

Tehnologija betona

Kos, Fredi

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering in Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:602493>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

Fredi Kos

TEHNOLOGIJA BETONA

Završni rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Preddiplomski stručni studij Građevinarstvo
Građevinski materijali**

**Fredi Kos
JMBAG: 0242002992**

TEHNOLOGIJA BETONA

Završni rad

Rijeka, veljača 2019.

ZAVRŠNI/DIPLOMSKI ZADATAK

(ispunjava mentor, preuzima se u Referadi - mora biti ispisan na memorandumu Fakulteta)

IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Fredi Kos

U Rijeci, 18. veljače 2019.

SAŽETAK

Beton je građevinski materijal koji poradi svoje čvrstoće i mogućnosti oblikovanja u tekućem stanju ima široku primjenu. Danas je beton neizostavan dio svih oblika gradnje. Ubraja se u kompozitne materijale koji se dobivaju miješanjem agregata, cementa, vode i drugih dodataka. Miješanje se odvija u mješalicama koje se najčešće koriste u betonarama, odnosno tvornicama za proizvodnju betona. U ovom radu će se prikazati svojstva betona, njegova građevinska vrijednost, način proizvodnje betona te ispitivanje betona u tekućem i očvrnutom stanju.

Ključne riječi: beton, građevinski materijal, proizvodnja betona

ABSTRACT

Concrete is a construction material that, due to its strength and shapeability in the liquid state, has a wide application. Today concrete is an indispensable part of all forms of construction. It is included in composite materials obtained by mixing aggregates, cement, water and other additives. Mixing takes place in mixers most commonly used in concrete or concrete production factories. This paper presents the properties of concrete, its construction value, the way of concrete production and the testing of concrete in liquid and hardened state.

Key words: concrete, building material, concrete production

SADRŽAJ

POPIS TABLICA.....	9
POPIS SLIKA	10
1. UVOD.....	11
2. BETON KAO GRAĐEVINSKI MATERIJAL.....	12
2.1. Građevinske karakteristike betona	13
2.2. Učinkovito korištenje betona.....	14
3. SASTOJCI BETONA.....	15
3.1. Veziva (Cement).....	16
3.2. Agregat	17
3.3. Aditivi.....	18
3.4. Zahtjevi za sastav betona.....	18
4. PROCES PROIZVODNJE BETONA.....	20
4.1. Tehnološki proces proizvodnje betona	23
5. OPIS POSTUPAKA ISPITIVANJA KONZISTENCIJE SVJEŽEG BETONA PREMA HRN EN (SLIJEGANJE, RASPROSTIRANJE).....	25
5.1. Metoda slijeganja.....	26
5.2. Metoda rasprostiranja	29
6. OPIS POSTUPKA UGRADNJE I ZBIJANJA BETONA.....	31
6.1. Ugradnja svježeg betona.....	31
6.2. Sredstva za zbijanje betona	34
7. OPIS POSTUPAKA ISPITIVANJA OČVRSNULOG BETONA	35
7.1. Određivanje tlačne čvrstoće betona.....	35
7.2. Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem	37

PRORAČUN ČVRSTOĆE BETONA NA SAVIJANJE.....	38
8. POSEBNE VRSTE BETONA I MOGUĆNOSTI PRIMJENE	39
8.1. Beton visoke kvalitete	39
8.2. Betoni s polimerima	40
8.3. Ferocement	41
8.4. Masivni beton	42
8.5. Uvaljani beton	43
9. ZAKLJUČAK.....	44

POPIS TABLICA

Tablica 1: Opis vrsta cemenata i pripadnih oznaka.....	16
Tablica 2: Klase konzistencije kod metode rasprodtiranja prema HRN EN 206-1.....	30
Tablica 3: Normirani razredi tlačne čvrstoće betona za konstrukcije i elemente od betona	37
Tablica 5: Svojstva ferocemenata.....	41

POPIS SLIKA

<i>Slika 1: Volumni udio pojedinih sastojaka u betonu i njihova godišnja potrošnja u svijetu</i>	13
Slika 3: Volumni udio sastojaka betona	15
Slika 4: Shema proizvodnje cementa.....	17
Slika 5: Tehnološka shema postrojenja betonare	20
Slika 6: Proces proizvodnje betona	22
Slika 7; Primjeri miješalica za beton	23
<i>Slika 9: Kalup za ispitivanje slijeganja betona</i>	26
Slika 10: Punjenje i nabijanje betona u kalupu	27
Slika 11: Ispitivanje konzistencije svježeg betona slijeganjem.....	28
Slika 12: Pravilno slijeganje.....	28
<i>Slika 13: Smično slijeganje.....</i>	29
Slika 14: Oprema za ispitivanje rasprostiranja svježeg betona	29
Slika 15: Ispitivanje konzistencije svježeg betona rasprostiranjem	30
Slika 16: Primjer oplata za beton.....	32
Slika 17: Zbijanje betona vibracijom.....	35
Slika 18: Tip sloma uzorka kod tlačnog opterećenja.....	36
Slika 19: Ispitivanje čvrstoće betona na savijanje	38
Slika 20: Očekivani vijek trajanja betonskih konstrukcija u običnom betonu i u betonu visoke kvalitete (OB i BVK).....	39
Slika 21: Primjena masivnog betona	42

1. UVOD

Beton kao građevinski materijal poznat je još iz vremena rimske gradnje te se u modificiranom sastavu održao do današnjih dana. Riječ je o mješavini koja ima iznimno dobra svojstva i mogućnosti prilagodbe različitim građevinskim potrebama. Njegova široka primjena posljedica je i mogućnosti prilagodbe smjese određenim zahtjevima projekata.

U ovom radu opisan je beton kao građevinski materijal, navedeni su osnovni sastojci betona, opisani je proces proizvodnje betona, postupak ispitivanja konzistencije svježeg betona, objašnjen postupak ugradnje i zbijanja betona, opisan postupak ispitivanja očvrnulog betona te navedene pojedine vrste posebnih betona s mogućnosti njihove primjene.

Cilj rada je opisati i analizirati beton kao građevinski materijal te objasniti glavne značajke ovog građevinskog materijala.

2. BETON KAO GRAĐEVINSKI MATERIJAL

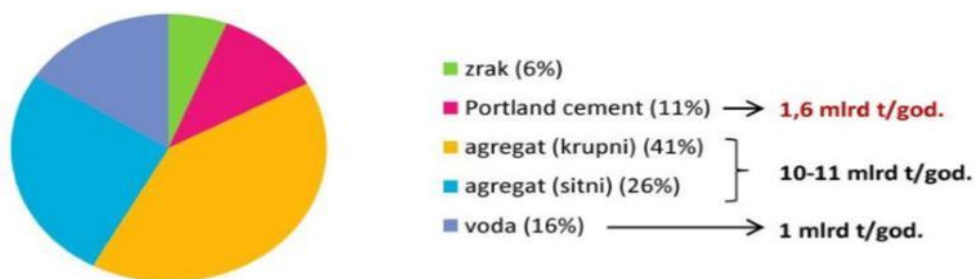
Beton je složeni građevinski materijal a njegova svojstva i kvalitete ovise o nizu faktora. Njegova kvaliteta ovisi o čistoći i ispravnosti njegovih sastojaka (cemenata, vode, agregata); ovisi o omjeru tih komponenti u mješavini; o načinu miješanja, transportiranja, zbijanja, ugradbe svježije betonske mješavine, i na kraju o njezi svježeg betona. Stalan nadzor proizvodnje betona osnovni je uvjet za postizanje visoke kvalitete betona. Beton je kvalitetan kad mu je jednoličnost i gustoća svježije betonske smjese što veća, kad mu je ugradivost izražena konzistencijom dobra, te kad je čvrstoća otvrdnule smjese što veća. Kad se govori o betonu tim se imenom naziva kako svježija betonska smjesa tako i kruti očvrstnuli beton.

Današnji beton kao građevinski materijal koristi se već stoljeće i pol te je u tom periodu pokrio oko 70% potreba u građenju. Može se reći da je beton u tom periodu postao infrastrukturna i urbana osnova života.¹ Postoji više razloga zbog kojih beton ima vrlo široku upotrebu, a među njima najvažniji su: dostupan je, jeftiniji je u odnosu na druge materijale te ima dobru otpornost na vremenske nepogode, a kao materijal za gradnju ima visoke tehničke i relativno niske tehnološke zahtjeve.

¹ Beslač, J., *Beton u novom stoljeću*, Građevinar, 54(1), 15-22, 2002.

2.1. Građevinske karakteristike betona

Beton se uvrštava u kompozitne građevinske materijale koji se najčešće sastoji od cementa, vode i agregata (inertni materijali, primjerice, pijesak, zrnje stijena, vermikulit i dr.). Cement i voda daju cementnu pastu, a ona se pod utjecajem kemijskih procesa očvršćivanja formira u cementni kamen koji povezuje zrna agregata. Neke od karakteristika betona kao građevinskog materijala su: trajnost i otpornost na različite vremenske utjecaje, no beton kao građevinski materijal, ipak, ne može se koristiti posvuda te je u takvim situacijama beton nužno modificirati kako bi se postigla svojstva koja zadovoljavaju neuobičajene primjene ili neke specifične okolnosti.² Beton se koristi u različitim oblicima gradnje. Nakon što se ugradi, dolazi do procesa hidratacije te se poradi toga beton skuplja. Beton se treba dodatno tretirati da ne dođe do pojave pukotina.³ Beton je ekološki čist materijal. Nadalje, betonske konstrukcije mogu se raditi u urbanim ili ruralnim sredinama, a razlog tome je što beton ima dobra oblikovna svojstva. Međutim, treba istaknuti da proizvodnja betona uvelike utječe na okoliš. Slika 1 prikazuje najčešće sastojke betona, odnosno njihov udio u betonu. To su agregat, cement, voda i zrak.⁴



Slika 1: Volumni udio pojedinih sastojaka u betonu i njihova godišnja potrošnja u svijetu

Izvor: Dokšanović, T., Farkaš, M., Njegovanović, N., Tržišna prihvatljivost građevinskog materijala s malim udjelom ugljika – dio I: materijali i mogućnosti smanjenja utjecaja na okoliš, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, Vol.3 No.5, 2012., 1-20.

² Beton: jeftin i dostupan, <http://www.gradimo.hr/clanak/beton-jeftin-i-dostupan/21894>, pristup: 2. 8. 2018.

³ Gržetić, T., Matika, D., Automatizacija procesa proizvodnje betona, POLYTECHNIC & DESIGN, Vol. 3, No. 3, 2015., 274-289.

⁴ Dokšanović, T., Farkaš, M., Njegovanović, N., Tržišna prihvatljivost građevinskog materijala s malim udjelom ugljika – dio I: materijali i mogućnosti smanjenja utjecaja na okoliš, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, Vol.3 No.5, 2012., 1-20.

Kod proizvodnje betona godišnje se u svijetu upotrijebi 10 do 11 milijardi tona agregata, a iskop, obrada i transport tolikih količina iziskuje velike količine energije. Betonska industrija, također, upotrebljava puno svježje vode (jednu milijardu tona godišnje). Iako su navedene brojke iznimno velike, najviše negativno na okoliš djeluje proizvodnja Portland cementa. Za svaku proizvedenu tonu cementa potrebno je potrošiti 1,5 tonu vapnenca, uz fosilna goriva kao energiju u proizvodnji. Godišnje se proizvede 1,6 milijardi tona cementa te je navedena količina proizvedenog cementa odgovorna za 7% ukupnih emisija CO₂ u atmosferu.⁵

2.2. Učinkovito korištenje betona

Beton se može učinkovito koristiti kod gradnje trajnih građevina. Brojne betonske konstrukcije i kolnici izloženi atmosferilijama nisu građeni na način da budu u stanju trajati 30 do 40 godina svojeg projektnog životnog vijeka, već prosječno traju oko polovicu od navedenog vremena. Ako konstrukcije postanu prije vremena neupotrebljive, potrebno je koristiti puno materijala da bi se izgradile nove konstrukcije. Smanjena trajnost može biti uzrokovana brojnim čimbenicima, a neki od njih su⁶:

- neodgovarajući sastav betona
- neodgovarajući postupak betoniranja i njege

Životni vijek konstrukcija može biti produljen ako su konstrukcije napravljene od mješavina betona. Pritom se može koristiti pucolanski cement ili cementni industrijski nusprodukti (leteći pepeo, silicijska prašina ili zgura visokih peći). Također, može se koristiti beton visokih performansi (HPC – high performance concrete). Treba naglasiti da korištenje betona visokih performansi može smanjiti potrebu za cementom, vodom i agregatima u betonu te se na taj način mogu graditi trajnije konstrukcije.

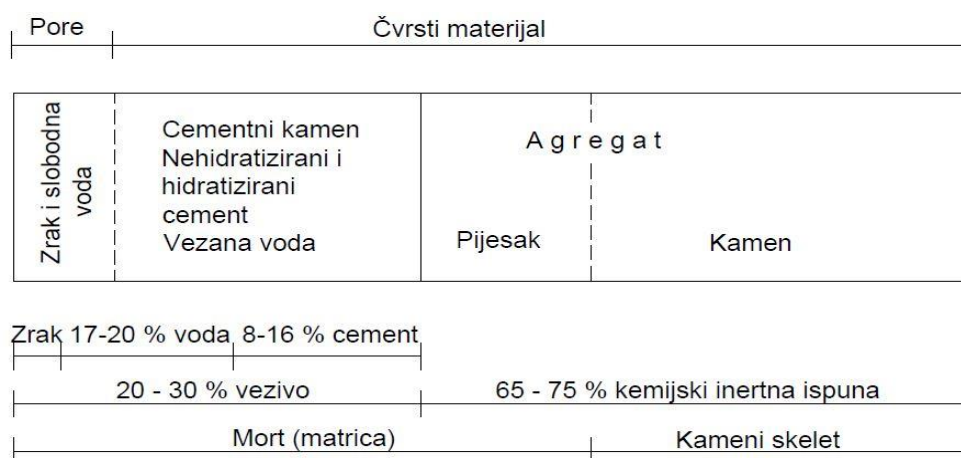
⁵ Dokšanović, T., Farkaš, M., Njegovanović, N., Tržišna prihvatljivost građevinskog materijala s malim udjelom ugljika – dio I: materijali i mogućnosti smanjenja utjecaja na okoliš, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, Vol.3 No.5, 2012., 1-20.

⁶ Dokšanović, T., Farkaš, M., Njegovanović, N., Tržišna prihvatljivost građevinskog materijala s malim udjelom ugljika – dio I: materijali i mogućnosti smanjenja utjecaja na okoliš, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, Vol.3 No.5, 2012., 1-20.

3. SASTOJCI BETONA

Materijali koji se koriste prilikom izrade betona ne smiju imati štetne elemente u količinama koje mogu imati negativan utjecaj na trajnost betona ili koje mogu dovesti do korozije armature. Količine pojedinih sastojka betona moraju biti usklađene sa samom namjenom betona. HRN EN 206-1 je norma pomoću koje se utvrđuje da li se neki posebni materijali mogu koristiti kao sastavni dijelovi betona. Takve dozvolu izdaje nadležno ministarstvo ili institucija koju je ministarstvo odredilo za to.⁷

Beton se sastoji od mješavine većeg broja sastojaka, a to su: cement, voda, pijesak i zrnje stijena. Pijesak i zrnje stijena čine agregat ili granulat, a u smjesi je uvijek prisutan i zrak. Na slici 3 vidi se volumni udio sastojaka betona.



Slika 2: Volumni udio sastojaka betona

Izvor: Izradio student

Osim tih sastojaka često se upotrebljavaju mineralni i kemijski dodaci. Mogu se koristiti kemijski dodaci koji zadovoljavaju uvjete serije norma HRN EN 934. To znači da se mogu koristiti samo oni kemijski dodaci koji imaju potvrdu sukladnosti s uvjetima navedene serije normi, a koju je izdala ovlaštena hrvatska institucija. Ako neki kemijski dodaci nisu obuhvaćeni ovom normom, oni se mogu koristiti samo ako imaju tehničko dopuštenje od ministarstva koje je zaduženo za ovo područje.

⁷ Bezak, S. i sur., Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu. Knjiga 1, Hrvatske vode, Zagreb, 2010.

3.1. Veziva (Cement)

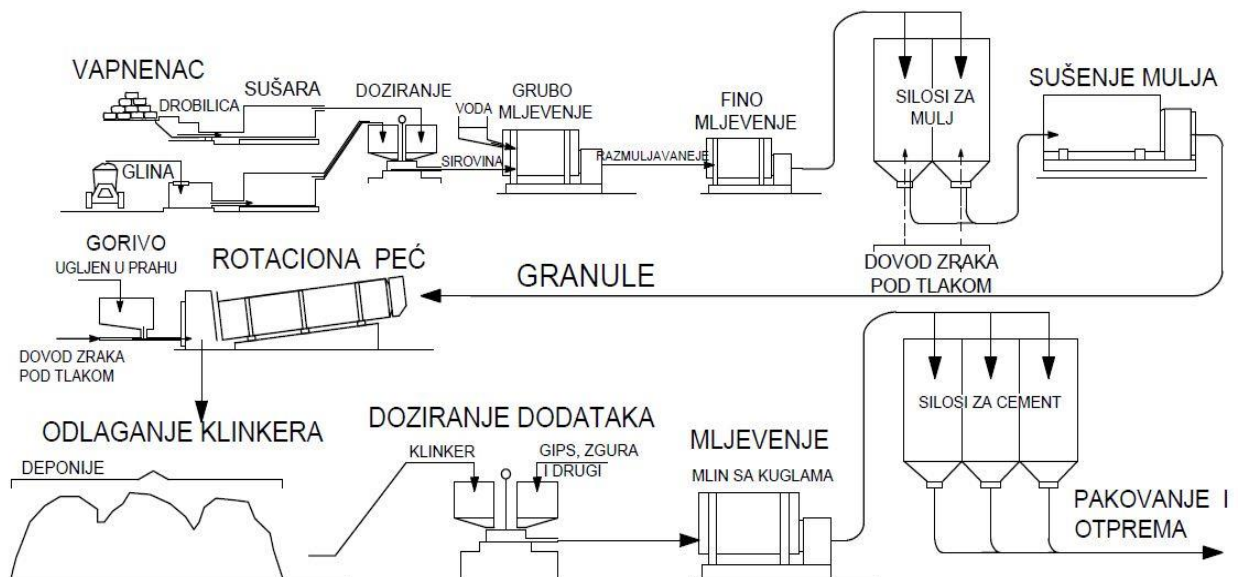
Veziva su praškasti materijali koji pomiješani s vodom stvrdnjavaju u kruti kamen. Veziva se dijele na zračna i hidraulična. Zračna veziva su ona koja (pomiješana sa vodom) stvrdnjavaju samo na zraku i nisu otporna na vodu, a hidraulična ona koja stvrdnjavaju i pod vodom i na zraku, a stvrdnuti su otporni na vodu. U zračna veziva ubrajaju se; ilovača, vapno i sadra (gips). U hidraulična veziva ubrajamo: hidraulično vapno i sve vrste starih i modernih cementa.

Hidraulični cementi se sastoje uglavnom od kalcija, pa se mogu klasificirati kao prirodni cementi. Cementi koji se koriste u građevinarstvu dijele se na vrste i razrede čvrstoće.

Vrste cementa	Opis vrste cementa	Opis oznaka:		
		Oznaka	Kratice oznaka glavnih sastojaka	Maseni udio glavnih sastojaka u cementu (%)
CEM I	Portlanski cement	-	K	95 - 100
CEM II	Miješani portlanski cement	A	K, S, D, P, Q, V, W, T, L, LL	6 - 20
		B		21 - 35
CEM III	Metalurški cement	A	K, S	36 - 65
		B		66 - 80
		C		81 - 95
CEM IV	Pucolanski cement	A	K, S, D, P, Q, V, W	11 - 35
		B		36 - 55
CEM V	Miješani cement	A	K, S, P, Q, V	18 - 30
		B		31 - 50

Opis oznaka glavnih sastojaka:		
K	Klinker	
S	Granulirana zgora visoke peći	
D	SiO ₂ prašina	
P	Pucolan	Prirodni
Q		Prirodno kalcinirani
V	Leteći pepeo	Silicijski
W		Kalcijski
T	Pečeni škriljavac	
L, LL	Vapnenac	

Tablica 1: Opis vrsta cementa i pripadnih oznaka
Izvor: Predavanja iz predmeta Građevinski materijali, Građevinski fakultet u Rijeci



Slika 3: Shema proizvodnje cementa
Izvor: Izradio student

3.2. Agregat

U betonu cement se s vodom veže, kristalizira u otvrdnulu masu koja slijepi i poveže zrnca agregata u jedinstveni blok betona. Cement je aktivna tvar koja povezuje neaktivan agregat pa je jasno da o cementu znatno ovisi kvaliteta betona. Isto tako pogrešno bi bilo misliti da agregat ne utječe bitno na kvalitetu betona. Cement s vodom ne zauzima velik dio volumena betona već služi samo kao "ljepilo" između zrnaca agregata. Najveći dio volumena betona ispunjava agregat (zato ga još i zovemo ispuna). Prema tome jasno je da agregat, kao najveći dio betona bitno utječe na kvalitetu betona. Da bismo dobili zadovoljavajuću kvalitetu betona, agregat treba udovoljiti slijedećim zahtjevima:

- da ima dovoljnu čvrstoću zrna
- da ne utječe na proces vezanja i stvrdnjavanja cementa te da naknadno ne razara otvrdli beton
- da je površina zrna dovoljno hrapava da omogući dobru vezu između cementne paste i zrna

3.3. Aditivi

Aditivi su tvari, najčešće organskog podrijetla, koje u malim količinama dodane u svježu mješavinu, tijekom miješanja ili transporta, modificiraju svojstva svježeg ili očvrsnulog betona, morta ili cementne paste. Dodaju se obično u promilima ili postocima od udjela cementa u mješavini, jer vrlo efikasno kemijskim ili fizikalnim djelovanjem mijenjaju svojstva cementne paste. Njihova uporaba treba biti gospodarski opravdana uštedom skupljih konstituanata betona ili uštedom energije pri gradnji. Neki aditivi imaju dvojno ili višestruko djelovanje, pa u tom slučaju u nazivu na prvom mjestu dolazi njegovo primarno djelovanje na beton. Tako su često puta u upotrebi plastoareant, zaptivač-plastifikator, usporivač-plastifikator itd. Slično kao i za cemente, tako i za aditive obuhvaćene normama mora postojati test o kvaliteti, a to znači, da njihova proizvodnja podliježe stalnoj kontroli proizvođača i stalnoj kontroli neovisne institucije, koju za to imenuje nadležna institucija.

3.4. Zahtjevi za sastav betona

Beton može biti uvjetovan kao⁸:

- projektirani beton
- beton zadanog sastava
- beton normiranog zadanog sastava (uvjetovanog normom).

Projektirani beton je uvjetovan svojstvima svježeg i očvrsnulog betona, beton zadanog sastava je uvjetovan sastavom koji uvjetuje naručitelj, a beton normiranog zadanog sastava je utvrđen odgovarajućom normom. Sastav betona i sastavne materijale za projektirani beton i beton uvjetovan sastavom odabire se na način da zadovoljavaju svojstva uvjetovana za svježi i očvrsnuli beton, uključivo konzistenciju, gustoću, čvrstoću, trajnost, zaštitu ugrađenog čelika od korozije, uzimajući u obzir proizvodni proces i odabrani postupak izvedbe betonskih radova koji uključuju transport, ugradnju, zbijanje, njegovanje i druge tretmane ili obrade ugrađenog betona.⁹

⁸ Bezak, S. i sur., Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu. Knjiga 1, Hrvatske vode, Zagreb, 2010.

⁹ Bezak, S. i sur., Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu. Knjiga 1, Hrvatske vode, Zagreb, 2010.

U situacijama kada nisu pobliže uvjetovani, proizvođač mora odabrati tipove i razrede sastavnih materijali između onih utvrđene uporabljivosti za utvrđene uvjete djelovanja okoline. Beton se treba projektirati na način da se minimalizira segregacija i izdvajanje vode iz svježeg betona ukoliko nije drugačije uvjetovano. Sastav betona određuje se na temelju ranijih ispitivanja ili na temelju novih ispitivanja, a taj sastav mora zadovoljiti zahtjeve koji se stavljaju pred beton u svježem i očvrslulom stanju, a u skladu s namjenom građevine. Proizvođač ili uvjetovatelj sastava betona može imati unaprijed izrađen projekt betona ili može beton napraviti na temelju dugogodišnjeg pozitivnog iskustva.¹⁰

Ako se kreće s izradom novog betona, prethodno se moraju napraviti ispitivanja. Takva se istraživanja izvode na svježem betonu čija temperatura iznosi 15 do 20 °C. Također, važno je ispitati kako pojedini uvjeti betoniranja djeluju na sama svojstva betona. Naime, uvjeti betoniranja mogu imati negativan utjecaj na sam beton, odnosno njegova svojstva i zato oni moraju biti usklađeni s mogućnostima koje pojedina vrsta betona ima.

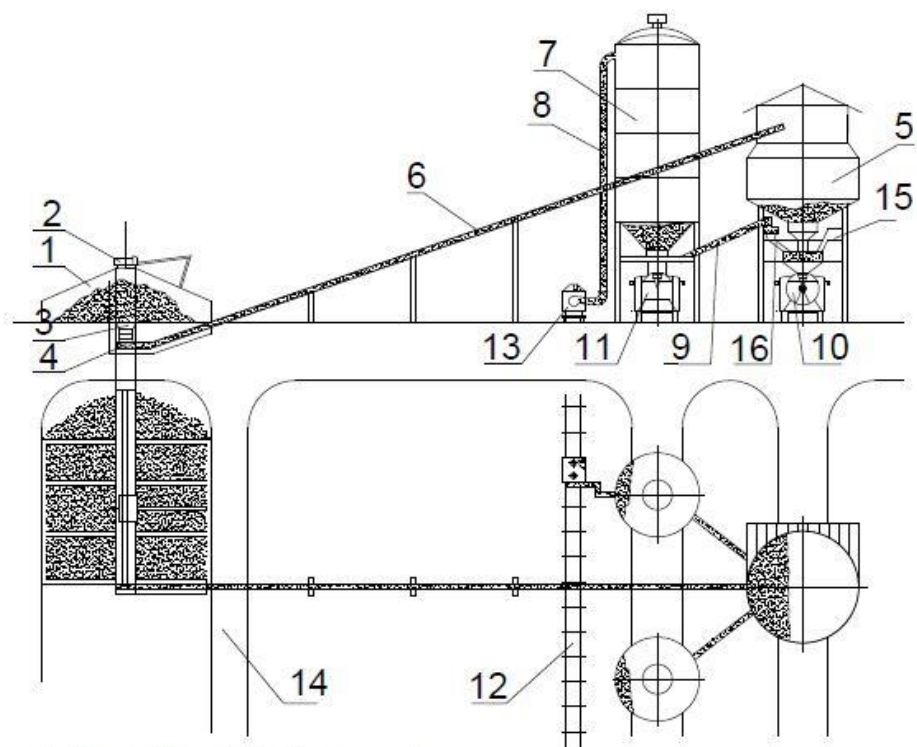
Kod ocjene i prihvaćanja svojstava betona, posebno svojstava svježeg betona, moraju se uzeti u obzir eventualne razlike u tipu miješalice i postupka miješanja primijenjenih pri početnim ispitivanjima i onih u stvarnoj proizvodnji. Tlačna čvrstoća ispitivanog sastava betona treba biti veća od uvjetovane klase najmanje za veličinu potrebe zadovoljenja uvjeta sukladnosti prema Dodatku A norme HRN EN 206-1, tj. oko dva puta veća od očekivane standardne devijacije, ovisno o proizvodnim uvjetima, sastavnim materijalima i dostupnim informacijama o ranijoj ujednačenosti kakvoće.¹¹

¹⁰ Bezak, S. i sur., Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu. Knjiga 1, Hrvatske vode, Zagreb, 2010.

¹¹ Bezak, S. i sur., Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu. Knjiga 1, Hrvatske vode, Zagreb, 2010.

4. PROCES PROIZVODNJE BETONA

Beton se proizvodi u betonari. Postrojenje za proizvodnju betona čini miješalica za beton, silosi, deponija, dozatori, transporter i dr.¹² Tehnološka shema postrojenja betonare prikazana je na Slici 4.



1. Deponija za frakcije agregata
2. Uređaj za ugrtanje materijala
3. Zatvarač za ispuštavanje frakcije betona
4. Horizontalni transporter za dovoz frakcije na kosi transporter
5. Tvornica betona
6. Kosi transporter
7. Silos za cement
8. Gumeno crijevo za transport cementa iz vagona u silos
9. Pužni transporter za cement
10. Auto-mikser
11. Refuler vozilo
12. Kolosijek
13. Vagon
14. Pristupni put
15. Doziranje vode
16. Doziranje cementa

Slika 4: Tehnološka shema postrojenja betonare
Izvor: "Osnove tehnologije betona, Beograd 1978"

¹² Luka Ploče Gradnja d.o.o., Studija utjecaja na okoliš, 2010.,
http://puo.mzopu.hr/UserDocsImages/Sazetak_19_01_2011_1.pdf

Proizvodnja betona je tehnološki postupak koji zahtjeva određenu kvalitetu i ekonomičnost.¹³ Proizvodnja betona odvija se u skladu s normom HRN EN 206-1 sustava kvalitete. Priprema betona u suvremenoj tehnologiji betona odvija se strojnim putem. Obuhvaća radnje doziranja i miješanja komponentnih materijala sve do dobivanja homogene betonske smjese. Beton se proizvodi samo na temelju prethodno definiranih projekata sastava s točno utvrđenim količinama: agregata, cementa, vode i dodataka.¹⁴

Tvornički beton se može smatrati industrijskim proizvodom, skoro u istoj mjeri kao čelik, jer se proizvodi pod takvim uvjetima kontrole kojima se otklanjaju mnoge nesigurnosti i promjene u sastavu i kvaliteti, koje su česte u gradilišnoj proizvodnji betona.

Betonare se obično sastoje od spremišta granulacije, spremnika s cementom, spremnika vode, sustava za dovod vode, spremnika s aditivima, sustava za dovod aditiva i miješalice. Na vrhu deponije agregata nalazi se grabilica koja materijal grabi prema otvoru u koji se ispušta agregat kako bi se mogao izvagati. Senzori omogućuju otvaranje i zatvaranje vrata s obzirom na težinu agregata koji se nalazi na vagi. Kada je ukupna masa agregata na korpi jednaka ukupnoj zadanoj masi agregata, senzor daje signal da se korpu podigne u položaj za pražnjenje.

Na dnu svakog silosa za cement nalazi se elektromotor koji okretanjem puža u cijevi transportira cement na vagu. Betonara za izradu betona koristi vodu. Pumpa na dnu spremnika pumpa vodu na vagu za vodu. Aditivi se nalaze u kontejnerima te se pomoću pumpi dovode na vagu za aditive.¹⁵

Sastavni dio vage je pneumatski ventil koji služi za propuštanje aditiva u miješalicu. Da bi se aktivirala miješalica, moraju biti ispunjeni svi uvjeti za doziranje sastojaka te na vagama moraju biti definirane količine sastojaka, odnosno one moraju odgovarati unaprijed zadanim

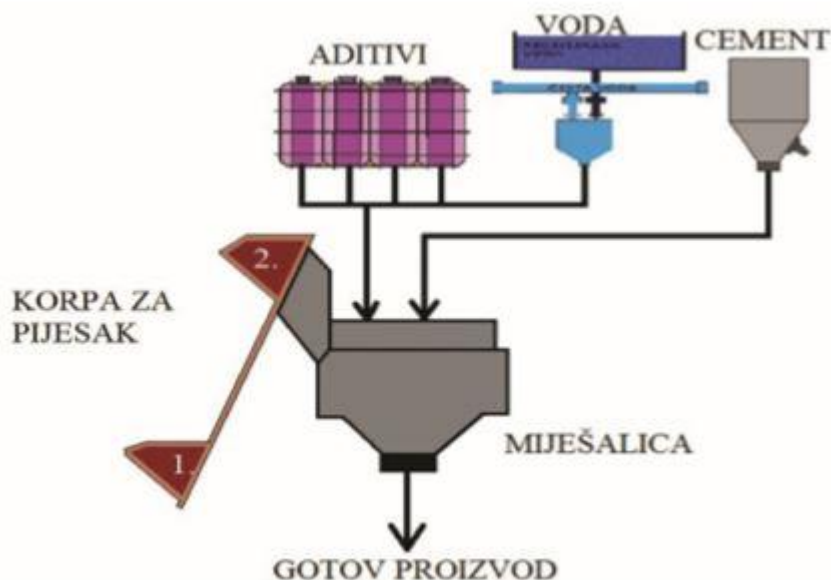
¹³ Tehnologija građenja, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/6_TGV_beton1.pdf

¹⁴ Spravljanje, transport, ugradnja i njegovanje betona, [https://gf.unmo.ba/resources/1/Downloads/Osnove%20tehnologije%20betona/Proizvodnja,%20transprt,%20ugradnja%20i%20njega%20betona%20\[Na%20C4%8Din%20kompatibilnosti\].pdf](https://gf.unmo.ba/resources/1/Downloads/Osnove%20tehnologije%20betona/Proizvodnja,%20transprt,%20ugradnja%20i%20njega%20betona%20[Na%20C4%8Din%20kompatibilnosti].pdf)

¹⁵ Gržetić, T., Matika, D., Automatizacija procesa proizvodnje betona, POLYTECHNIC & DESIGN, Vol. 3, No. 3, 2015., 274-289.

kriterijima. Idući korak je uključivanje miješalice koja se određenim redoslijedom puni sastojcima. Ako tijekom procesa proizvodnje betona dođe do pogreške ili kvara, miješalicu treba zaustaviti, odnosno treba prekinuti proces proizvodnje.

Ovaj proces treba ponavljati tako dugo dok se ne proizvede unaprijed definirana količina betona. Važnu ulogu ima i auto-miješalice koji smjesu betona dodatno miješa tijekom transporta od mjesta proizvodnje do mjesta isporuke¹⁶



Slika 5: Proces proizvodnje betona

Izvor: Gržetić, T., Matika, D., Automatizacija procesa proizvodnje betona, POLYTECHNIC & DESIGN, Vol. 3, No. 3, 2015., 274-289.

¹⁶ Gržetić, T., Matika, D., Automatizacija procesa proizvodnje betona, POLYTECHNIC & DESIGN, Vol. 3, No. 3, 2015., 274-289.

4.1. Tehnološki proces proizvodnje betona

Proizvodnja betona, kao tehnološki postupak, je vrlo jednostavna i odvija se u četiri osnovne faze¹⁷:

- faza punjenja (cement, agregat, voda, dodatak – aditiv)
- faza miješanja
- faza pražnjenja
- faza čišćenja postrojenja.

Beton se proizvodi ubacivanjem sirovina u uređaje za miješanje. Miješalica je uređaj koji iz ulaznih komponenti miješanjem izrađuje beton.¹⁸ Miješalica je centralni dio postrojenja i ima najvažniju funkciju kod proizvodnje betona. Prema načinu djelovanja miješalice se dijele na¹⁹:

- gravitacijske – miješanje materijala se obavlja kroz rotaciju bubnja, naizmjeničnim podizanjem i padanjem materijala u bubnju te mogu imati horizontalnu i koso položenu osovinu bubnja
- prinudne – miješanje se odvija pomoću pokretne osovine te mogu imati horizontalnu i vertikalnu osovinu.



Slika 6; Primjeri miješalica za beton

Izvor: Mulavdić, E., Postrojenje – sredstva za proizvodnju svježeg betona,

<http://www.gf.unsa.ba/portal/tehiorggradjenja/TIOGpred11.pdf>

¹⁷ Luka Ploče Gradnja d.o.o., Studija utjecaja na okoliš, 2010., http://puo.mzopu.hr/UserDocsImages/Sazetak_19_01_2011_1.pdf

¹⁸ Luka Ploče Gradnja d.o.o., Studija utjecaja na okoliš, 2010., http://puo.mzopu.hr/UserDocsImages/Sazetak_19_01_2011_1.pdf

¹⁹ Mulavdić, E., Postrojenje – sredstva za proizvodnju svježeg betona, <http://www.gf.unsa.ba/portal/tehiorggradjenja/TIOGpred11.pdf>

Miješalice se pokreću ponovno elektromotora, a u radu je za vrijeme ubacivanja sirovina potrebnih za proizvodnju betona. Proces proizvodnje betona započinje nakon unošenja recepture betona u program betonare. Kruti sastavni materijali (cement, agregat i praškasti dodaci) obavezno se dodaju težinski, a tekući (voda i tekući dodaci) dodaju se volumenski.

Betonske mješavine se rade unutar zatvorenog sustava te se pritom automatski dozira kameni agregat i cement. U mokrom postupku koristi se voda. Proces uključuje automatsko povlačenje frakcija kamenog agregata u uređaj za miješanje. Na tom putu frakcije kamenog agregata moraju prijeći preko vage agregata.²⁰

Preciznost i točnost vaganja moraju se svakodnevno provjeravati, a baždarenje vaga treba obavljati za to ovlaštena institucija. Osim točnog vaganja komponenta betona, važno je, da se one doziraju ispravnim redoslijedom u bubanj miješalice. U što kraćem vremenu doziranja, miješanja i pražnjenja bubnja treba se dobiti homogena smjesa ujednačene kvalitete betona. Beton se treba miješati sve dok se dobro ne homogenizira tako da u svakom svom dijelu ima podjednaka svojstva u očvrslom stanju.²¹

Sveukupno vrijeme od doziranja sirovina do pražnjenja betona traje manje od 2 minute. Kapaciteti strojeva i radne ekipe pojedinih faza procesa proizvodnje betona trebaju biti dobro usklađeni. Od prijema pojedinih sastojaka pa do konačne isporuke svježeg betona neprestano se obavljaju svakodnevne, tjedne i druge povremene kontrole ulaznih materijala i dijelova postrojenja.²²

²⁰ Luka Ploče Gradnja d.o.o., Studija utjecaja na okoliš, 2010., http://puo.mzopu.hr/UserDocsImages/Sazetak_19_01_2011_1.pdf

²¹ Luka Ploče Gradnja d.o.o., Studija utjecaja na okoliš, 2010., http://puo.mzopu.hr/UserDocsImages/Sazetak_19_01_2011_1.pdf

²² Luka Ploče Gradnja d.o.o., Studija utjecaja na okoliš, 2010., http://puo.mzopu.hr/UserDocsImages/Sazetak_19_01_2011_1.pdf

5. OPIS POSTUPAKA ISPITIVANJA KONZISTENCIJE SVJEŽEG BETONA PREMA HRN EN (SLIJEGANJE, RASPROSTIRANJE)

Pojam konzistencija podrazumijeva skup svojstava svježeg betona koja su od značaja za njegovu ugradljivost i obradivost. Ocjena ugradivosti o obradivosti najčešće se izvodi na temelju tri pokazatelja: pokretljivosti, krutosti i povezanosti betonske smjese. Svi ovi pokazatelji istovremeno su i parametri na temelju kojih se definira konzistencija. Iz navedenog razloga govori se o:

- krutoj konzistenciji
- slabo plastičnoj konzistenciji
- plastičnoj konzistenciji
- tekućoj konzistenciji.

Ispitivanje konzistencije svježeg betona radi se pomoću slijedećih metoda²³:

- metode slijeganja
- metode rasprostiranja
- VEBE metode
- metode slijeganja vibriranjem.

²³ Tomašević-Toske, M., Ispitivanje konzistencije svježeg betona,
http://www.academia.edu/8214539/Ispitivanje_konzistencije_svezeg_betona

5.1. Metoda slijeganja

Konzistencija svježeg betona može se odrediti ispitivanjem slijeganja prema normi HRN EN 12350-2:2009. Za zbijanje svježeg betona koristi se limeni kalup. On mora biti u obliku šupljeg krnjeg stošca²⁴



Slika 7: Kalup za ispitivanje slijeganja betona

Izvor: Ispitivanje svježeg betona – slijeganje,

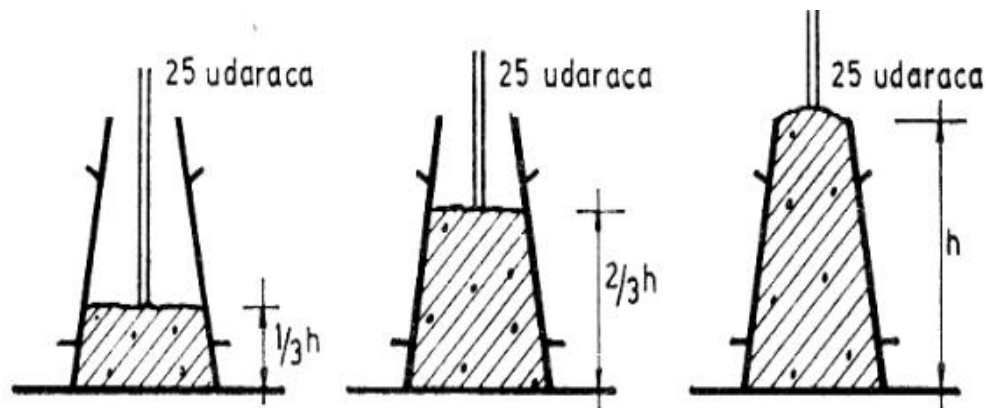
https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Primjer_-_uputa_zs_iskpitivanje.pdf

Uzorak betona mora biti usklađen s HRN EN 12350-1, odnosno UP-HRN EN12350-1. Prije nego što se provodi ispitivanje, ponovno se izmiješa lopaticom u spremniku za premješanje. Unutrašnjost kalupa i podloga navlaže se mokrom krpom i kalup se postavi na horizontalnu podlogu širim krajem prema dolje. Kada se kalup puni, treba se čvrsto držati uz podlogu.

Kalup se puni uzorkom svježeg betona u tri sloja gdje je svaki sloj otprilike visine 1/3 kalupa kada je zbijen. Svaki sloj se zbija s 25 udarca šipke za zbijanje (Slika 9). Udarci trebaju biti ravnomjerno raspoređeni po cijelom poprečnom presjeku sloja.²⁵

²⁴ Ispitivanje svježeg betona – slijeganje, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Primjer_-_uputa_zs_iskpitivanje.pdf

²⁵ Ispitivanje svježeg betona – slijeganje, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Primjer_-_uputa_zs_iskpitivanje.pdf



Slika 8: Punjenje i nabijanje betona u kalupu

Izvor: Ispitivanje svježeg betona – slijeganje,

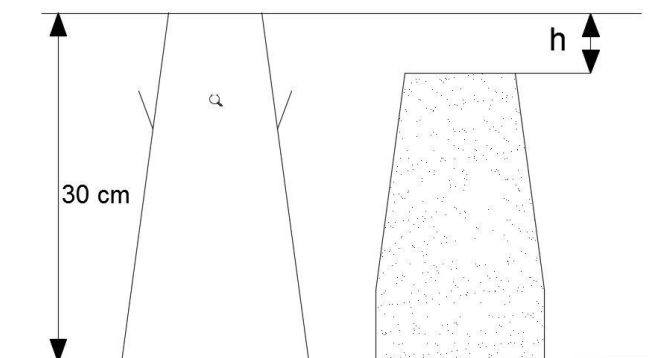
https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Primjer_-_uputa_zs_ispitivanje.pdf

Za zbijanje donjeg sloja nužno je nagnuti šipku te zbijati beton okretima šipke spiralno prema središtu kalupa. Drugi sloj i gornji sloj zbijaju se svojom cijelom visinom na način da nabijanja prodru samo u sloj koji je neposredno ispod. Gornji sloj (zadnji) treba napuniti preko ruba kalupa prije zbijanja šipkom. Ako nakon zbijanja nedostaje betona do gornjeg ruba kalupa, potrebno je dopuniti kalup betonom.²⁶

Valjanjem šipke za nabijanje izravnava se površina betona te se pritom višak betona mora maknuti. Kalup se mora maknuti tako da se podigne prema gore. Optimalno trajanje podizanja kalupa je od dvije do pet sekundi. Pritom se treba paziti da se ne dodirne oblikovan stožac betona. Cijeli ovaj postupak optimalno traje do 150 sekundi. Slijedi mjerenje slijeganja (h) na način da se odredi razlika između visine kalupa i najviše točke slegnutog uzorka (Slika 10). Izmjerena vrijednost zaokružuje se na bližih 10 mm.²⁷

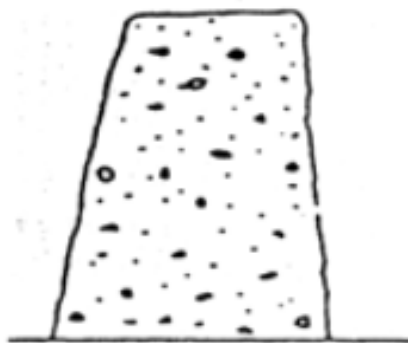
²⁶ Ispitivanje svježeg betona – slijeganje, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Primjer_-_uputa_zs_ispitivanje.pdf

²⁷ Ispitivanje svježeg betona – slijeganje, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Primjer_-_uputa_zs_ispitivanje.pdf



Slika 9: Ispitivanje konzistencije svježeg betona slijeganjem
Izvor: Izradio student

Ispitivanje je dobro ako je rezultat pravilno slegnut beton (Slika 10). Beton treba ostati čitav i simetričan.



Slika 10: Pravilno slijeganje

Izvor: Ispitivanje svježeg betona – slijeganje,

https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Primjer_-_uputa_zs_ispitivanje.pdf

Ako dođe do smičnog slijeganja (Slika 12), treba uzeti novi uzorak i ispitivanje ponoviti. Pokažu li se na dva ispitivanja za redom smično slijeganje, to znači da beton nije dovoljno plastičan i kohezivan te ispitivanje slijeganjem nije dobra metoda za određivanje razreda konzistencije takvog betona.²⁸

²⁸ Ispitivanje svježeg betona – slijeganje, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Primjer_-_uputa_zs_ispitivanje.pdf



Slika 11: Smično slijeganje

Izvor: Ispitivanje svježeg betona – slijeganje,
https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Primjer_-_uputa_zs_ispitivanje.pdf

5.2. Metoda rasprostiranja

Za ispitivanje konzistencije svježeg betona pomoću metode rasprostiranja koristi se Abramsov kalup. Abramsov kalup je izrađen u obliku krnjega stošca visine 20 cm.

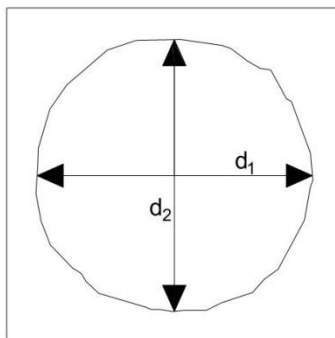


Slika 12: Oprema za ispitivanje rasprostiranja svježeg betona

Izvor: Tomašević-Toske, M., Ispitivanje konzistencije svežeg betona,
http://www.academia.edu/8214539/Ispitivanje_konzistencije_svezeg_betona

Postupak ispitivanja počinje tako da se stožac puni betonom u dva sloja, pri čemu se drvenim nabijačem svaki sloj zbija s deset ravnomjerno raspoređenih udaraca.

Površina gornjeg sloja se ravna ako je potrebno. Nakon 30 s kalup se podiže vertikalno (podizanje traje od 3 do 6 s). Zatim se podložna ploča pušta da 15 puta slobodno pada s visine od 4 cm. potreban je Grafov stol koji omogućava slobodan pad uzorka betona s visine od 4 cm. Nakon toga dobijemo rasprostranjenu betonsku masu kružnog oblika, kojoj se mjeri promjer u dva okomita smjera zaokruženih na bližih 10 mm.



Slika 13: Ispitivanje konzistencije svježeg betona rasprostiranjem

Izvor: Izradio student

Mjera rasprostiranja je srednja vrijednost dva izmjerena promjera zaokruženih na najbližih 10 mm. Za tanke betone kao i za betone koji imaju krutu konzistenciju ova metoda nije najbolje rješenje dok je za betone s plastičnom i tekućom konzistencijom prikladna.²⁹

Razred	Promjer rasprostiranja u mm
F1	≤ 340
F2	350 do 410
F3	420 do 480
F4	490 do 550
F5	560 do 620
F6	≥ 630

Tablica 2: Klase konzistencije kod metode rasprostiranja prema HRN EN 206-1

Izvor: Tomašević-Toske, M., Ispitivanje konzistencije svježeg betona,
http://www.academia.edu/8214539/Ispitivanje_konzistencije_svezeg_betona

²⁹ Tomašević-Toske, M., Ispitivanje konzistencije svježeg betona,
http://www.academia.edu/8214539/Ispitivanje_konzistencije_svezeg_betona

6. OPIS POSTUPKA UGRADNJE I ZBIJANJA BETONA

Beton se ugrađuje u prethodno pripremljene kalupe (oplate) koji mogu biti od drveta, metala, plastičnih masa, gume, betona ili kombinacije nekih od navedenih materijala.³⁰ Ugradnja svježeg betona podrazumijeva 0 logističke i tehničko-tehnološke postupke koji moraju omogućiti kvalitetnu pretvorbu svježeg (tekućeg) betona u kvalitetni stvrdnuti beton, kvalitetnu armiranobetonsku konstrukciju traženog oblika i tražene nosivosti. Ovim postupkom trebaju se realizirati slijedeća fizičko-mehanička i strukturalna obilježja očvrstnalog betona³¹:

- što veća čvrstoća (u načelu veća od tražene)
- što veća gustoća betona
- što homogenija unutrašnja struktura betona
- što manje šupljina u betonu
- što jednoličnija unutrašnja struktura betona
- što zatvorenija površina vanjskih ploha betona
- što bolji izgled vanjskih ploha betona.

6.1. Ugradnja svježeg betona

Ugradnja betona podrazumijeva obavljanje slijedećih radnji:

- razastiranje ili punjenje oplate
- zbijanje (kompaktiranje)
- završna obrada.

Beton se puni u prethodno pripremljene kalupe koji se moraju jednostavno montirati i demontirati te moraju omogućiti kvalitetnu ugradnju, odnosno da bude hermetički zatvorena te

³⁰Beton, [https://gf.unmo.ba/resources/1/Downloads/Osnove%20tehnologije%20betona/Proizvodnja,%20transprt,%20ugradnja%20i%20njega%20betona%20\[Na%C4%8Din%20kompatibilnosti\].pdf](https://gf.unmo.ba/resources/1/Downloads/Osnove%20tehnologije%20betona/Proizvodnja,%20transprt,%20ugradnja%20i%20njega%20betona%20[Na%C4%8Din%20kompatibilnosti].pdf)

³¹ Ugradnja svježeg betona (vibratori), https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/09-3-beton-ugradba.pdf

da ne dolazi do gubitka mase kod betoniranja. Kalup, odnosno oplata daje oblik konstrukciji i ne smije doći do oštećenja u postupku njegovog skidanja.³²



Slika 14: Primjer oplata za beton

Izvor: Beton,

[https://gf.unmo.ba/resources/1/Downloads/Osnove%20tehnologije%20betona/Proizvodnja,%20transprt,%20ugradnja%20i%20njega%20betona%20\[Na%20C4%8Din%20kompatibilnosti\].pdf](https://gf.unmo.ba/resources/1/Downloads/Osnove%20tehnologije%20betona/Proizvodnja,%20transprt,%20ugradnja%20i%20njega%20betona%20[Na%20C4%8Din%20kompatibilnosti].pdf)

Da bi beton bio što homogenije ugrađen u oplatu, sa što manje šupljina, zračnih i vodenih mjehurića i time postigao što bolju čvrstoću i dobar izgled, potrebno je aktivirati ga, odnosno potaknuti masu tako da svako zrno zauzme ispravan položaj. Važan faktor za postizanje visoke kvalitete je ispravno zbijanje betona. Prilikom zbijanja svježeg betona mogu se koristiti slijedeće metode:

- vibriranje
- centrifugiranje
- vakumiranje
- prešanje.

³² Ugradnja i nega betona, <http://www.bis.org.rs/sr-lat/o-betonu/ugradnja-i-nega-betona>

Vibriranje je najrasprostranjenija metoda zbijanja svježeg betona. Tijekom procesa vibriranja dolazi do „pakiranja“ čestica i istiskivanja zraka. Nakon završetka postupka obično ostaje 1 do 3% zraka, a zapreminska masa se povećava na projektnu vrijednost. Intenzitet vibriranja karakteriziraju amplituda i frekvencija osciliranja. Za beton s vrlo velikim agregatom (D=50-70 mm) potrebna je mala frekvencija te visoke amplitude osciliranja. Za ovakve betone se koriste niskofrekventni vibratori. Za beton s agregatom srednje krupnoće (D=10-15 mm) koriste se vibratori srednjih frekvencija i srednjih amplituda, a za sitnozrne betone obično se koriste vibratori visokih frekvencija i niskih amplituda.³³

Centrifugiranje je metoda kod koje se kalup zajedno s betonskom smjesom rotira oko uzdužne osi. Uslijed brzine rotacije, a pod djelovanjem centrifugalne sile, betonska smjesa raspoređuje se prema vanjskoj strani kalupa i pritiskajući je raspoređuje se u sloj ravnomjerne debljine. Za centrifugiranje treba koristiti beton manjeg vodocementnog faktora i agregat s manjom veličinom zrna. Ovom tehnologijom ugradnje betona najčešće se proizvode električni stupovi i betonske cijevi za veće pritiske te šuplji nosači greda.

Vakumiranje se najčešće primjenjuje u kombinaciji s vibriranjem. Cilj ovog postupka je da se iz već izlivenog betona u kalup odstrani višak vode. Nešto više se koristi kod betoniranja odvodnih kanala i kanalizacijskih kolektora te kod betoniranja zidanih montažnih elemenata, ali i kod izgradnje betonskih puteva i podova.

Prešanje je metoda koja se, također, ne primjenjuje pojedinačno, već se koristi u kombinaciji s vibriranjem i vakumiranjem. Beton s nižim vodocementnim faktorom istovremeno se izlaže vibracijama i prešanju. Na taj se način povećava zbijenost, odnosno gustoća betona, a samim time povećava se i njegova čvrstoća.³⁴

³³ Ugradnja i nega betona, <http://www.bis.org.rs/sr-lat/o-betonu/ugradnja-i-nega-betona>

³⁴ Ugradnja i nega betona, <http://www.bis.org.rs/sr-lat/o-betonu/ugradnja-i-nega-betona>

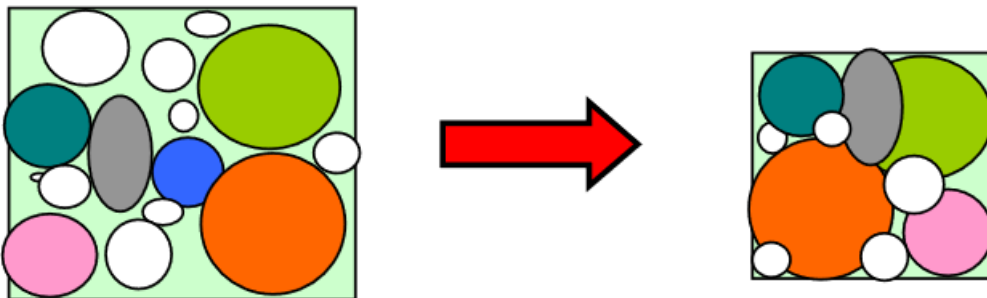
6.2. Sredstva za zbijanje betona

Svježi beton kao specifičan materijal zbija se pomoću različitih uređaja, ovisno o sastavu i konzistenciji betona³⁵:

- „suha“ i „kao zemlja vlažna“ konzistencija, kao kod tzv. uvaljanog betona traži primjenu vibracijskog valjka ili vibroploče
- plastična konzistencija traži primjenu vibratora za beton
- tekuća konzistencija kao kod „prskanog“ betona traži ugradnju kroz dinamični udar mlaza betona čime se vrši njegovo zbijanje
- poseban slučaj je korištenje betonskog topa gdje se beton „slaboplastične“ konzistencije ugrađuje (zbija) jakim dinamičnim udarom, tzv. hitcem
- iznimno, ugradnja betona plastične konzistencije pod pritiskom može se raditi transportnim sredstvom, odnosno pumpom za beton ukoliko je prostor za ugradnju ili oplata potpuno zatvorena (primjerice, betoniranje tunelske obloge)
- specijalno, kod podvodnog betoniranja koristi se tzv. kontraktor, odnosno postupak za ugradnju i zbijanje betona vlastitom težinom
- u najnovije vrijeme koristi se tzv. samozbijajući beton koji se ne vibrira. Bit ovog betona je u velikoj plastičnosti koja se postiže izborom agregata s određenim granulometrijskim sastavom i odgovarajućim dodacima betonu.

Svježi beton se zbija kako bi se istisnula voda, odnosno zrak iz šupljina. Na ova mjesta trebaju doći supstance cementne mase i zrnca agregata.

³⁵ Mulavdić, E., Sredstva za ugradnju/zbijanje zemljanih i drugih materijala, <http://www.gf.unsa.ba/portal/tehiorgradjenja/TIOGpred8.pdf>



Slika 15: Zbijanje betona vibracijom

Izvor: Mulavdić, E., Sredstva za ugradnju/zbijanje zemljanih i drugih materijala,
<http://www.gf.unsa.ba/portal/tehiorggradjenja/TIOGpred8.pdf>

Vibratori se prema konstrukciji i načinu prenošenja vibracija dijele na:

- unutarnje vibratore – konstrukcija igličasta, imaju direktan prijenos vibracija u masu svježeg betona
- površinski vibratori – imaju direktan prijenos vibracija na površinu
- oplatne vibratore – indirektno se preko oplata prenose vibracije na površinu.

7. OPIS POSTUPAKA ISPITIVANJA OČVRSNULOG BETONA

Prilikom određivanja karakteristika betona u očvrslom stanju ispituje se tlačna čvrstoća betona, vlačna čvrstoća savijanjem, vodopropusnost, plinopropusnost, otpornost na habanje te ostala svojstva sukladno zahtjevima konkretnog projekta. U nastavku su detaljnije opisani postupci ispitivanja tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće savijanjem i vodopropusnosti.

7.1. Određivanje tlačne čvrstoće betona

Ispitivanje tlačne čvrstoće betona vrši se prema normi HRN EN 12390-3, a uzorci se izrađuju sukladno s normom HRN EN 123390-2 u obliku kocke dimenzije 150x150x150 mm ili cilindra dimenzija $\varnothing/h=150/300$ mm, čuvanih 28 dana na temperaturi od $20\pm 2^\circ\text{C}$, u vodi ili prostoru relativne vlažnosti najmanje 95%. Prije samog ispitivanja neravne površine uzorka treba izravnati brušenjem ili premazati izravnavajućim slojem.

S uzorka treba ukloniti površinsku vlažnost, a za ispitivanje se koristi preša koja mora biti podešena sukladno s normom HRN EN 123390-4.

Uzorak se površinski očisti prije stavljanja u prešu. Ako se ispituju uzorci u obliku kocke, u prešu se stavljaju okomito na smjer ugradnje te se trebaju staviti u sredinu preše da bi opterećenje koje se nanosi bilo ujednačeno. Opterećenje se nanosi jednoliko i bez udara te treba biti između 0,2 i 1,0 N/mm²s. Tlačna čvrstoća betona izračunava se prema slijedećoj formuli:³⁶

$$f_c = \frac{F}{A_c} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

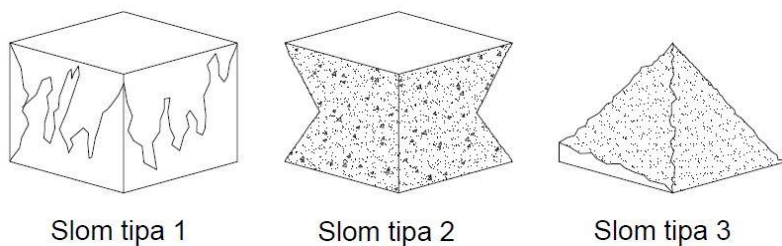
gdje je:

f_c – tlačna čvrstoća betona [N/mm²]

F – maksimalno opterećenje pri slomu [N]

A_c – površina uzorka [mm²]

Maksimalno opterećenje pri kojem je došlo do sloma se zabilježi kao rezultat ispitivanja. Postoje tri vrste sloma koje je potrebno zabilježiti.



Slika 16: Tip sloma uzorka kod tlačnog opterećenja

Izvor : Izradio student

Karakteristična tlačna čvrstoća utvrđena ispitivanjem mora biti jednaka ili veća od karakteristične tlačne čvrstoće za zahtijevani razred tlačne čvrstoće.

³⁶ Vujica, M., Samozbijajući ekološki održivi betoni; Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2011.

<i>Razredi tlačne čvrstoće za obične i teške betone</i>			<i>Razredi tlačne čvrstoće za lagane betone</i>		
Razred tlačne čvrstoće	Najmanja karakteristična čvrstoća valjka, $f_{ck, valj}$ (N/mm ²)	Najmanja karakteristična čvrstoća kocke, $f_{ck, koc}$ (N/mm ²)	Razred tlačne čvrstoće	Najmanja karakteristična čvrstoća valjka, $f_{ck, valj}$ (N/mm ²)	Najmanja karakteristična čvrstoća kocke, $f_{ck, koc}$ (N/mm ²)
C 8/10	8	1	LC 8/9	8	9
C 12/15	12	15	LC 12/13	12	13
C 16/20	16	20	LC 16/18	16	18
C 20/25	20	25	LC 20/22	20	22
C 25/30	25	30	LC 25/28	25	28
C 30/37	30	37	LC 30/33	30	33
C 35/45	35	45	LC 35/38	35	38
C 40/50	40	50	LC 40/44	40	44
C 45/55	45	55	LC 45/50	45	50
C 50/60	50	60			

Tablica 3: Normirani razredi tlačne čvrstoće betona za konstrukcije i elemente od betona

Izvor: Izradio student

7.2. Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem

Čvrstoća betona na savijanje ispituje se na uzorcima u obliku prizme čije su dimenzije:

$$d_1 = d_2 = d = 100$$

$$l = 3d, L \geq 3,5 d$$

Gdje je:

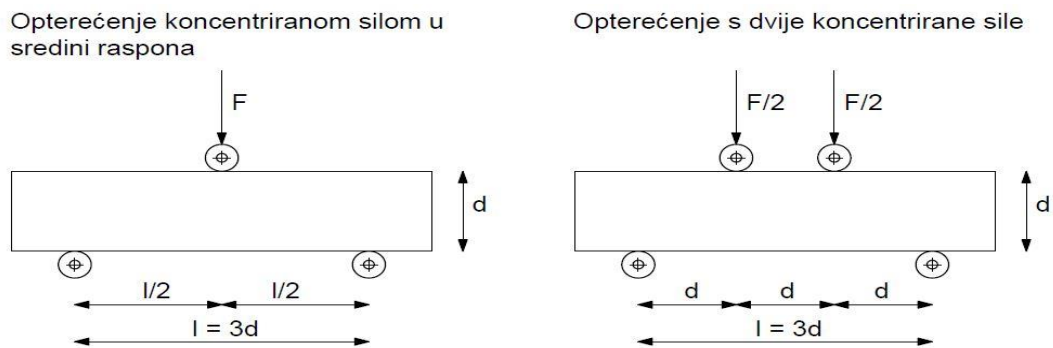
d_1 - širina poprečnog presjeka uzorka

d_2 - visina poprečnog presjeka uzorka

l - udaljenost oslonca

L - ukupna duljina uzorka

Uzorci se opterećuju koncentriranom silom $F(N)$ do sloma, te se ta veličina bilježi kao rezultat ispitivanja. Opterećenje se mora nanositi bez udara, jednoliko, i mora biti između 0,04 i 0,06 MPa/s. Ispitivanje uzoraka se može provoditi na dva načina kao što je prikazano na slici 18.



Slika 17: Ispitivanje čvrstoće betona na savijanje
Izvor: Izradio student

PRORAČUN ČVRSTOĆE BETONA NA SAVIJANJE

a) za opterećenje koncentriranom silom u sredini raspona

$$f_{cf} = \frac{3xFl}{2xd_1xd_2^2}$$

b) za opterećenje sa dvije koncentrirane sile

- ako prelom nastupi u srednjoj trećini raspona

$$f_{cf} = \frac{Fl}{d_1xd_2^2}$$

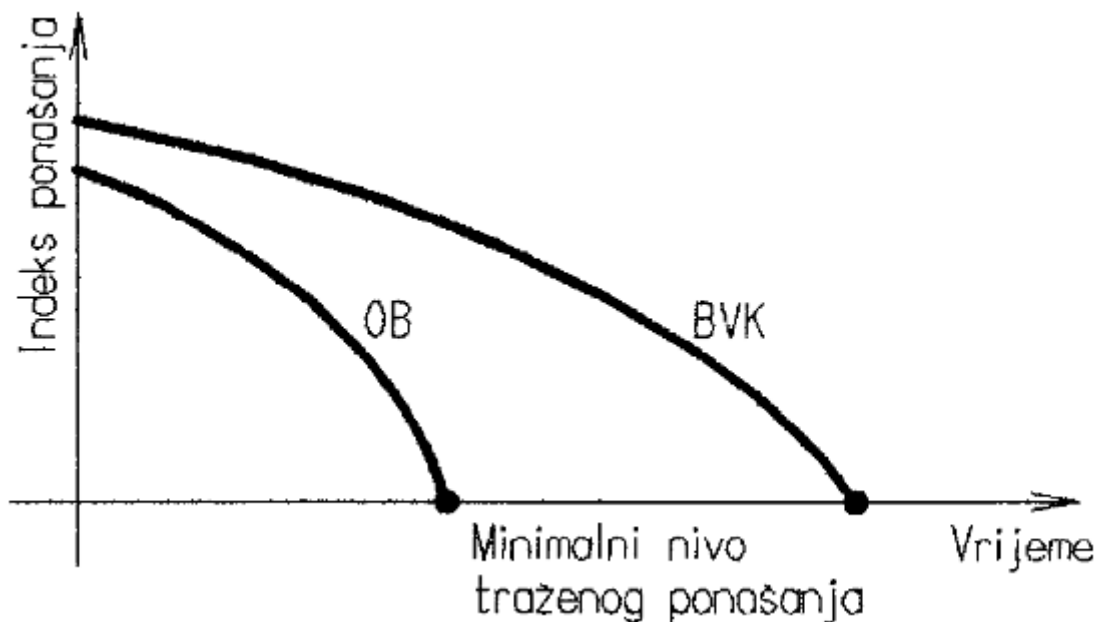
- ako prelom nastupi izvan srednje trećine raspona

$$f_{cf} = \frac{3xFxa}{d_1xd_2^2}$$

8. POSEBNE VRSTE BETONA I MOGUĆNOSTI PRIMJENE

8.1. Beton visoke kvalitete

Beton visoke i vrlo visoke kvalitete je beton visoke čvrstoće i visoke nepropusnosti, a time i visoke trajnosti. Prije nešto više od dvadeset godina pojavio se beton visokih čvrstoća, koje su iznad 60 MPa, u izvedbi tlačno jako opterećenih vertikalna visokih građevina. Ovaj se beton dobiva kroz dva paralelna postupka. Jedan od tih postupaka je dodatak kemijskih sredstava, tzv. superplastifikatora pomoću kojih se reducira dodavanje vode. Na taj se način osigurava dovoljna i/ili visoka ugradljivost betona. Slijedeći dodatak su reaktivni silicijski praškasti materijal koji imaju finoću od 50 do 100 puta veću od finoće koju ima cement. Oni povećavaju gustoću i čvrstoću cementnog kamena, ali i homogeniziraju i povećavaju čvrstoću veze između cementnog kamena i zrna agregata. Na taj se način trajnost betonskih konstrukcija s uobičajenih 30 do 40 t godina produžuje na oko 75 godina (Slika 18), a ako se primjenjuju dodatne mjere zaštite životni vijek može biti i sto godina.



Slika 18: Očekivani vijek trajanja betonskih konstrukcija u običnom betonu i u betonu visoke kvalitete (OB i BVK)

Beslač, J., *Beton u novom stoljeću*, Građevinar, 54(1), 15-22, 2002.

8.2. Betoni s polimerima

Obični beton omogućava prolaz vlage, kisika i klorida do armature te poradi navedenog dolazi do korozije,. Osnovni razlog za upotrebu polimerom modificiranih betona u građevinarstvu je poboljšanje adhezije i vodonepropusnosti, a istodobno se poboljšava i zaštita armature od korozije.³⁷

Polimerom modificirani betoni podrazumijevaju onu vrstu betona kod kojih se tijekom miješanja dodaje polimer dispergirani u vodi ili se može koristiti u praškastom obliku. Polimeri su kemijski inertni u odnosu na cement te imaju veću vlačnu i tlačnu čvrstoću. Manje su elastični i zato su skloni deformacijama.

Dodavanjem polimerne disperzije svježem se betonu poboljšava obradivost, odnosno kohezija, kut močenja na podlogu, zagladivost i dr. U očvrnulom stanju poboljšava mu se prionljivost (adhezija) na podlogu, povećava se nepropusnost za fluide i povećava se istezljivost, odnosno smanjuje se modul elastičnosti, a povećava se koeficijent puzanja. Također, povećava se otpornost na udar i otpor ulaska agresivnih tvari te otpornost na djelovanje smrzavanja i odmrzavanja i soli za odleđivanje.³⁸

U SAD-u je više od 8000 kolničkih ploča za mostove izvedeno od ove vrste betona, bilo da se radi o novim konstrukcijama ili sanacijama oštećenih kolnika. Najčešće se koristi stirenbutadijenski polimer. Polimerom modificirani beton koristi se i kod industrijskih podova koji su izloženi velikim opterećenjima te kod unutrašnjih i vanjskih zidova za izolaciju i završnu obradu za lijepljenje pločica, ali i za sanaciju oštećenih površina. Bitna karakteristika ovog betona je njegova veća trajnost i otpornost na utjecaje okoline. U betonu polimeri se koriste za tri vrste kompozita³⁹:

- polimerom impregnirani beton
- polimerni beton
- polimerom modificirani beton

³⁷ Banjad Pečuri, I. I sur., *Ispitivanje polimerom modificiranog betona nerazornim metodama*, Građevinar 61(7), 655-662, 2009.

³⁸ Beton: jeftin i dostupan, <http://www.gradimo.hr/clanak/beton-jeftin-i-dostupan/21894>, pristup: 2. 8. 2018.

³⁹ Beton: jeftin i dostupan, <http://www.gradimo.hr/clanak/beton-jeftin-i-dostupan/21894>, pristup: 2. 8. 2018.

8.3. Ferocement

Ferocement je jedan od oblika armiranog betona, no bitno se drugačije armira od konvencionalnog betona. Princip je takav da se postave šipke armature prema zamišljenom obliku konstrukcije na koje se postavljaju pletene žičane mreže. Potom se nanosi ručno ili strojno cementni mort. Mort se radi od cementa i pijeska maksimalnog zrna do 2 mm. Utiskivanje morta u šupljine među mrežama treba obaviti pažljivo kako ne bi ostale šupljine u strukturi.⁴⁰

Ferocement u kontekstu trajne oplata za armirane betonske elemente daje mogućnost postizanja željene duktilnosti i robusnosti konstrukcije. Također, na taj se način brže gradi. Trajna ferocementna oplata može se djelomično ili potpuno povezati s običnim armiranim betonskim elementima. Time se dobiva njihova veća djelotvornost.⁴¹

Ferocement se ponaša nelinearno, a razlog tome je u karakteristikama ovog materijala, ali i u kompleksnosti veza koje postoje između žičane mreže i betona. Svojstva ferocementa prikazana su u Tablici 5.

Opis materijala	Svojstva	Karakteristične vrijednosti
Cement	Relativna gustoća	3,12
	Tip	Puzolanski portland cement (PPC)
Sitnozrnati agregat	Relativna gustoća	2,56
	Modul finoće	2,51
	Veličina	Prolazi kroz sito veličine 2,36 mm
Krupnozrnati agregat	Relativna gustoća	2,71
	Maksimalna veličina	20 mm
Žičana mreža	Veličina	Promjer 2 mm, kvadratni otvor: 12,5 mm x 12,5 mm
	Granica popuštanja	390 N/mm ²
Omjeri sastojaka za mort	1:3, v/v omjer = 0,45	
Omjeri sastojaka za beton M20	1:1,49:3,36 s v/v omjerom = 0,5	

Tablica 4: Svojstva ferocemenata

Izvor: Kumarasamy, S. I sur., Eksperimentalna i numerička analiza ferocementnog ab kompozita, Građevinar 10(1), 915-922, 2017.

⁴⁰ Beton: jeftin i dostupan, <http://www.gradimo.hr/clanak/beton-jeftin-i-dostupan/21894>, pristup: 2. 8. 2018.

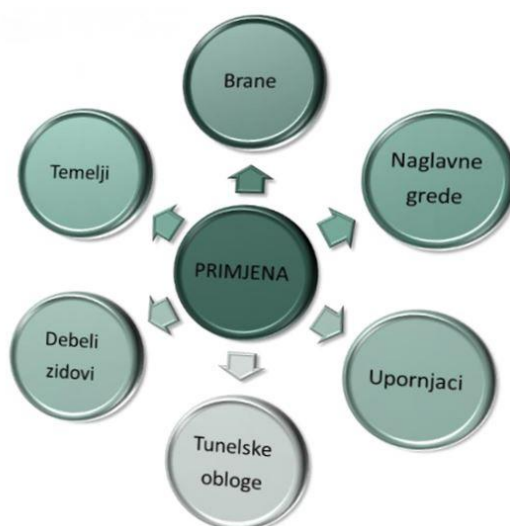
⁴¹ Kumarasamy, S. I sur., Eksperimentalna i numerička analiza ferocementnog ab kompozita, Građevinar 10(1), 915-922, 2017.

8.4. Masivni beton

Masivni beton je beton elemenata čiji je volumen veći od 10 m^3 , a najmanje dimenzije u presjeku su veće od 1,0 m.⁴² Prema PCA (Portland cement association) masivni beton se definira kao svaki element koji sadrži cement i ima dimenziju veću od 30 cm. Problemi koji su povezani s masivnim betonom su temperaturni i karakteristični su za brane i druge hidrotehničke objekte, no mogu se pojaviti i na betonskim elementima manjih dimenzija koji sadrže veće količine cementa visoke topline hidratacije. Reakcija cementa i vode je egzoterman proces, a to znači da se za vrijeme vezivanja cementa razvija određena količina topline te navedeno dovodi do zagrijavanja unutrašnjosti takvog betonskog elementa.

Projektom konstrukcije potrebno je specificirati:

- najvišu dozvoljenu temperaturu u lokalnim uvjetima
- konstrukcijske mjere: tip konstrukcije, dimenzije blokova i tehnološke mjere koje se moraju poduzeti.



Slika 19: Primjena masivnog betona

Izvor: Hidrotehnički beton, masivni beton, uvaljani beton,
file:///C:/Users/Pc/AppData/Local/Temp/betoni-posebnih-namjena-5.pdf , pristup: 4. 8. 2018.

⁴² Hidrotehnički beton, masivni beton, uvaljani beton, file:///C:/Users/Pc/AppData/Local/Temp/betoni-posebnih-namjena-5.pdf , pristup: 4. 8. 2018.

8.5. Uvaljani beton

Koncept uvaljanog betona nastao je šezdesetih godina prošlog stoljeća poradi potrebe za kombiniranjem brzine građenja i ekonomičnosti. Prva primjena ovog betona bila je na brani Tarbela u Pakistanu. Danas se ovaj beton koristi u gradnji brana i srodnih masivnih objekata i u građenju prometnica.

Prednosti uvaljanog betona su:

- dobro se ponaša u ekstremnim temperaturnim uvjetima
- brzina građenja i jednostavnost ugradnje
- mogućnost korištenja otpadnih materijala
- koristi se kod izgradnje kolnika
- postižu se veće čvrstoće uz smanjene troškove, jednostavniju i bržu ugradnju.

Nedostaci uvaljanog betona su⁴³:

- pojava iznenadnih nekontroliranih pukotina
- kvaliteta između slojeva i građenja hladnim spojnica
- kod izgradnje kolnika problem pojave pukotina, površinska tekstura, otpornost na smrzavanje i odmrzavanje.

⁴³ Beton: jeftin i dostupan, <http://www.gradimo.hr/clanak/beton-jeftin-i-dostupan/21894>, pristup: 2. 8. 2018.

9. ZAKLJUČAK

Suvremeno građevinarstvo suočava se s velikim izazovima, a koji se odnose na to kako odgovoriti ekološkim, ekonomskim i estetskim zahtjevima prilikom gradnje građevina. U suočavanju s navedenim izazovima važni su i sami materijali koji se koriste u gradnji te koliko su oni usklađeni sa suvremenim potrebama gradnje, ali i s ekološkim pitanjima.

Beton je građevinski materijal koji se dobiva stvrdnjivanjem smjese nekog veziva (cementa, asfalta i dr.), agregata (pijeska, šljunka i dr.) i vode. Beton kao materijal bio je poznat još u antici, a njegova primjena u suvremenom građevinarstvu i dalje je velika. Jedna od prednosti betona je što se u tekućem stanju može oblikovati u željenu formu te u takvoj formi ostaje kada očvrstne. Odlikuje se i velikom tlačnom čvrstoćom.

Danas se koriste različite vrste betona, a najčešće se klasificiraju prema gustoći gotove smjese ili prema vrsti veziva. Beton se miješa se na gradilištu ili u tvornicama koje se bave proizvodnjom betona, a za miješanje betonske smjese koristi se miješalica. Beton se ispituje u tekućem i čvrstom stanju, odnosno provjeravaju se njegova pojedina svojstva i karakteristike.

LITERATURA

1. Beslać, J., *Beton u novom stoljeću*, Građevinar, 54(1), 15-22, 2002.
2. Beton: jeftin i dostupan, <http://www.gradimo.hr/clanak/beton-jeftin-i-dostupan/21894>, pristup: 2. 8. 2018.
3. Gržetić, T., Matika, D., Automatizacija procesa proizvodnje betona, POLYTECHNIC & DESIGN, Vol. 3, No. 3, 2015., 274-289.
4. Dokšanović, T., Farkaš, M., Njegovanović, N., Tržišna prihvatljivost građevinskog materijala s malim udjelom ugljika – dio I: materijali i mogućnosti smanjenja utjecaja na okoliš, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, Vol.3 No.5, 2012., 1-20.
5. Sastav betona, <http://continuum-projektiranje.hr/sastav-betona/>, pristup: 8. 8. 2018.
6. Bezak, S. i sur., Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu. Knjiga 1, Hrvatske vode, Zagreb, 2010.
7. Luka Ploče Gradnja d.o.o., Studija utjecaja na okoliš, 2010., http://puo.mzopu.hr/UserDocsImages/Sazetak_19_01_2011_1.pdf
8. Tehnologija građenja, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/6_TGV_beton1.pdf
9. Spravljanje, transport, ugradnja i njegovanje betona, [https://gf.unmo.ba/resources/1/Downloads/Osnove%20tehnologije%20betona/Proizvodnja,%20transprt,%20ugradnja%20i%20njega%20betona%20\[Na%20C4%8Din%20kompatibilnosti\].pdf](https://gf.unmo.ba/resources/1/Downloads/Osnove%20tehnologije%20betona/Proizvodnja,%20transprt,%20ugradnja%20i%20njega%20betona%20[Na%20C4%8Din%20kompatibilnosti].pdf)
10. Mulavdić, E., Postrojenje – sredstva za proizvodnju svježeg betona, <http://www.gf.unsa.ba/portal/tehiorgradjenja/TIOGpred11.pdf>
11. Tomašević-Toske, M., Ispitivanje konzistencije svježeg betona, http://www.academia.edu/8214539/Ispitivanje_konzistencije_svezeg_betona
12. Ispitivanje svježeg betona – slijeganje, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Primjer_-_uputa_zs_ispitivanje.pdf
13. Beton, <https://gf.unmo.ba/resources/1/Downloads/Osnove%20tehnologije%20betona/Proizvo>

- dnja,%20transprt,%20ugradnja%20i%20njega%20betona%20[Na%C4%8Din%20kompatibilnosti].pdf
14. Ugradnja svježeg betona (vibratori), https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/09-3-beton-ugradba.pdf
 15. Ugradnja i nega betona, <http://www.bis.org.rs/sr-lat/o-betonu/ugradnja-i-nega-betona>
 16. Mulavdić, E., Sredstva za ugradnju/zbijanje zemljanih i drugih materijala, <http://www.gf.unsa.ba/portal/tehiorgradjenja/TIOGpred8.pdf>
 17. Vujica, M., Samozbijajući ekološki održivi betoni; Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2011.
 18. Banjad Pečuri, I. I sur., *Ispitivanje polimerom modificiranog betona nerazornim metodama*, Građevinar 61(7), 655-662, 2009.
 19. Beton: jeftin i dostupan, <http://www.gradimo.hr/clanak/beton-jeftin-i-dostupan/21894>, pristup: 2. 8. 2018.
 20. Kumarasamy, S. I sur., Eksperimentalna i numerička analiza ferocementnog ab kompozita, Građevinar 10(1), 915-922, 2017.
 21. Curić, E., Građevinski materijali – beton, https://enescuric.files.wordpress.com/2013/03/9_betoni.pdf, pristup: 4. 8. 2018.
 22. Hidrotehnički beton, masivni beton, uvaljani beton, file:///C:/Users/Pc/AppData/Local/Temp/betoni-posebnih-namjena-5.pdf , pristup: 4. 8. 2018.