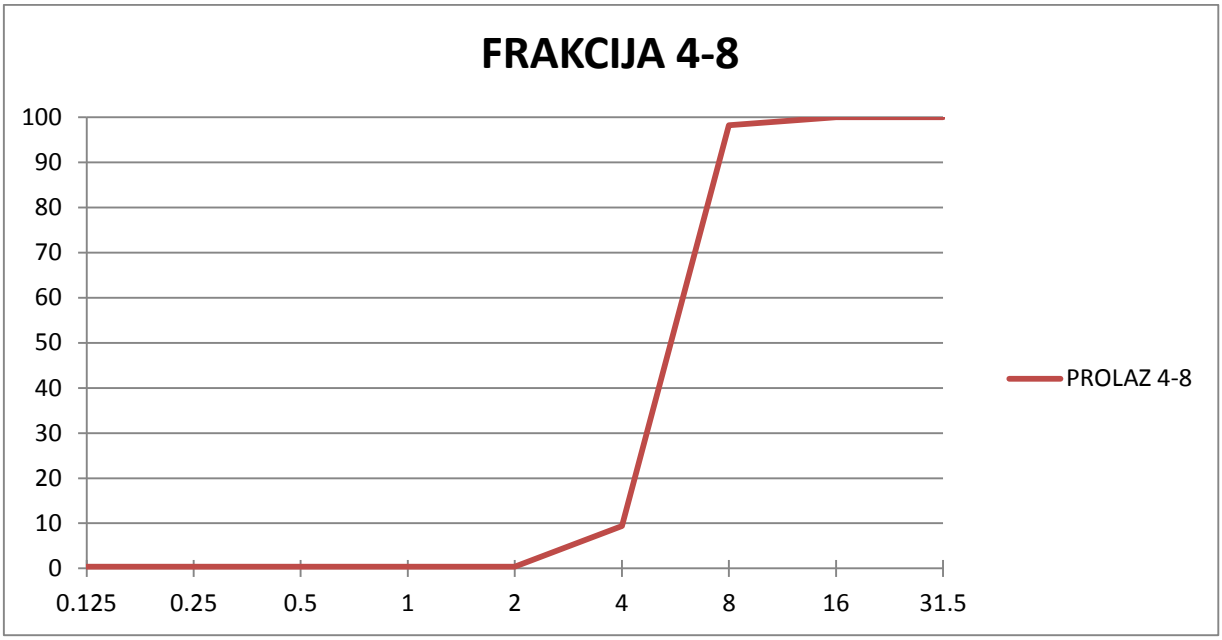
Transportirati u sredstvima koja štite cement od utjecaja vlage. Transportna sredstva prije punjenja cementom moraju biti očišćena od tvari koje mogu utjecati na kvalitetu cementa. Skladištiti u betonskim ili čeličnim silosima koji štite cement od vanjskih utjecaja, posebice od utjecaja vlage. Pri skladištenju u silos osigurati da ne dolazi do miješanja cementa s drugim proizvodima. Uz pravilan transport i skladištenje, cement je potrebno upotrijebiti najkasnije 6 mjeseci nakon isporuke.

8.2.AGREGAT

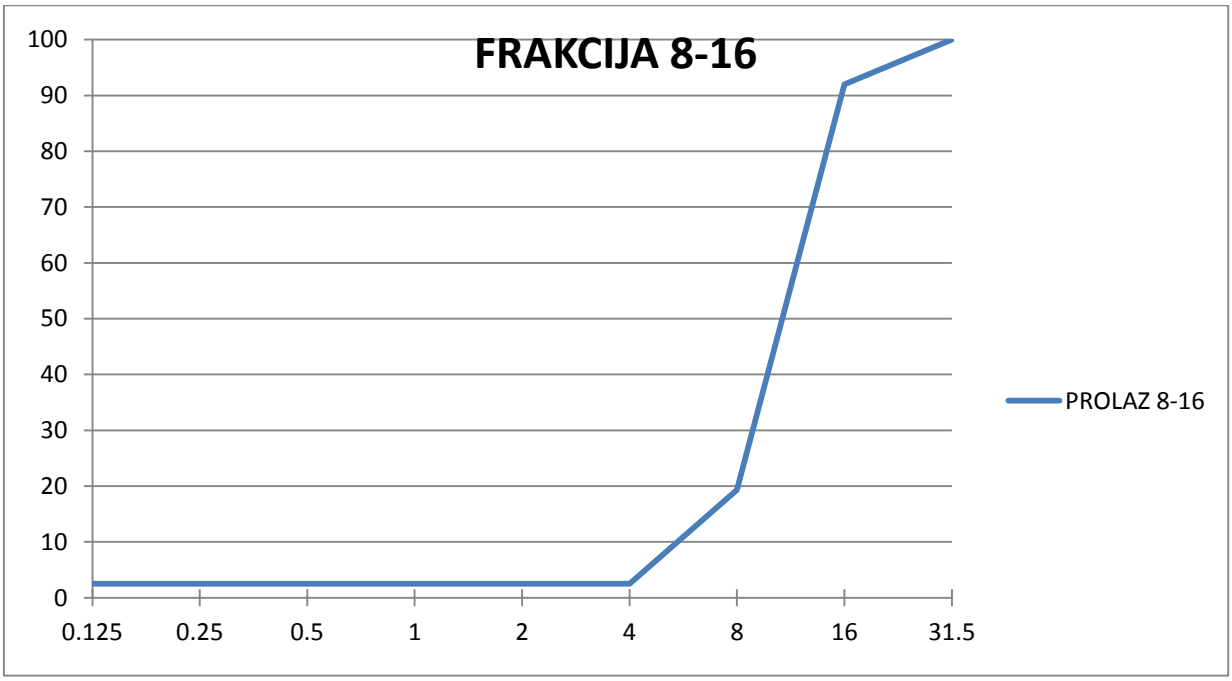
Za potrebe ovog istraživanja korišten je drobljeni agregat sa nalazišta Klis-Kosa. Frakcije agregat do 4 mm čini sitni agregat ili pijesak,a frakcije iznad toga krupni pijesak. Drobljeni agregat je obično ujednačenijeg mineralnog sastava i vrlo povoljne hrapave površine, koja osigurava dobru prionjivost cementnog kamena .Koristile su se ukupno 3 frakcije 0-4 mm,4-8 mm i 8-16 mm. Granulometrijski sastav svake pojedine frakcije agregata prikazan je na slikama 8.1.-8.3.,kao i odabrana granulometrijska krivulja agregata za beton (Fuller) ,slika 8.4.



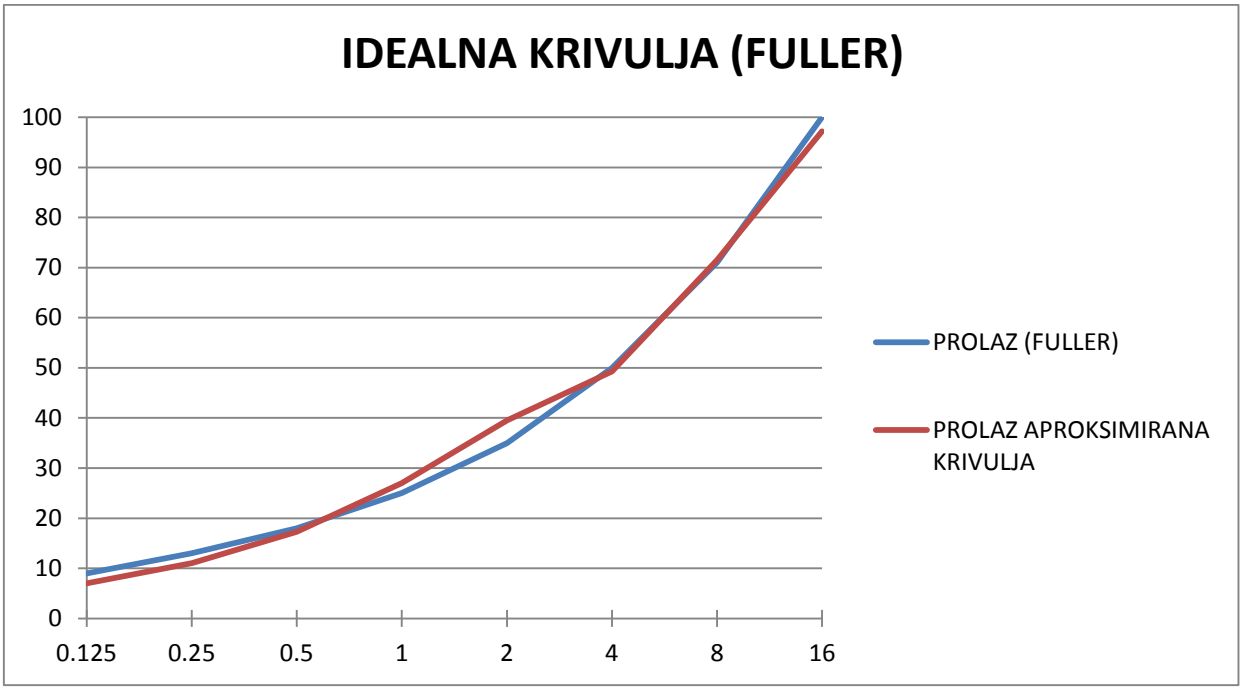
Slika 8.1.Granulometrijska krivulja agregata frakcije 0-4 mm



Slika 8.2.Granulometrijska krivulja agregata frakcije 4-8 mm



Slika 8.3.Granulometrijska krivulja agregata frakcije 8-16 mm



Slika 8.4.Granulometrijska krivulja agregata za beton (Fuller)

8.3.VODA

Zahtjevi za kvalitetu vode koja je pogodna za izradu betona su:

- voda ne smije imati primjese koje sprječavaju normalno vezivanje i očvršćivanje lakog betona (muljevite vode, vode koje sadrže kiseline i soli preko određene mjere tj. vode čiji je pH faktor manji od 4,5%),
- voda ne smije sadržavati sulfate, ne više od 0,3%,
- ne smije biti zagađena šećerom, uljima, naftom, mazutima itd.,
- morska voda smije sadržavati do 2% soli da bi se mogla upotrijebiti za masivne nearmirane konstrukcije.

8.4.SUPERPLASTIFIKATOR FTF

Mehanizam djelovanja superplastifikatora je u načelu isti kao kod plastifikatora, ali je svaki pojedinačni efekt u ukupnom mehanizmu znatno jače izražen. Njihovom upotrebom moguće je 3 – 4 puta smanjiti količinu vode koja je potrebna za izradu betona, u odnosu na beton izrađen s plastifikatorom. Molekule superplastifikatora izgrađene su u obliku molekulskog lanca, te u adsorbiranom sloju znatno bolje pokrivaju površinu čestica u svježem betonu. Upotreba superplastifikatora kod izrade betona ima brojne prednosti, a to su:

- povećanje slijeganja i tečenja,
- poboljšanje ugradljivosti, zagladivosti i izgleda površine,
- velike uštede vode i cementa,
- povećanje tlačne čvrstoće,
- ubrzava razvoj čvrstoće.

8.5.MINERALNI DODACI

Oblik i upijanje vode mineralnih dodatak može utjecati na potrebu za vodom i stoga su primjenjivi za upotrebu u proizvodnji betona.

Općenito se mineralnim dodacima za beton smatraju fino zrnato dispergirani materijali, koji mogu biti dodavani u beton u relativno velikim količinama obzirom na masu cementa (20-100%).

U eksperimentalnom radu korišteni su sljedeći mineralni dodaci:

1) Silikatna prašina

2) Leteći pepeo

3) Reciklirani beton

4) Punilo tj. filer (kameno brašno)

8.5.1. SILIKATNA PRAŠINA

Silikatna prašina je prema postanku industrijski mineralni dodatak, a prema svojstvu (aktivno sudjeluje u procesu hidratacije cementa) spada u pucolane (silikatni i aluminosilikatni materijali koji nemaju latentna svojstva, kemijski reagiraju s vodom). Silikatna prašina je najkvalitetniji pucolan s najvećom pucolanskom aktivnošću. Sastoji se od vrlo finih čestica nastalih kao sporedni proizvod pri proizvodnji silikatnih i ferosilikatnih legura. Fizikalni zahtjevi su: specifična površina, sadržaj suhe tvari u mulju, indeks aktivnosti. Veličine čestica silikatne prašine kreću se od 0,01-0,3 μm. [9]

Silikatna prašina na svojstva betona ima učinak preko dva mehanizma:

- Pucolanske reakcije
- Učinka sitnih čestica

Sitne čestice doprinose poboljšanju obradljivosti i povećanju kohezivnosti i zapunjavaju unutrašnju strukturu jer su znatno sitnije od čestica cementa. Silikatna prašina je učinkovita i za eliminiranje izdvajanja vode (poboljšava otpornost na segregaciju).

Osnovni tehnički podaci o silikatnoj prašini Meyco MS 610 prikazani su u tablici 1.

Tehnički podaci	
Oblik	Prah
Boja	Siva
Gustoća	0,55 - 0,70 kg/l
Udio klorida	< 0,1 %

Tablica 1.

8.5.2. LETEĆI PEPEO

Leteći pepeo je prema postanku industrijski mineralni dodatak, a prema svojstvu spada u pucolane jer aktivno sudjeluje u procesu hidratacije cementa. Leteći pepeo nastaje kao sporedni proizvod u modernim termoelektranama koje imaju pogon na ugljen i koji mora prethodno biti samljeven. Dakle, leteći pepeo je fini prah koji se uglavnom sastoji od čestica

sferičnog oblika, dobiven izgaranjem ugljene prašine, uz eventualno sporedne materijale za izgaranje.

Leteći pepeo poboljšava svojstva betona na dva načina:

- Fizikalnim efektom povezanog s povišenjem udjela finih čestica- čestice letećih pepela manje su nego čestice cementa
- Pucolanskim i/ili hidrauličkim reakcijama

Leteći pepeo smanjuje potrebu za vodom i izdvajanje vode, poboljšava obradljivost, poboljšava nepropusnost, usporava oslobađanje topline hidratacije. Međutim, veliki udio letećeg pepela može uzrokovati da mješavina bude vrlo kohezivna i na taj način otporna na tečenje.

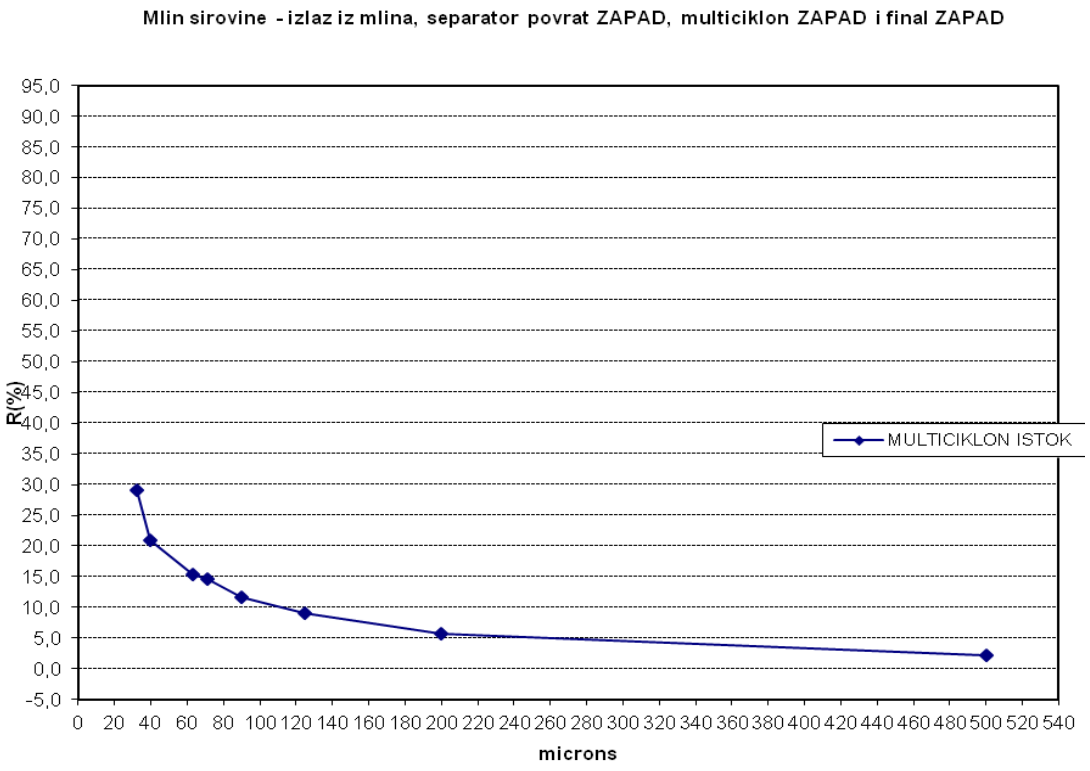
8.5.3. RECIKLIRANI BETON

Filer je fino mljeveni beton, dobiven strojnim brušenjem betonske površine. Specifična površina zrna po Blaine-u je 7891 [cm^2/g], a specifična težina 2,45 [g/cm^3]. Potječe iz Dugopolja.

SIEVES	**REST**
	MULTICIKLON ISTOK
Blaine	
microns	%
32	29.0
40	21.0
63	15.4
71	14.6
90	11.6
125	9.0
200	5.8
500	2.2
Grain size	MULTICIKLON ISTOK
microns	%
less than 32 mic.	71.0
32-40 mic.	8.00
40-63 mic.	5.60
63-71mic.	0.80
71-90 mic.	3.00
90-125mic.	2.60

125-200mic.	3.20
200-500 mic	3.60
sives	**Passing**
	SEPARATOR (west+ 50% east) reject
microns	%
32	71.00
40	79.00
63	84.60
71	85.40
90	88.40
125	91.00
200	94.20
500	97.8

Tablica 2. Granulometrija filera



Slika 8.5. Granulometrijski dijagram filera

8.5.4.PUNILO(KAMENO BRAŠNO)

Punilo spada u grupu mineralnih dodataka (dolomit, vapnenac, itd). Punilom se smatraju sve sitne čestice koje prolaze kroz otvor sita 0,063 mm.

Punilo kao mineralni dodatak utječe na poboljšanje obradljivosti betona. Veličina čestica, oblik čestica i upijanje vode filera može utjecati na potrebu vode s betona. Specifična težina ovog filera iznosi 2,7 [g/cm^3].

9.PRORAČUN SASTAVA BETONA

9.1.PRORAČUN RECEPTURE BETONA

U nastavku su prikazani sastavi mješavina koje ispitujemo. Sve rezultate ispitanih mješavina međusobno uspoređujemo. U tablicama 3-6 prikazani su sastavi mješavine za jedno laboratorijsko miješanje u količini od 35 litara betona.

Tablica 3.-SASTAV ISPITANE MJEŠAVINE 1

SASTAV	kg
cement	10,50
voda	6,473
silikatna prašina	1,75
superplastifikator FTF	0,1
agregat 0-4 mm	31,74
agregat 4-8 mm	16,21
agregat 8-16 mm	19,58

Tablica 4.-SASTAV ISPITANE MJEŠAVINE 2

SASTAV	kg
cement	10,50
voda	6,321
leteći pepeo	1,75
superplastifikator FTF	0,07
agregat 0-4 mm	31,74
agregat 4-8 mm	16,21
agregat 8-16 mm	19,58

Tablica 5.-SASTAV ISPITANE MJEŠAVINE 3

SASTAV	kg
cement	10,50
voda	6,23
reciklirani beton	1,75
superplastifikator FTF	0,1
agregat 0-4 mm	31,74
agregat 4-8 mm	16,21
agregat 8-16 mm	19,58

Tablica 6.-SASTAV ISPITANE MJEŠAVINE 4

SASTAV	kg
cement	10,50
voda	5,73
filer(kameno brašno)	1,75
superplastifikator FTF	0,1
agregat 0-4 mm	31,74
agregat 4-8 mm	16,21
agregat 8-16 mm	19,58

9.2.PRIPREMA MJEŠAVINE BETONA

Potrebne količine sastojaka svake mješavine izmjerene su na preciznoj vazi. Svi uzorci su miješani u laboratorijskoj miješalici. Kod svih mješavina je bila izražena slaba obradivost pa su se morale dodati određene količine vode i superplastifikatora FTF. Nakon svake pripremljene mješavine mjerio se iznos slijeganja, ispitivao sadržaj zraka u svježem betonu i masa referentnog uzorka.



Slika 9.1.Laboratorijska miješalica[slika zabilježena tijekom ispitivanja]

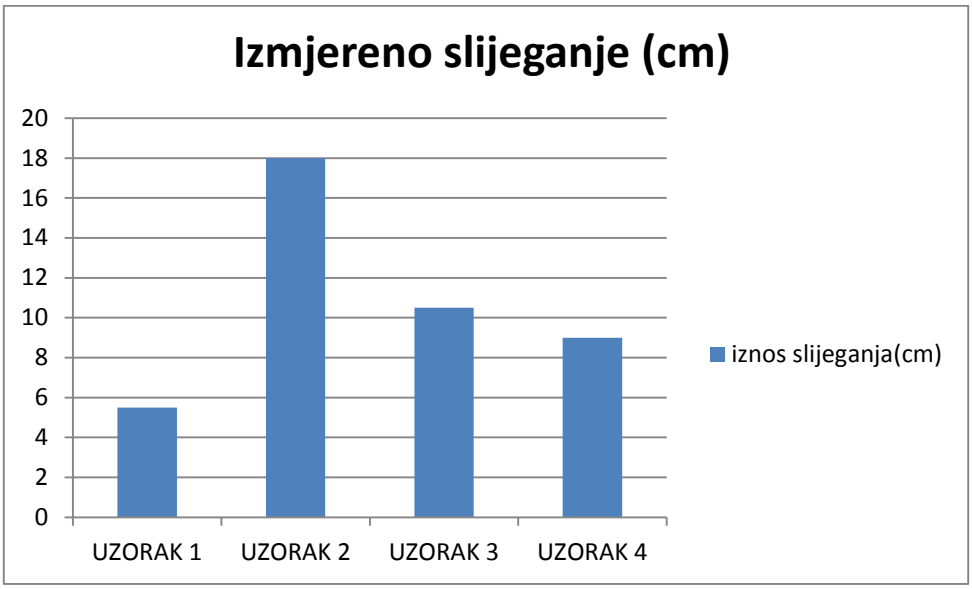
9.3. SLIJEGANJE

Nakon svake pripremljene mješavine vršeno je ispitivanje konzinstencije metodom slijeganja. Tečenje i preoblikovanje uzorka svježeg betona može se jednostavno definirati mjerenjem promjene dimenzija i oblika pod utjecajem vanjskih sila. Metoda slijeganja je najstarija i najjednostavnija metoda određivanja konzinstencije svježeg betona. Konzistencija slijeganjem se ispituje tako da se kalup u obliku krnjeg stošca visine 30 cm puni betonom u tri nivoa (na svakom nivou se beton zbija čeličnom šipkom 25 puta) te se nakon podizanja kalupa mjeri slijeganje betona od početne visine. Zbijanje šipkom treba biti jednoliko po cijelom presjeku. Prilikom zbijanja drugog i trećeg sloja, šipka ne treba prodirati u donji, već zbijeni sloj betona. Od početka punjenja kalupa do njegova podizanja ne smije proći više od 150 s.



Slika 9.2.Metoda slijeganja[slika zabilježena tijekom ispitivanja]

Rezultati izmjerenih slijeganja prikazani su na slici 9.3.



Slika 9.3.Rezultati izmjerenih slijeganja

Prema slici 9.3. uzorak 1 ima najmanje slijeganje te nema zadovoljavajuću obradivost. Kod njega je kao mineralni dodatak korištena silikatna prašina. Ostali uzorci imaju dosta veliko slijeganje tj. imaju dobru obradivost. Posebno veliko slijeganje ima uzorak 2 kod kojeg je kao mineralni dodatak korišten leteći pepeo.

9.4. ISPITIVANJE SADRŽAJA ZRAKA U SVJEŽEM BETONU

Sadržaj zraka u svježem betonu ispitan je metodom pomoću porometra.

Porometar se sastoji od čvrste, valjkaste posude volumena 8 dm^3 i poklopca na kojem je mali rezervoar zraka, manometar, ručna pumpa i ventil. Posuda i poklopac se prije ispitivanja lagano navlače, tako da na površinama nema slobodne vode. Beton se zbije u posudu pomoću uranjajućeg vibratora. Zatim se površina betona poravna te se dobro obriše rub posude i pokrije poklopcem. Između poklopca i betona nalije se voda da se ispuni prazan prostor iznad betona. U rezervoar se napumpa zrak, zatim se otvori ventil i dio zraka ispusti se u donju posudu, te se pritisak u rezervoaru i posudi izjednači.

Manometar porometra je baždaren tako da se direktno očita sadržaj zraka, z, u % volumena posude za beton.



Slika 9.4.Manometar[slika zabilježena tijekom ispitivanja]

Rezultati :

Sadržaj zraka izmjeren porometrom:

UZORAK 1: z=2,6 %

UZORAK 2: z=3,6 %

UZORAK 3: z=2,5 %

UZORAK 4: z=2,0 %

Ispitni uzorak 2 ima najveći sadržaj uvučenog.Nakon izmjerenih količina zraka svježi beton se vraća u miješalicu,promiješa a zatim ugrađuje u već pripremljene kalupe oblika kocke brida 15 cm.

9.5. UGRADBA SVJEŽEG BETONA U KALUPE

Nakon što su obavljena ispitivanja slijeganja i količina zraka u svježem betonu, pristupamo ugradbi svježeg betona u kalupe. su Svi uzorci betona u kalupe ugrađeni uronjavajućim vibratorima. Vibriranje se vrši sve dok iz betona izlaze veći mjehurići zraka i dok se površina ne zaravna. Nakon 1 dana uzorci su izvađeni iz kalupa i stavljeni na čuvanje u komoru za njegu betona.



Slika 9.5.Ugrađeni uzorci betona[slika zabilježena tijekom ispitivanja]



Slika 9.6. Izvađeni uzorci iz kalupa[slika zabilježena tijekom ispitivanja]

9.6. MASA SVJEŽEG UZORKA

Masa svakog svježeg uzorka je izmjerena na preciznoj vazi:

UZORAK 1: m=8221,3 g

UZORAK 2: m=8052,7 g

UZORAK 3: m=8123,9g

UZORAK 4: m= 8308,8g

Ispitni uzorak 4 ima najveću masu šo znači da ta mješavina ima najveću gustoću.

9.7. ISPITIVANJE DINAMIČKOG MODULA ELASTIČNOSTI I ČVRSTOĆE

Dinamički modul elastičnosti i čvrstoće su ispitani nakon 3,7 i 28 dana standardnim postupkom. Ispitivanja su vršena na ispitnim tijelima oblika kocke veličine brida 15 cm. Uzorci stoje u kalupima 24 sata i to u kontroliranim uvjetima, odnosno pri relativnoj vlažnosti zraka većoj od 90% i na temperaturi od 20± 2°C . Nakon 24 sata uzorci se vade iz kalupa i potapaju se u vodu gdje se čuvaju do dana ispitivanja. Na dan ispitivanja uzorci se vade iz vode, obrišu se tako da im površina bude suha i zatim se važu. Nakon toga su spremni za ispitivanje. Tlačna čvrstoća ispitana je na zasićenim uzorcima pomoću preše za određivanje tlačne čvrstoće betona, prema propisu EN 12390-3:2001. Ispitivanje se izvodi na način da se uzorak stavi u prešu i opterećuje do sloma, a zatim se očita naprezanje i sila u uzorku u trenutku sloma. Osnovno ispitivanje modula elastičnosti i čvrstoće se radi kod betona starosti 28 dana. Kvaliteta uzoraka varira, pa se prilikom obrade rezultata kao mjerodavna vrijednost uzima srednja vrijednost od 3 uzorka.



Slika 9.6. Preša za ispitivanje čvrstoće [slika zabilježena tijekom ispitivanja]

10. REZULTATI ISPITIVANJA I ANALIZA REZULTATA

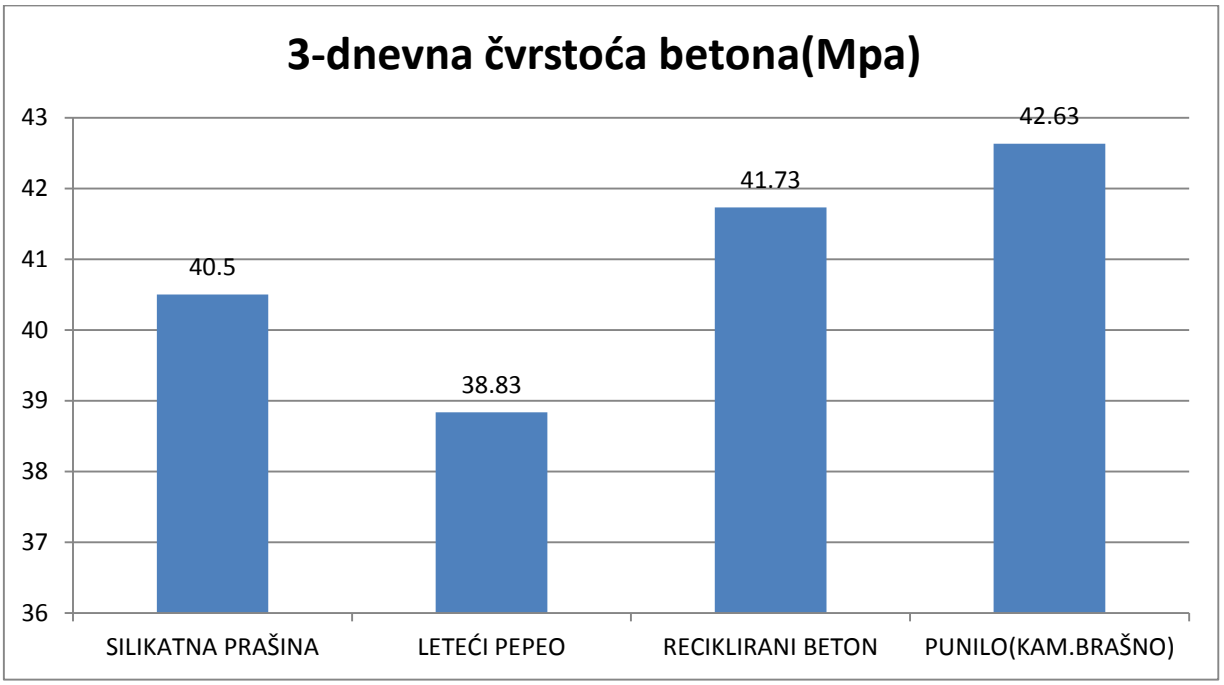
10.1. ISPITIVANJE ČVRSTOĆE BETONA NA PRITISAK

Čvrstoća betona na pritisak ispitivana je standardnim postupkom. Ispitivanje se mora vršiti u području 0.2 i 0.8 kapaciteta preše. Ispitno tijelo mora biti u zasićenom stanju, te površine moraju biti obrisane. Prvo moramo izmjerit masu uzorka i sve dimenzije ispitnog tijela. Zatim tijelo stavimo u prešu i opterećujemo brzinom od 0.6±0.4 MPa/s do loma. Rezultat ispitivanja je čvrstoća na pritisak svake kocke posebno i iznosi:

$f_k=F/A$

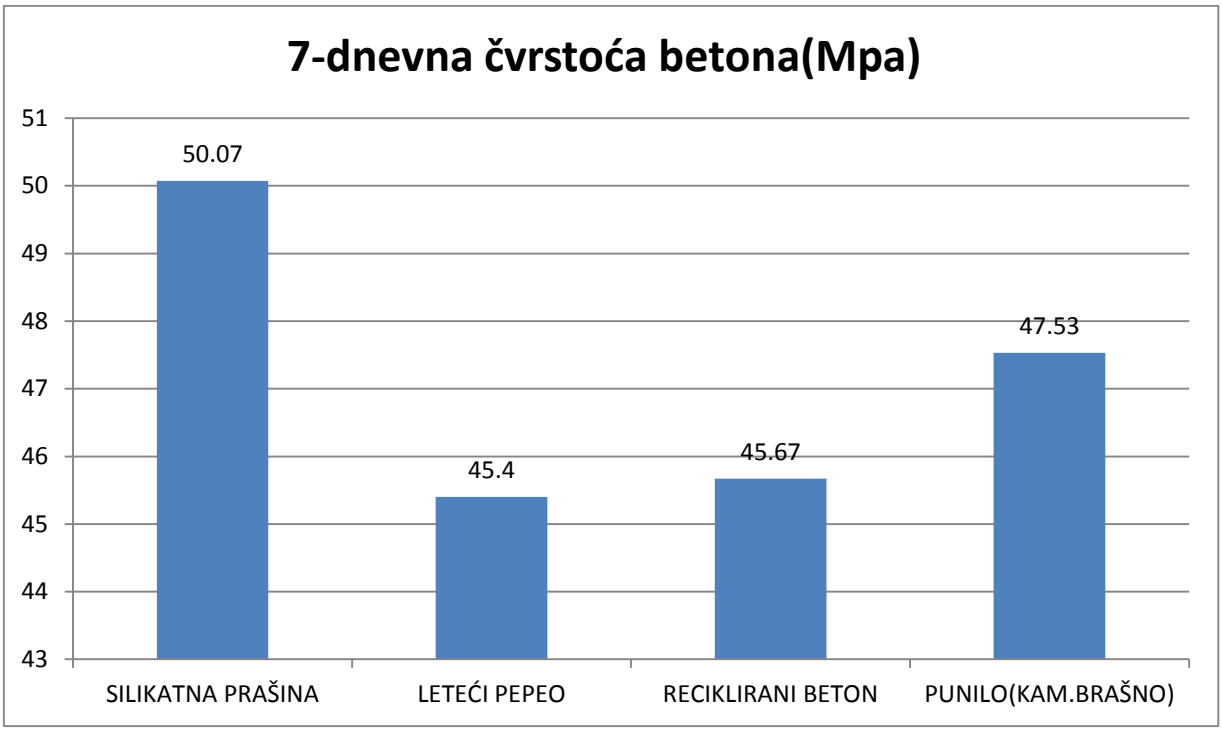
F-sila u trenutku loma

A-površina poprečnog presjeka u sredini ispitnog tijela



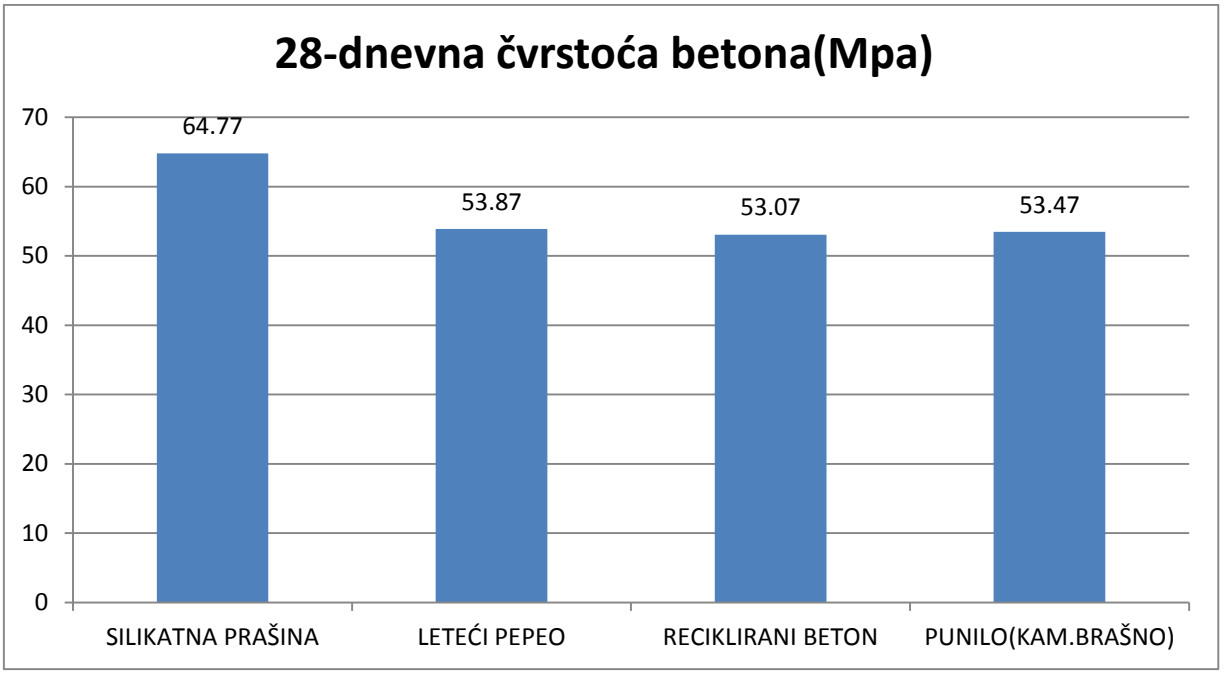
Slika 10.1.Prikaz 3-dnevne čvrstoće betona

Na slici 10.1.je prikaz čvrstoća koje su uzorci postigli nakon 3 dana. Najveću čvrstoću ima uzorak s punilom od kamenog brašna, dok najmanju čvrstoću ima uzorak s letećim pepelom. Vrijednost čvrstoće uzorka 4 može se objasniti tako što je ta mješavina pripremljena sa najmanjom količinom vode u odnosu na ostale mješavine.



Slika 10.2.Prikaz 7-dnevne čvrstoće betona

Na slici 10.2.je prikaz čvrstoća koje su uzorci postigli nakon 7 dana. Najveću čvrstoću ima uzorak s silikatnom prašinom, a najmanju čvrstoću imaju uzorci s letećim pepelom i recikliranim betonom.



Slika 10.3.Prikaz 28-dnevne čvrstoće betona

Na slici 10.3.je prikaz čvrstoća koje su uzorci postigli nakon 28 dana. Najveću čvrstoću ima uzorak s silikatnom prašinom, dok preostali uzorci imaju manju čvrstoću koja je praktički jednaka kod svih uzoraka. Silikatna prašina doprinosi kako konačnoj čvrstoći betona tako i povećanju njegove trajnosti. Kako su čestice silike sitnije od čestica cementa, tako one zapunjavaju unutrašnju strukturu cementnog kamena.

10.2. ISPITIVANJE MODULA ELASTIČNOSTI MATERIJALA

Na uzorcima betona vršeno je i ispitivanje modula elastičnosti materijala, i to nakon 3,7 i 28 dana. Na temelju dobivenih srednjih vrijednosti brzina ultrazvučnih valova određuje se dinamički modul elastičnosti mješavina prema sljedećoj formuli:

$$E_{din} = \frac{v^2 \rho (1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} [GPa],$$

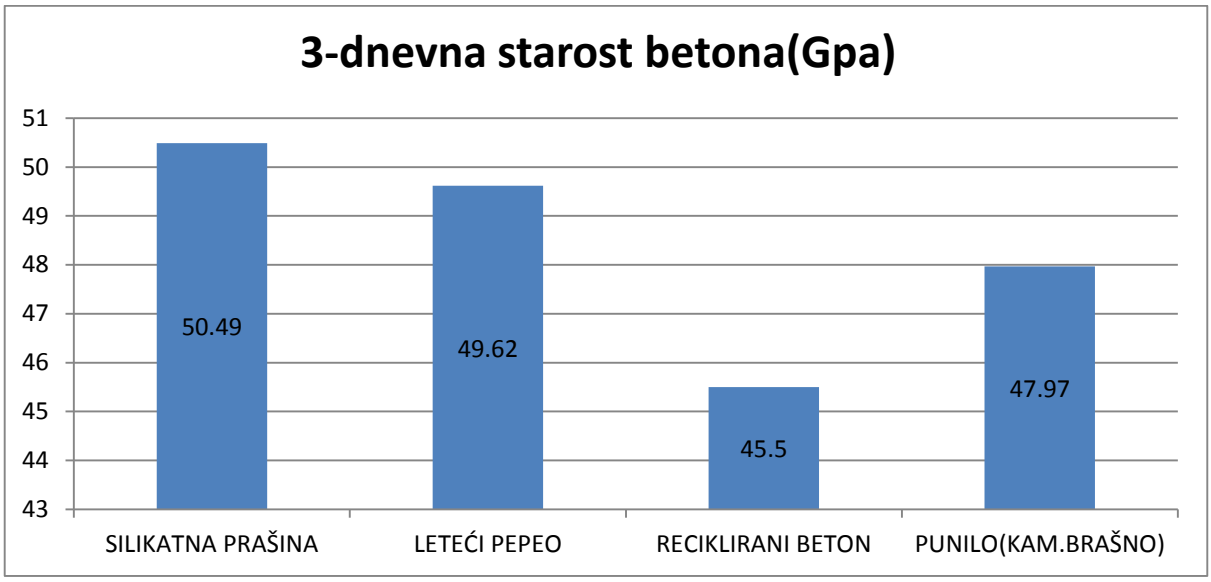
gdje je:

v - brzina ultrazvučnog vala [m/s]

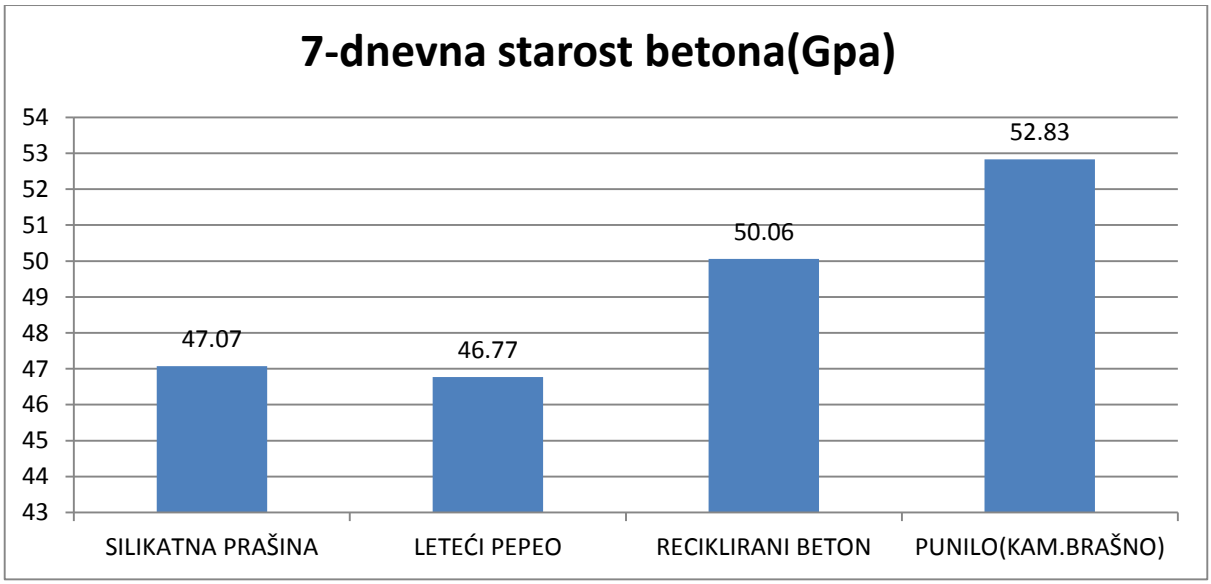
ρ – gustoća betona [kg/m^3]

μ – poissonov koeficijent [μ =0.2]

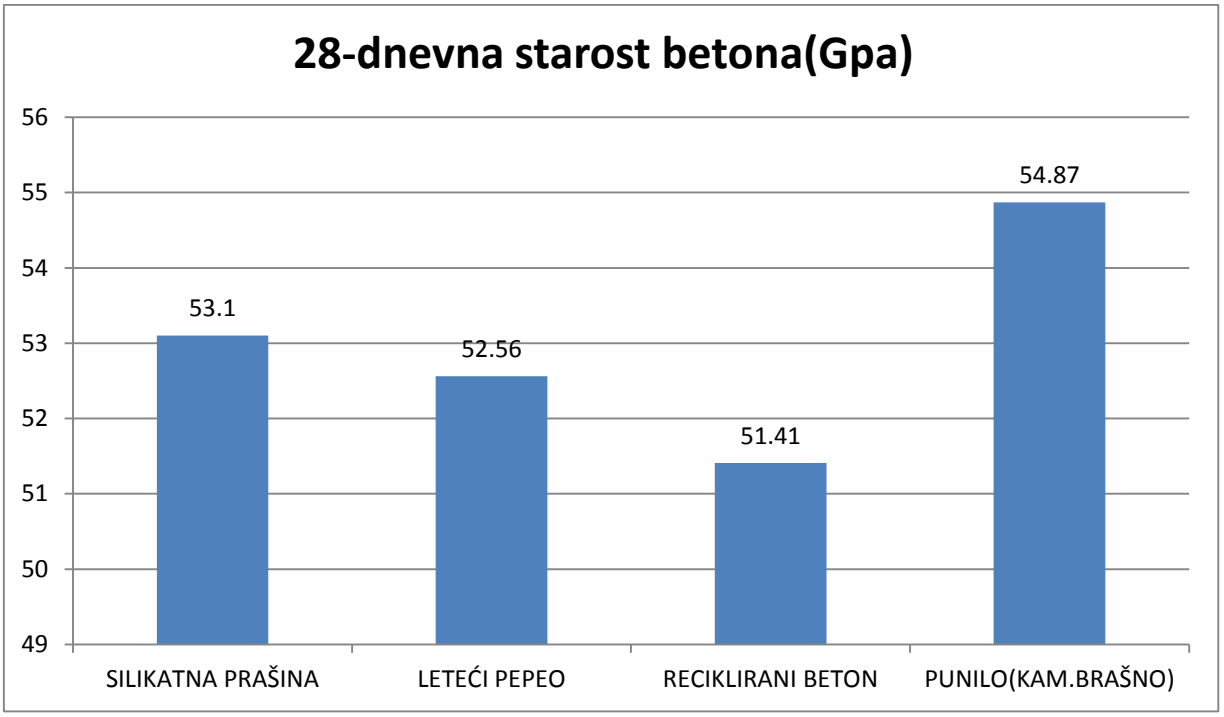
Rezultati ispitivanja su prikazani na slikama u nastavku.



Slika 10.4. Prikaz modula elastičnosti materijala nakon 3-dnevne starosti betona

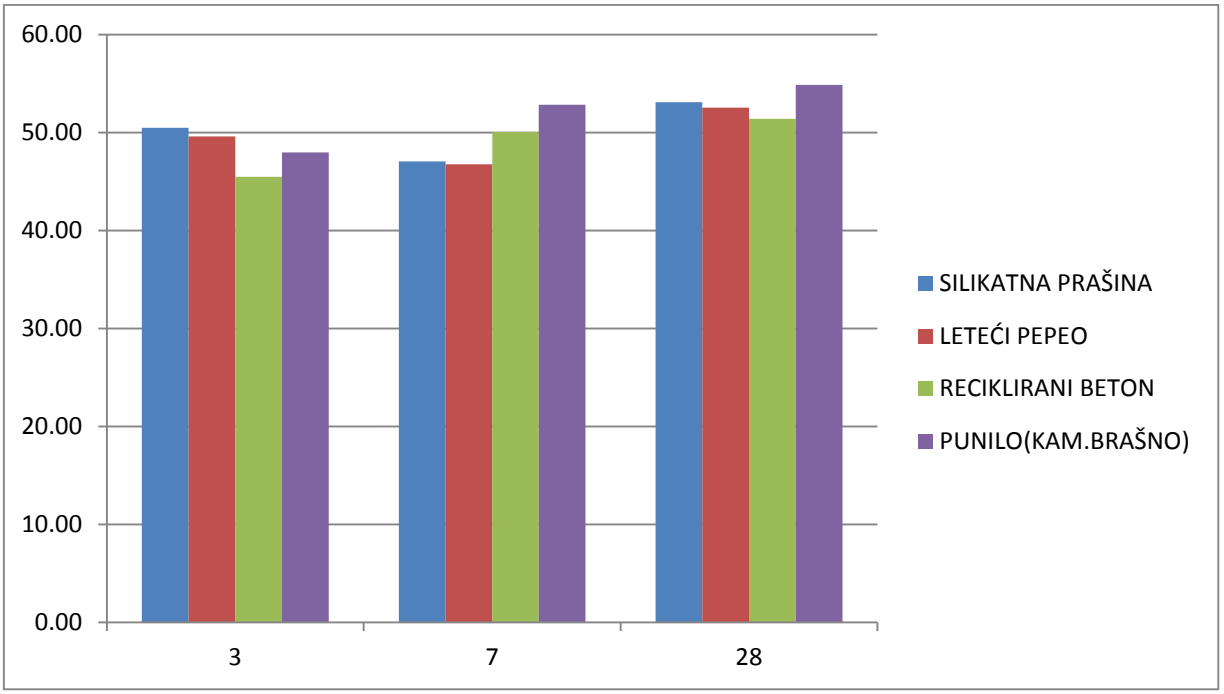


Slika 10.5. Prikaz modula elastičnosti materijala nakon 7-dnevne starosti betona

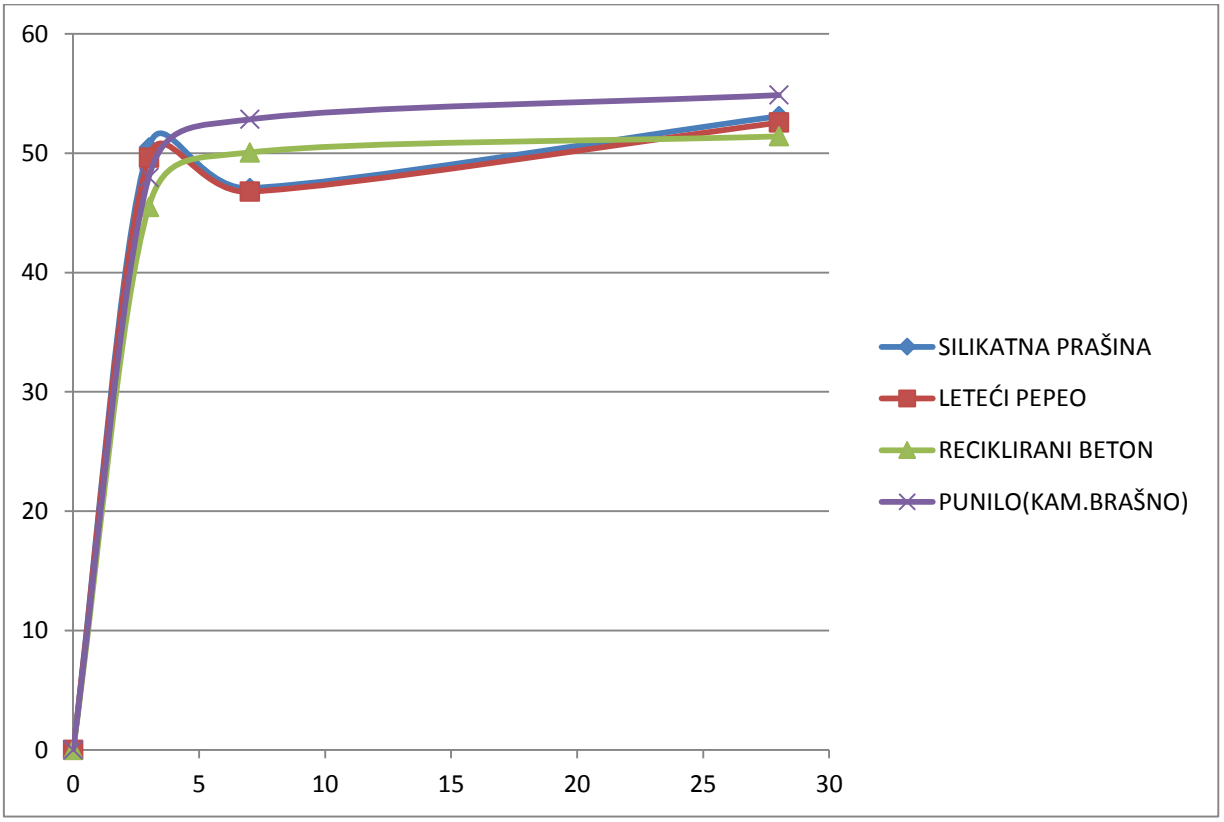


Slika 10.6. Prikaz modula elastičnosti materijala nakon 28-dnevne starosti betona

Kod 3-dnevne starosti betona najveći modul elastičnosti materijala imao je uzorak betona s silikatnom prašinom. Kod 7 –dnevne i 28-dnevne starosti betona najveći modul elastičnosti materijala imao je uzorak betona s punilom od kamenog brašna.



Slika 10.7.Prikaz rezultat ispitivanja modula elastičnosti u odnosu na vrijeme.



Slika 10.8.Prikaz razvoja modula elastičnosti u vremenu.

Kod 3–dnevne i 7–dnevne starosti betona uočavamo veće razlike u vrijednostima dinamičkih modula elastičnosti dok su kod 28-dnevne starosti betona te razlike nešto manje.

11. ZAKLJUČAK

Beton se dobiva miješanjem cementa, vode i agregata. U novije vrijeme je nemoguće zamislit izradu betona bez aditiva i mineralnih dodataka. Mineralnim dodacima za beton smatraju fino zrnato dispergirani materijali, koji mogu biti dodavani u beton u relativno velikim količinama obzirom na masu cementa (20-100%).

Mineralni dodaci mogu utjecati na mehaničke karakteristike i trajnost betona, obradivost, prionjivost cementa i agregata. Međusobni kontakt cementa i agregat je najslabiji dio betona pa je kao takav bitan za sve kasnije karakteristike očvrslog betona.

U ovom radu su napravljeni uzorci betona s različitim mineralnim dodacima:

-silikatna prašina

-leteći pepeo

-reciklirani beton

-filer (kameno brašno)

Ispitana ima je čvrstoća i modul elastičnosti nakon 3, 7 i 28 dana. Početne vrijednosti čvrstoće i modula elastičnosti su se dosta razlikovale ali su u konačnosti te razlike manje.

Prema dobivenim rezultatima možemo zaključiti da čvrstoća i dinamički modul elastičnosti potpuno zbijenog uzorka koji ima zadanu količinu cementa i određenu granulometrijsku krivulju agregata je najveća za uzorke sa dodatkom silikatne prašine. Za uzorke sa letećim pepelom trebalo bi napraviti ispitivanja kod veće starosti betona (veće od 90 dana). Uzorak sa kamenim brašnom dao je isto dobre rezultate, što se može obrazložiti s tim da su ti uzorci napravljeni sa najmanjom količinom vode.

Literatura:

[1] Krstulović,P.:Svojstva i tehnologija betona,Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu i Institut Građevinarstva Hrvatske,Split,2000

[2] Đureković,A.:Cement,cementni kompozit i dodaci za beton,Institut građevinarstva Hrvatske i Školska Knjiga,Zagreb,1996

[3] http://www.cvipek.hr/cvipek/usluge/kamenolom

[4] http://www.mastour.com/blog/ordinary-portland-cement-opc/

[5] http://www.balkanmagazin.net/energetika/cid163-25165/pepeo-leteci-graevinski-materijal

[6] http://srb.sika.com/sr/solutions_products/02/02a001.html