



Sika® Priručnik o betonima

- Sastav betona
- Standard EN 206-1:2000
- Beton
- Svež beton
- Očvršli beton
- Prskani beton
- Sredstva za odvajanje oplata od betona
- Nega

Sika – dugogodišnje iskustvo

Kompanija „Sika” je počela sa proizvodnjom prvih hemijskih dodataka za cementne mešavine davne 1910. godine kada je i osnovana. U to doba, glavni ciljevi su bili skraćivanje vremena vezivanja cementne mešavine za malter, postizanje vodonepropusnosti ili povećanje čvrstoće. Neki od tih prvih i uspešnih proizvoda su i danas u upotrebi.

Voda je neophodna betonu zbog konzistencije (obradivosti) i hidratacije cementa, međutim, previše vode u očvrslom betonu ima negativan uticaj na mnoga svojstva zbog čega je „Sika” razvila proizvode pomoću kojih je moguće smanjivati sadržaj vode pri tome ne gubeći (čak i poboljšavajući) konzistenciju i obradivost betona:

God.	Hemijska baza proizvoda	Tipičan Sika proizvod	Glavni efekat
1930	Lignosulfonati	Plastocrete®	Redukcija vode do 10 %
1940	Glukonati	Plastiment®	Redukcija vode do 10 % sa odloženim vezivanjem
1960		Sika Retarder®, Fro-V	Odloženo vezivanje i uvlačenje vazdušnih pora
1970	Naftaleni	Sikament®-NN	Smanjenje vode do 20 %
1980	Melamini	Sikament®-300/-320	Smanjenje vode do 20 %
1990	Vinil kopolimeri	Sikament®-10/-12	Smanjenje vode do 25 %
2000	Modifikovani polikarboksilati	Sika® ViscoCrete®	Smanjenje vode do 40 %, SCC tehnologija za samorazlivajuće betone

Od svog osnivanja, Sika je uvek prisutna tamo gde se cement, agregati, pesak i voda mešaju u cilju spravljanja maltera i betona – pouzdan partner za ekonomičnu gradnju trajnih građevina.

Sika – globalna prisutnost

Sika AG sa sedištem u Baaru u Švajcarskoj je globalna kompanija speijalizovana za tržište građevinske hemije. Sika je svetski lider u materijalima za **zaptivanje, lepljenje, ojačanja i zaštitu** nosivih konstrukcija u građevinarstvu i industriji.

Paleta proizvoda kompanije „Sika” uključuje visokokvalitetne hemijske dodatke za beton, specijalne maltere, zaptivne mase i lepkove, izolacione materijale i strukturalna ojačanja, industrijske podove i vodonepropusne membrane.

Sika grupa autora:

T. Hirschi, H. Knauber, M. Lanz, J. Schlumpf, J. Schrabback, C. Spirig, U. Waeber

Prevod na srpski jezik:

N. Blagojević dig.

Recenzent:

Z. Kačarević dig.

Sadržaj

1. Sastav betona	5
1.1 Osnovni pojmovi	5
1.2 Veziva	6
1.3 Agregat za beton	8
1.4 Hemijski dodaci betonu	12
1.5 Mineralni dodaci betonu	13
1.6 Sadržaj finih čestica	15
1.7 Voda za spravljanje betona	16
1.8 Proračun količine materijala	18

2. Standard EN 206-1: 2000	20
2.1 Definicije iz standarda	20
2.2 Klase izloženosti betona usled uticaja sredine	22
2.3 Klasifikacija prema konzistenciji	25
2.4 Klase betona prema čvrstoći pri pritisku	26
2.5 <i>k</i> -vrednost (iz EN 206-1)	27
2.6 Sadržaj hlorida (izvod iz EN 206-1)	29
2.7 Specifikacija betona	31
2.8 Kontrola saglasnosti	31
2.9 Dokaz ostalih svojstava betona	32

3. Beton	33
3.1 Osnovne upotrebe betona	33
3.1.1 Beton ugrađen na gradilištu ("in situ")	34
3.1.2 Beton za prefabrikovane konstrukcije	36
3.2 Posebni betoni	37
3.2.1 Pumpani beton	37
3.2.2 Beton za saobraćajne površine	40
3.2.3 Samozbijajući beton ("SCC beton")	41
3.2.4 Beton otporan na mraz (cikluse smrzavanja/odmrzavanja) i mraz i so	43
3.2.5 Beton visoke čvrstoće	46
3.2.6 Beton za klizne oplate	47
3.2.7 Vodonepropusan beton	49

3.2.8	Natur beton	50
3.2.9	Masivan beton	52
3.2.10	Beton armiran vlaknima	54
3.2.11	Teški beton	55
3.2.12	Podvodni beton	56
3.2.13	Laki beton	57
3.2.14	Valjani beton	59
3.2.15	Obojeni beton	59
3.2.16	Polusuvi beton za izradu prefabrikovanih betonskih proizvoda	60
3.2.17	Beton sa povećanom vatrootpornošću	67
3.2.18	Beton za tunelske segmente	68
3.2.19	Monolitni beton	70
3.2.20	Beton za košuljice ("Teraco" beton)	71

4.	Svež beton	72
4.1	Svojstva svežeg betona	72
4.1.1	Obradivost	72
4.1.2	Usporavanje vezivanja / beton za tople vremenske prilike	73
4.1.3	Ubrzavanje vezivanja / beton za hladne vremenske prilike	77
4.1.4	Konzistencija	79
4.1.5	Krvarenje (izdvajanje vode na površini betona)	80
4.1.6	Završna obrada	80
4.1.7	Zapreminska masa svežeg betona	81
4.1.8	Sadržaj vazdušnih pora	81
4.1.9	Pumpabilnost	82
4.1.10	Kohezija	82
4.1.11	Temperatura svežeg betona	82
4.1.12	Vodocementni odnos	83
4.2	Ispitivanje svežeg betona	83
4.2.1	Obradivost	83
4.2.2	Uzimanje uzoraka	84
4.2.3	Ispitivanje konzistencije metodom sleganja	84
4.2.4	Ispitivanje konzistencije pomoću stepena kompaktnosti	85
4.2.5	Ispitivanje konzistencije metodom rasprostiranja	86
4.2.6	Određivanje zapreminske mase svežeg betona	88
4.2.7	Određivanje sadržaja vazdušnih pora u betonu	88
4.2.8	Ostale metode ispitivanja konzistencije svežeg betona	89

5.	Očvršli beton	91
5.1	Svojstva očvrslog betona	91
5.1.1	Čvrstoća pri pritisku	91

5.1.2	Beton visoke početne čvrstoće	93
5.1.3	Vodonepropusnost	95
5.1.4	Otpornost na mraz (cikluse smrzavanja/odmrzavanja) i mraz i so	98
5.1.5	Površina betona	98
5.1.6	Skupljanje	99
5.1.7	Otpornost na sulfate	100
5.1.8	Hemijska otpornost	101
5.1.9	Otpornost na habanje	101
5.1.10	Čvrstoća pri zatezanju savijanjem	102
5.1.11	Razvoj toplote hidratacije	103
5.1.12	Reakcija između alkalija i agregata	104
5.2	Ispitivanja očvrstlog betona	105
5.2.1	Uslovi za uzorke i kalupe	105
5.2.2	Izrada i nega uzoraka	106
5.2.3	Čvrstoća pri pritisku ispitnih uzoraka ("pritisna čvrstoća")	107
5.2.4	Standardi i regulativa primenjeni kod mašina za ispitivanje uzoraka	109
5.2.5	Čvrstoća pri zatezanju savijanjem ispitnih uzoraka ("savojna čvrstoća")	109
5.2.6	Čvrstoća pri zatezanju cepanjem ispitnih uzoraka ("zatezna čvrstoća")	111
5.2.7	Zapreminska masa očvrstlog betona	111
5.2.8	Dubina prodora vode pod pritiskom	112
5.2.9	Otpornost na mraz i cikluse smrzavanja/odmrzavanja	113
6.	Prskani beton ("Torkret")	114
6.1	Definicija	114
6.2	Uslovi kvaliteta za prskani beton	115
6.3	Razvoj rane čvrstoće	116
6.4	Proces prskanja	117
6.5	Metode ispitivanja/metode merenja	123
6.6	Sika sistem za mokri postupak prskanja	125
6.7	Prskani beton armiran čeličnim vlaknima	126
6.8	Prskani beton otporan na sulfate	127
6.9	Prskani beton sa povećanom vatrootpornošću	127
7.	Premazi za odvajanje betona od oplate	128
7.1	Sastav premaza za odvajanje	128
7.2	Uslovi za premaze za odvajanje	129
7.3	Izbor odgovarajućih premaza za odvajanje	129
7.3.1	Premazi za odvajanje upijajućih oplata	129
7.3.2	Premazi za odvajanje neupijajućih oplata	130

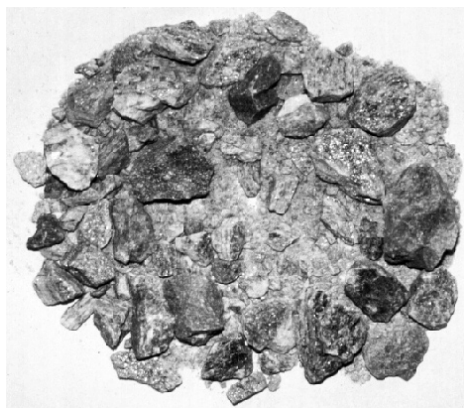
7.4	Uputstva za upotrebu	131
7.4.1	Nanošenje premaza za odvajanje	131
7.4.2	Vreme čekanja pre betoniranja	133
7.4.3	Postupak betoniranja	133

8. Nega	134
8.1 Uopšteno	134
8.2 Metode nege	136
8.3 Mere nege betona	138
8.4 Trajanje nege	139

Hemijski dodaci betonu i sredina	141
Članstvo u EFCA-i	142

Indeks pojmova	143
-----------------------	-----

1. Sastav betona



1.1 Osnovni pojmovi

Tri glavna sastojka su zapravo dovoljna za spravljanje betona:

- Vezivo (cement)
- Agregat
- Voda

Iz razloga kontinualnog porasta zahteva za povećanjem kvaliteta betona (uglavnom trajnosti) i velikog napretka u proizvodnji hemijskih dodataka i betona, danas je moguće proizvesti mnogo različitih vrsta betona.

■ Standardni beton	Beton sa maksimalnim zrnom agregata > 8 mm Zapreminska masa (sušeno u peći) > 2000 kg/m ³ , maksimalna 2600 kg/m ³
■ Teški beton	Zapreminska masa (sušeno u peći) > 2600 kg/m ³
■ Laki beton	Zapreminska masa (sušeno u peći) > 800 kg/m ³ i < 2000 kg/m ³
■ Svež beton	Beton, mešani, još obradiv beton koji se može ugrađivati
■ Očvršli beton	Beton nakon vezivanja, moguće merenje čvrstoća
■ Mladi („zeleni“) beton	Novopostavljen i zbijen, stabilan, pre početka merljivog vezivanja („zeleni“ beton je izraz koji se koristi u industriji prefabrikovanih elemenata)

Ostali termini koji se koriste su prskani beton, pumpani beton, beton transportovan kranom itd. Oni definišu način postavljanja u oplata, rad i/ili rukovanje do mesta ugradnje (videti sledeće poglavlje).

1.2 Veziva

Cement je hidraulično vezivo (hidraulično = očvršćava u reakciji sa vodom) koje se koristi za proizvodnju betona. Cementna pasta (cement pomešan s vodom) veže i očvršćava hidratacijom, kako na vazduhu tako i u vodi.

Najbitniji i osnovni materijali, npr. za Portland cement, su krečnjak, laporac i glina, te se oni mešaju u određenom odnosu. Ta sirova mešavina se peče na temperaturi od oko 1450°C kako bi se dobio klinker koji se kasnije melje u praškastu materiju koja je poznata kao cement.

Standardi za cemente

U Evropi su vrste cementa određene standardom EN 197-1 (sastav, specifikacije i kriterijumi usklađenosti). Prema ovom standardu cementi se dele u sledećih 5 glavnih tipova:

CEM I	Portland cement
CEM II	Portland-kompozitni cementi (glavni sastojak je Portland cement),
CEM III	Metalurški cement
CEM IV	Pucolanski cement
CEM V	Kompozitni cement

Prema ovoj tabeli, različite vrste cemenata mogu sadržati druge primese i portland cementni klinker (K):

Glavne komponente

Granulisana zgura	(S)
Silikatna prašina	(D)
Prirodni i industrijski pucolani	(P or Q)
Visoko silikatan i krečnjački leteći pepeo	(V or W)
Pečeni škrljac (npr. uljni škrljac)	(T)
Krečnjaci	(L ili LL)

Sporedne komponente

To su uglavnom odabrani prirodni neorganski, mineralni materijali koji nastaju proizvodnjom klinkera, ili komponenata kao što je opisano (osim ako nisu sadržane u cementu kao glavne komponente). Videti vrste cementa i njihov sastav prema EN 197-1.

Tipovi cementa i njihov sastav prema EN 197-1

Glavne vrste cementa			Sastav (delova u % po masi cementa) ¹										Sporedne komponente	
			Glavne komponente											
			Portland cementni klinker	Žgura	Silikatna prašina	Pucolani		Leteci pepeli		Pečeni škriljac	Krečnjaci			
						Prirodni	Veštački	Visoko silikatan	Visoko krečnjački					
Opis cementa	Tip cementa		K	S	D ²	P	Q	V	W	T	L ⁴	LL ⁵		
CEM I	Portland cement	CEM I	95–100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
CEM II	Portland cement sa dodatkom žgure	CEM II/A-S	80–94	6–20	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
		CEM II/B-S	65–79	21–35	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
	Portland cement sa dodatkom silikatne prašine	CEM II/A-D	90–94	–	6–10	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
	Portland cement sa dodatkom pucolana	CEM II/A-P	80–94	–	–	6–20	–	–	–	–	–	–	0–5	
		CEM II/B-P	65–79	–	–	21–35	–	–	–	–	–	–	0–5	
		CEM II/A-Q	80–94	–	–	–	6–20	–	–	–	–	–	0–5	
		CEM II/B-Q	65–79	–	–	–	21–35	–	–	–	–	–	0–5	
	Portland cement sa dodatkom letećeg pepela	CEM II/A-V	80–94	–	–	–	–	6–20	–	–	–	–	0–5	
		CEM II/B-V	65–79	–	–	–	–	21–35	–	–	–	–	0–5	
		CEM II/A-W	80–94	–	–	–	–	–	6–20	–	–	–	0–5	
		CEM II/B-W	65–79	–	–	–	–	–	21–35	–	–	–	0–5	
	Portland cement sa dodatkom škriljca	CEM II/A-T	80–94	–	–	–	–	–	–	6–20	–	–	0–5	
		CEM II/B-T	65–79	–	–	–	–	–	–	21–35	–	–	0–5	
	Portland cement sa dodatkom krečnjaka	CEM II/A-L	80–94	–	–	–	–	–	–	–	–	6–20	0–5	
		CEM II/B-L	65–79	–	–	–	–	–	–	–	–	21–35	0–5	
		CEM II/A-LL	80–94	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6–20	0–5
		CEM II/B-LL	65–79	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21–35	0–5
Portland-kompozitni cement ³	CEM II/A-M	80–94	6–20									0–5		
	CEM II/B-M	65–79	21–35									0–5		
CEM III	Metalurški cement	CEM III/A	35–64	36–65	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
		CEM III/B	20–34	66–80	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
		CEM III/C	5–19	81–95	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
CEM IV	Pucolanski cement ³	CEM IV/A	65–89	–	11–35					–	–	–	0–5	
		CEM IV/B	45–64	–	36–55					–	–	–	0–5	
CEM V	Kompozitni cement ³	CEM V/A	40–64	18–30	–	18–30			–	–	–	–	0–5	
		CEM V/B	20–39	31–50	–	31–50			–	–	–	–	0–5	

¹ Brojevi u tabeli se odnose na ukupni broj osnovnih i sporednih komponenti.

² Sadržaj silikatne prašine je ograničen na 10 %.

³ Za Portland kompozitne cemente CEM II/A-M i CEM II/B-M, pucolanske cemente CEM IV/A i CEM IV/B i kompozitne cemente CEM V/A i CEM V/B, glavne komponente se moraju navesti u nazivu cementa.

⁴ Ukupna količina organskog ugljenika (TOC) ne sme biti veća od 0.2 % po masi.

⁵ Ukupna količina organskog ugljenika (TOC) ne sme biti veća od 0.5 % po masi.

Čvrstoće

Cementi su podeljeni u tri klase po čvrstoći na osnovu čvrstoće pri pritisku standardnog maltera posle 28 dana. Vrednosti predstavljaju minimalne propisane čvrstoće pri pritisku od 32.5/42.5/52.5 N/mm². Cementi sa visokom čvrstoćom pri pritisku na dva dana imaju dodatnu oznaku „R”.

Detaljne informacije o pojedinim sastojcima navedene su u EN 197-1: Poglavlje 5: Sastojci

5.1 Opšte

5.2 Glavni sastojci

5.3 Sporedni sastojci

1.3 Agregat za beton

Šljunak, kamen i pesak čine zrnastu strukturu čije šupljine moraju biti maksimalno moguće popunjene vezivnim lepkom. Oni čine oko 80 % mase i 70–75 % zapremine. Optimalno korišćenje veličine agregata kao i njegov kvalitet poboljšavaju kvalitet betona.

Agregat može biti prirodan-rečni (fluvijalan ili glečerski); za pripremu betona visokog kvaliteta oni se čiste i sortiraju mehaničkim procesima u industrijskim postrojenjima, kao što su mešanje, drobljenje, prosejavanje i pranje (mehanička priprema).

Pogodan agregat za beton je onaj materijal koji ne ometa očvršćavanje cementa, koji dovoljno čvrsto prijanja za očvrslu cementnu pastu, te koji ne umanjuje otpornost i kvalitet betona u bilo kom pogledu.

Standardni i specijalni agregati

Standardni agregati	Zapreminska masa 2.2 – 3.0 kg/dm ³	Iz prirodnih naslaga, kao što su rečni šljunak, glečerski šljunak i dr. Materijal je zaobljen ili drobljen (npr. iskopan iz tunela)
Teški agregati	Zapreminska masa > 3.0 kg/dm ³	Kao što su barit, ruda gvožđa, čelična zrna. Za proizvodnju teškog betona (npr. beton za zaštitu od radijacije)
Laki agregati	Zapreminska masa < 2.0 kg/dm ³	Kao što su ekspandirana glina, plovuće, stiropor. Za lak beton i za izolacione betone
Tvrđi agregati	Zapreminska masa > 2.0 kg/dm ³	Kao što su kvarc, karborundum, npr. za proizvodnju granitnog teraca
Reciklirana zrna	Zapreminska masa prosečno 2.4 kg/dm ³	Od drobljenog, starog betona itd.

Standardni agregati

Agregati su u Evropi definisani standardom EN 12620. Ovaj standard je izuzetno opširan i kao takav ukoliko bi se ulazilo u detalje, pored onih navedenih na donjem popisu, premašili bi se okviri ovog priručnika. Taj se standard pominje i u poglavlju br. 2 ovog priručnika.

Važni termini iz standarda (sa dodatnim objašnjenjima):

■ *Prirodan agregat*

Potiče iz mineralnih nalazišta nastalih taloženjem; prolazi samo proces mehaničke pripreme i/ili pranje.

■ *Mešavina agregata*

Agregat koji se sastoji od mešavine krupnih i sitnih agregata (pesak). Mešavina agregata može se proizvesti bez prethodnog razdvajanja krupnih i sitnih agregata ili kombinovanjem krupnih i sitnih zrna (pesak).

■ *Reciklirani agregat*

Agregat proizveden iz mehanički obrađenog neorganskog materijala koji je prethodno bio korišćen kao građevinski materijal (npr. beton).

■ *Filer (kamenito brašno)*

Agregat koji uglavnom prolazi kroz sito od 0.063 mm i koji se dodaje za dobijanje posebnih i specifičnih svojstava.

■ *Podela agregata prema veličini zrna*

Označavanje agregata veličinom donjeg (d) i gornjeg (D) otvora na situ, izražena kroz odnos d/D.

■ *Sitan agregat (pesak)*

Naziv za sitniju frakciju agregata čija veličina zrna (D) ne prelazi 4 mm. Sitni agregati mogu nastati prirodnim usitnjavanjem kamena ili šljunka i/ili drobljenjem kamena ili šljunka, ili obradom industrijski proizvedenih minerala.

■ *Krupan agregat*

Naziv za veća zrna kod kojih D nije manji od 4 mm i d nije manji od 2 mm.

■ *Prirodan agregat 0/8 mm*

Naziv za prirodan agregat rečnog ili glečerskog porekla kod koga D nije veći od 8 mm (može se takođe proizvesti mešanjem obrađenih agregata).

■ *Fine čestice*

Deo agregata koji prolazi kroz sito od 0.063mm.

■ *Granulometrijski sastav*

Raspored čestica po veličini, izražen kao prolazak frakcije kroz tačno definisan broj sita određenog prečnika u procentima po masi.

Prolaz frakcije, granulometrijski sastav agregata

Veličina čestice je izražena veličinom otvora sita za prosejavanje kroz koje je upravo prošla određena čestica.

Prema EN 933-2 moraju se koristiti sita sa kvadratnim otvorima.

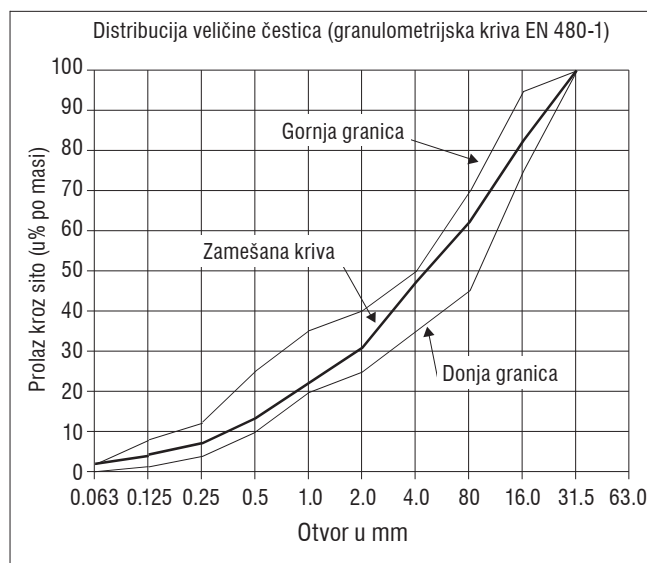
Određeni tipovi sita

Veličina otvora < 4 mm	Metalna pletena mreža
Veličina otvora ≥ 4 mm	Izbušena metalna ploča

Veličine otvora za pojedinačna sita (veličine sita) opisane su u ISO 3310-1 & 2. Standardni odeljak iz glavne serije R20 može se uzeti kao primer. Propisane su sledeće veličine sita (veličine otvora u mm):

Mešavina agregata 0 – 32 mm:

0.063 / 0.125 / 0.25 / 0.50 / 1.0 / 2.0 / 4.0 / 8.0 / 16.0 / 31.5



Sastojak	Veličina zrna u mm	Sadržaj u mešavini u %
Krečnjački filer	0 – 0.25	2.5
Zaobljeni pesak	0 – 1	18.0
Zaobljeni pesak	1 – 4	27.5
Zaobljeni pesak	4 – 8	12.0
Zaobljeni pesak	8 – 16	20.0
Zaobljeni pesak	16 – 32	20.0

U ovom slučaju pesak i šljunak su prani pa je zbog toga za poboljšanje konzistencije dodat filer.

Praktične informacije

■ *Optimalan oblik zrna, drobljena/zaobljena*

Četvrtasti/kuglasti oblici su se pokazali pogodnijim od duguljastih oblika, koji mogu uticati na konzistenciju. Za drobljeni agregat potrebno je nešto više vode za postizanje iste mere konzistencije zbog njegove veće specifične površine, ali je moguće postići veće čvrstoće pri pritisku, a pogotovo čvrstoće pri zatezanju zbog boljeg međusobnog povezivanja.

■ *Pretežno drobljeni agregati*

Površina drobljenih materijala stena, velikih blokova i sl. sastoji se samo od lomljenih površina, dok površina zaobljenog drobljenog materijala isto tako podrazumeva prirodno zaobljene površine.

Drobljeni kamen se danas uglavnom koristi u gradnji tunela pod motom: „Mesto vađenja = mesto ugradnje”.

■ *Različite vrste peska iz kamenoloma*

Oni su uglastog a takođe i duguljastog i pljosnatog oblika, zavisno od stene. Nisu pogodni za dobijanje dobre konzistencije te "zahtevaju" više vode za određenu konzistenciju.

■ *Štetni загаđивачи*

Ilovača, humus, laporac, glina, gips i agregati koji sadrže sulfate, hloride i alkalije su potencijalno štetni, te se njihovo prisustvo i moguće posledice moraju dobro razjasniti i definisati.

Fizički zahtevi za agregate

Standard EN 12620 krupne agregate deli u grupe koje obuhvataju:

- Otpornost na cepanje
- Otpornost na habanje
- Otpornost na poliranje i abraziju
- Zapreminsku masu zrna i upijanje vode
- Zapreminsku masu
- Trajnost

Trajnost

Trajnost je uglavnom povezana s otpornošću krupnih agregata na mraz i cikluse smrzavanja / odmrzavanja. Ta otpornost mora biti u skladu sa određenim potrebama što se mora i odobriti.

Alternativni agregati (reciklirani materijal)

Velike prirodne naslage šljunka i peska su vredni, ali neobnovljivi resursi. Postaje gotovo nemoguće koristiti šljunak iz tih velikih prirodnih područja.

Moguća alternativna rešenja su:

- Drobljenje i obrada starog betona kako bi se dobila betonska zrna
 - Ponovno korišćenje mikročestica betona koje se dobijaju pranjem
- Kvalitet recikliranog materijala je u svakom slučaju obavezno proveriti.

1.4 Hemijski dodaci betonu

Hemijski dodaci betonu su tečnosti ili različite vrste praškastog materijala koje se u malim količinama dodaju betonu tokom mešanja i to procentualno u odnosu na masu cementa. Oni utiču na svojstva svežeg i/ili očvrstlog betona po hemijskim ili fizičkim parametrima. Hemijski dodaci betonu definisani su u EN 206-1, a uslovi za njih su opisani u EN 934-2. Standard u poglavlju „Posebni termini” sadrži sledeće izraze (nešto skraćena verzija):

Hemijski dodaci betonu – definicije i svrha

■ *Plastifikator (umanjivač vode)*

Omogućuje umanjenje količine vode u zadatoj betonskoj mešavini bez uticaja na konzistenciju, ili povećava obradivost bez menjanja količine vode, ili može istovremeno imati oba dejstva.

■ *Superplastifikator*

Omogućuje znatno smanjenje količine vode u betonskoj mešavini bez uticaja na konzistenciju, ili značajno povećava obradivost bez menjanja količine vode, ili može istovremeno imati oba dejstva.

■ *Stabilizator*

Smanjuje mogućnost krvarenja (izbijanja vode na površinu) kod svežeg betona.

■ *Aerant*

Proizvodi određenu količinu malih, pravilno raspoređenih mehurića vazduha tokom mešanja koji ostaju prisutni u betonu nakon njegovog očvršćavanja.

■ *Ubrzivač vezivanja*

Skraćuje vreme početka vezivanja uz povećanje početne čvrstoće.

■ *Ubrzivač očvršćavanja*

Ubrzava početnu čvrstoću sa ili bez uticaja na vreme vezivanja.

■ *Usporivač vezivanja (retarder)*

Odlaze vreme početka vezivanja uz produženje konzistencije.

■ *Zaptivač (hidrofobni dodatak)*

Smanjuje kapilarno upijanje vode u očvrstlom betonu.

■ *Usporivač vezivanja / Plastifikator (umanjivač vode)*

Ima kombinovano dejstvo umanjivača vode (glavno dejstvo) i usporivača vezivanja (dodatno dejstvo).

■ *Usporivač vezivanja / superplastifikator*

Ima kombinovano dejstvo superplastifikatora (glavno dejstvo) i usporivača vezivanja (dodatno dejstvo).

■ *Ubrzivač vezivanja / umanjivač vode*

Ima kombinovano dejstvo umanjivača vode (glavno dejstvo) i ubrzivača vezivanja (dodatno dejstvo).

Ostale grupe proizvoda kao što su umanjivači skupljanja, inhibitori korozije itd. (još uvek) nisu obuhvaćeni u EN 934-2.

Dozvoljeno doziranje	$\leq 5\%$ po masi cementa (Uticaj većeg doziranja na karakteristike i trajnost betona mora biti proveren.)
Malo doziranje	Količine hemijskih dodataka $< 0.2\%$ po masi cementa su dozvoljene samo u slučaju rastvaranja u delu vode za mešanje

Ako je ukupna količina hemijskog dodatka u tečnom obliku $> 3 \text{ l/m}^3$ betona, količina vode u dodatku se mora uzeti u obzir prilikom proračuna vodocementnog odnosa (v/c faktora).

Ako se koristi više od jednog dodatka, mora se posebnim ispitivanjima potvrditi njihova kompatibilnost.

Uticaji i načini korišćenja gore navedenih dodataka (i ostalih) detaljno se opisuju u sledećim poglavljima.

1.5 Mineralni dodaci betonu

Mineralni dodaci betonu su sitni materijali koji se dodaju betonu u značajnim procentima učešća (otprilike $5 - 20\%$ po masi cementa). Oni se koriste za poboljšanje ili dobijanje posebnih svojstava svežeg i/ili očvrslog betona.

EN 206-1 navodi 2 vrste neorganskih aditiva za beton:

Tip I

Gotovo neaktivni materijali kao što su krečnjački filer, kvarcna prašina i pigmenti.

■ Pigmenti

Pigmentirani metalni oksidi (uglavnom oksidi gvožđa) koriste se za bojenje betona. Dodaju se u količinama od $0.5 - 5\%$ po masi cementa i moraju zadržati istu boju i ostati stabilni u alkalnom okruženju cementa. Prilikom korišćenja određene vrste pigmenta može postojati potreba za većom količinom vode u mešavini.

■ Kamena brašna (kvarcna prašina, krečnjački filer)

Mešavine sa malo sitnog peska moguće je poboljšati dodavanjem kamenog brašna. Ti inertni materijali koriste se za poboljšanje granulometrijske krive. Potreba za vodom je povećana, posebno ako se koristi krečnjački filer.

Tehnički podaci za kameno brašno (prema DIN 4226-1)

Parametar	Proizvod		
	Kameno brašno		
	Kvarcna prašina	Krečnjački filer	Jedinica
Gustina (specifična masa) ¹	2650	2600 – 2700	kg/m ³
Specifična površina zrna	≥ 1000	≥ 3500	cm ² /kg
Zapreminska masa, rastresito stanje ^{*1}	1300 – 1500	1000 – 1300	kg/m ³
Gubitak žarenjem	0.2	~40	%

* Ovaj faktor treba uzeti u obzir za kapacitet punjenja silosa i sl.

¹ Trenutno iskustvo

Tip II

Pucolanski ili latentno hidraulični materijali kao što su prirodni pucolani (vulkanski tuf), leteći pepeo ili silikatna prašina.

Leteći pepeo je fini pepeo sagorelog uglja iz termoelektrana koji se koristi kao mineralni dodatak cementu i betonu. Sastav letećeg pepela uglavnom zavisi od vrste uglja i njegovog porekla kao i uslova sagorjevanja.

Silikatna prašina (Silicafume) se uglavnom sastoji od loptastih čestica amornog silicijum-dioksida koji nastaje proizvodnjom silikona i silikonskih smesa. Ima specifičnu površinu od 18 – 25 m²/g te je visoko reaktivan pucolan.

Standardne doze silikatne prašine su 5 % do maksimalno 10 % po masi cementa.

Uporedna tabela cementa i pucolana

Parametar	Proizvod				
	Cementi		Industrijski pucolani		Jedinica
	CEM I 42.5*	CEM II A-LL 32.5 R*	Leteći pepeli	Silikatna prašina	
Gustina (specifična masa) ¹	~ 3100	~ 3000	2200 – 2600	~ 2200	kg/m ³
Specifična površina	~ 3000	~ 4000	3000 – 5500	180000 – 250000	cm ² /kg
Zapreminska masa, rastresito stanje ^{**1}	~ 1200	~ 1100	1000 – 1100	300 – 600	kg/m ³
Gubitak žarenjem	2.4	6.9	≤ 5	≤ 3	%
Sadržaj SiO ₂			40 – 55	Do 98	%

* Podaci nasumice odabranih cementa po EN 197-1

** Ovaj faktor mora biti uzet u obzir kod punjenja kapaciteta silosa ili sl.

¹ Trenutno iskustvo za pucolane

1.6 Sadržaj finih čestica

Sadržaj finih čestica sastoji se od:

- cementa
- agregata na sitima dimenzije od 0 do 0.125 mm
- i bilo kog mineralnog dodatka betonu

Najfinija zrna u svežem betonu deluju kao podmazivač u svežem betonu i tako poboljšavaju obradivost i zadržavanje vode. Smanjuju rizik razdvajanja komponenata mešavine prilikom ugradnje te je zbijanje lakše.

Ako je pak, sadržaj najfinijih zrna previsok, beton je gnjecav i lepljiv. Pored toga, postoji tendencija velikog skupljanja i tečenja (usled visokog sadržaja vode).

U praksi, najboljima su se pokazale sledeće količine finih čestica:

	Zaobljeni agregat	Drobljeni agregat
Za beton sa maksimalnom veličinom zrna do 32 mm	Sadržaj najfinijih zrna između 350 i 400 kg/m ³	Sadržaj najfinijih zrna između 375 i 425 kg/m ³
Za beton sa maksimalnom veličinom zrna do 16 mm	Sadržaj najfinijih zrna između 400 i 450 kg/m ³	Sadržaj najfinijih zrna između 425 i 475 kg/m ³

Veće količine najfinijih zrna obično se koriste za samozbijajuće betone (SCC).

1.7 Voda za spravljanje betona

Pogodnost vode za proizvodnju betona zavisi od njenog porekla. EN 1008 navodi sledeće vrste:

- *Voda za piće*
Pogodna za beton. Nije je potrebno ispitivati.
- *Voda korišćena u betonskoj industriji dobijena obnavljanjem (npr. voda od ispiranja)*
Generalno pogodna za beton, ali se moraju zadovoljiti uslovi navedeni u aneksu A standarda (npr. dodatna masa suve materije koja se nalazi u prečišćenoj vodi korišćenoj u betonskoj industriji, mora biti u betonu manja od 1 % ukupne mase agregata u mešavini).
- *Podzemna voda*
Može biti pogodna za beton, ali je potrebna prethodna provera.
- *Prirodna površinska voda i voda iz industrijskih postrojenja*
Može biti pogodna za beton, ali je potrebna prethodna provera.
- *Morska voda ili slana voda*
Može se koristiti za nearmirani beton, ali nije pogodna za armirani ili prednapregnuti beton. Potrebno je pridržavati se maksimalno dozvoljene količine hlorida za armirani beton i beton sa ugrađenim čeličnim ojačanjima ili metalnim delovima.
- *Otpadna voda*
Nije pogodna za beton.

Kombinovana voda je mešavina vode dobijene nakon korišćenja u betonskoj industriji i vode iz nekog drugog izvora. Primenuju se uslovi kvaliteta i za kombinovane vrste vode.

Prethodna (preliminarna) ispitivanja (EN 1008, Tabela 1)

Najpre se mora analizirati voda na prisutnost tragova ulja, masnoća, pena (deterdženti!!), suspendovanih čestica, na mirise (npr. ne oseća se miris vodonik-sulfida nakon dodavanja hlorovodonične kiseline), kiselosti (pH 4) i humusa.

Voda koja ne zadovoljava jedan ili više uslova navedenih u Tabeli 1 može se koristiti isključivo ako zadovoljava sledeće hemijske zahteve te ako njeno korišćenje nema negativne uticaje na vreme vezivanja i razvoj čvrstoće (videti EN 1008 za metode ispitivanja).

Hemijska svojstva

■ *Hloridi*

Količina hlorida u vodi ne sme prelaziti vrednosti navedene u donjoj tabeli:

Vrsta betona	Maksimalna količina hlorida u mg/l
Prednapregnuti beton ili tečan malter	500
Beton sa armaturom ili ugrađenim metalnim delovima	1000
Beton bez armature i ugrađenih metalnih delova	4500

■ *Sumpor*

Količina sumpora u vodi ne sme prelaziti 2000 mg/l.

■ *Alkalije*

Ako se za beton koriste agregati osetljivi na alkalije, mora se ispitati količina alkalija u vodi. Količina alkalija (ekvivalent od Na_2O) ne sme prelaziti 1500 mg/l. Ako količina alkalija prelazi tu vrednost, voda se može koristiti isključivo ako je moguće dokazati da su preduzete mere za sprečavanje štetnih reakcija između alkalija i silikata.

■ *Štetni zagađivači*

Mora se prvo sprovesti ispitivanje sadržaja šećera, fosfata, nitrata, olova i cinka u vodi. U slučaju pozitivnih rezultata mora se odrediti količina tih supstanci ili sprovesti ispitivanja vremena vezivanja i čvrstoće pri pritisku.

Ograničenja hemijskih analiza:

Materijal	Maksimalan sadržaj u mg/l
Šećeri	100
Fosfati izraženi kao P_2O_5	100
Nitrati, izraženi kao NO_3^-	500
Olovo, izraženo kao Pb^{2+}	100
Cink, izražen kao Zn^{2+}	100

■ *Vreme vezivanja i čvrstoća*

Početak vezivanja ispitivan na uzorcima sa vodom ne sme biti manji od 1 časa, te se ne sme razlikovati više od 25 % od početka vezivanja uzoraka s destilovanom ili dejonizovanom vodom. Završetak procesa vezivanja ne sme trajati više od 12 časova te se ne sme razlikovati za više od 25 % od završetka procesa vezivanja uzoraka s destilovanom ili dejonizovanom vodom.

Prosečna čvrstoća pri pritisku uzorka spravljenog sa vodom nakon 7 dana mora iznositi minimum 90 % čvrstoće pri pritisku odgovarajućeg uzorka proizvedenog sa destilovanom ili dejonizovanom vodom.

1.8 Proračun količine materijala

Svrha proračuna količine materijala jeste određivanje količine betona na osnovu količina ulaznih sirovina. Količina materijala obuhvata količinu pojedinih sastojaka betona. Proračun polazi od toga da projektovane količine cementa, vode, agregata, hemijskih i mineralnih dodataka, izmešane za 1 m³ svežeg betona zajedno sa porama nakon ugradnje imaju zapreminu od 1 m³.

Proračun količina i mase za 1 m³ betona

Sastojci koji se koriste za beton projektovanih svojstava	Doziranje u %	Potrebno kg za 1 m ³ (prema recepturi)	Specifična masa u kg/l	Iznos u litrima za 1 m ³
Cement Vrsta:		kg	3.15 (proveriti lokalne vrednosti)	→
Dodatno vezivo Vrsta:		kg		→
Dodatak silikatne prašine (dodatno vezivo)		kg	2.2 (proveriti lokalne vrednosti)	→
Hemijski dodatak 1 Vrsta:		kg		
Hemijski dodatak 2 Vrsta:		kg		
Očekivana ili planirana količina vazduha 1% = 10 l u 1 m ³		%	—	→
Voda za mešanje v/c (ili v/vz) = (uključujući sadržaj vode u agregatu)		kg	1.0	→
Ukupna zapremina u litrima bez agregata i peska				↓
Agregat i pesak (u suvom stanju)		kg ↓	2.65 (proveriti lokalne vrednosti)	← (= Δ za 1000 l)
Ukupno betona		kg (za 1 m ³)	→ kg/l (specifična masa svežeg betona)	← 1000 l (= 1 m ³)

→ = smer proračuna

Napomena: Ukoliko ukupna količina hemijskih dodataka premašuje vrednost od 3 litre/m³ betona, količina vode sadržane u hemijskim dodacima mora biti uračunata u obračun vodocementnog odnosa (v/c)

Primer:

Sastojci koji se koriste za beton projektovanih svojstava	Doziranje u %	Potrebno kg za 1 m ³ (prema recepturi)	Specifična masa u kg/l	Iznos u litrima za 1 m ³
Cement Vrsta: CEM I		kg 325	3.15 (proveriti lokalne vrednosti)	→ 103
Dodatno vezivo Vrsta:		kg		→
Dodatak silikatne prašine (dodatno vezivo)	6	kg 19.5	2.2 (proveriti lokalne vrednosti)	→ 9
Hemijski dodatak 1 Sika ViscoCrete® (proračun na cement + silikatna prašina)	1.2	kg 4.13		(uračunat u vodu)
Hemijski dodatak 2 Vrsta:		kg		
Očekivani ili planirani vazduh 1% = 10 l u 1 m ³		% 3.0	–	→ 30
Voda za mešanje v/c (ili v/vz) = 0.45 (v/vz) (uključujući sadržaj vode u agregatu)		kg 155	1.0	→ 155*
Ukupna zapremina u litrima bez agregata i peska				297 ↓
Agregat i pesak (u suvom stanju)		kg 1863 ↓	2.65 (proveriti lokalne vrednosti)	← 703 (= Δ za 1000 l)
Ukupno betona		kg 2362 (za 1 m ³)	→ 2.362 kg/l (specifična masa svežeg betona)	← 1000 l (= 1 m ³)

* otprilike 1 litar vode teoretski treba da bude dodat (zamenjuje procenjeni suvi sadržaj u hemijskom dodatku)

2. Standard EN 206-1: 2000

Evropski standard za beton EN 206-1:2000 predstavljen je u evropskim zemljama u različitom periodu u zavisnosti od države. U daljem tekstu koristeće se skraćeni naziv EN 206:1.

Primjenjuje se na betone za konstrukcije betonirane na gradilištu, za konstruktivne prefabrikovane elemente i konstrukcije za prefabrikovane konstruktivne elemente korišćene za zgrade i druge građevinske objekte.

Primjenjuje se za:

- Betone normalne težine
- Teške betone
- Lake betone
- Prednapregnute betone

Trenutno se pripremaju evropski standardi za sledeće vrste betona:

- Prskane betone
- Betone za puteve i ostale saobraćajne površine

Ne primenjuju se kod:

- Betona sa uvučenim vazduhom (aerisanih betona)
- Penobetona
- Betona sa otvorenom strukturom (beton bez sitnog agregata ili sa veoma malo sitnog agregata)
- Maltera sa maksimalnom veličinom zrna $\varnothing \leq 4 \text{ mm}$
- Betona sa zapreminskom masom manjom od 800 kg/m^3
- Vatrostalnih betona

Beton se može definisati ili kao beton projektovanih svojstava (uzimajući u obzir klase izloženosti i uslove) ili kao beton projektovanog sastava (navodeći sastav betona).

2.1 Definicije iz standarda

Svojstva betona, izloženost

■ *Beton projektovanih svojstava*

Beton za koji su proizvođaču, putem odgovarajuće specifikacije, zadata osnovna i dodatna svojstva, pri čemu je proizvođač odgovoran za proizvodnju betona sa svim zadatim svojstvima.

■ *Beton projektovanog sastava*

Beton za koji su proizvođaču, putem odgovarajuće specifikacije, zadati sastav i komponentni materijali pri čemu je proizvođač odgovoran za proizvodnju betona zadanog sastava.

■ *Uticaj okoline (→ klase izloženosti)*

Hemijska i fizička dejstva kojima je beton izložen i koja utiču na beton ili armaturu ili ugrađene metale koji se u statičkom proračunu ne smatraju opterećenjem.

■ *Specifikacija*

Završni dokument koji sadrži sve dokumentovane tehničke zahteve i uslove koje je proizvođač dobio zarad performansi ili sastava betona.

■ *Standardizovani propisani beton*

Propisani beton čiji je sastav određen standardom koji se primjenjuje i važi na mestu upotrebe betona.

■ *Specifikator*

Osoba ili telo koje određuje specifikaciju svežeg ili očvrslog betona.

■ *Proizvođač*

Osoba ili telo koje proizvodi svež beton.

■ *Korisnik*

Osoba ili telo koje koristi svež beton u izgradnji građevine ili nekog elementa.

Stavka količine vode u betonu

■ *Ukupna količina vode*

Dodata voda sabrana sa vodom već sadržanom u agregatu i na površini agregata, plus voda korišćena u hemijskim dodacima i primesama koje se koriste u obliku cementnog mleka kao i voda iz dodatog leda i zaparivanja.

■ *Efektivna količina vode*

Razlika između ukupne količine vode prisutne u svežem betonu i vode koja je upijena od strane agregata.

■ *Vodocementni odnos (vodocementni faktor, v/c)*

maseni odnos efektivne količine vode i količine cementa u svežem betonu.

Utovar, isporuka, mesto upotrebe

■ *Beton proizveden na gradilištu*

Beton koji korisnik proizvodi na gradilištu za sopstvenu upotrebu.

■ *Isporučeni beton*

Beton isporučen u svežem stanju od strane osobe ili tela koje nije korisnik. Prema ovom standardu isporučeni beton je takođe

- Beton koji je proizveo korisnik, ali van gradilišta
- Beton proizveden na gradilištu, ali ne od strane korisnika

■ *Tovar*

Količina betona transportovana vozilom koja obuhvata jednu ili više umešanih količina (mešunga).

■ *Umešana količina (mešung)*

Količina svežeg betona proizvedena u jednom ciklusu rada mešalice ili količina koju mešalica sa kontinualnim mešanjem napravi nakon 60 sekundi mešanja.

2.2 Klase izloženosti betona usled uticaja sredine

Delovanje sredine grupisano je u vidu klasa izloženosti.

Klase izloženosti koje se primenjuju zavise od odredbi koje su važeće na mestu upotrebe betona. Ova klasifikacija na osnovu izloženosti ne isključuje uzimanje u obzir posebnih uslova koji postoje na mestu upotrebe betona ili primenu zaštitnih mera, kao što su korišćenje nerđajućeg čelika i drugih metala otpornih na koroziju i korišćenje zaštitnih premaza za beton ili armaturu.

Beton može biti izložen jednoj ili više opisanih vrsta uticaja. Uticaji kojima je beton izložen u skladu sa time mogu biti izraženi kao kombinacija klasa izloženosti.

Tabela 2.2.1

Sortiranje klasa	Opis uticaja iz sredine	Informativni primeri o tome gde se odgovarajuće klase izloženosti mogu pojaviti
Bez rizika od korozije ili agresivnog delovanja		
X 0	Za beton bez armature ili ugrađenog metala: sve vrste izloženosti osim na cikluse smrzavanja/odmrzavanja, habanja ili negativnog hemijskog delovanja	Beton unutar zgrada s niskom vlažnošću vazduha
	Za beton s armaturom ili ugrađenim metalom: vrlo suvo	
Korozija izazvana karbonatizacijom		
X C 1	Suvo ili trajno vlažno	Beton unutar zgrada s niskom količinom vlage u vazduhu. Beton koji je stalno pod vodom
X C 2	Mokro, retko suvo	Betonske površine koje su dugoročno izložene delovanju vode; mnogi temelji
X C 3	Umerena vlaga	Beton unutar zgrada sa umerenom ili visokom količinom vlage u vazduhu; spoljni beton zaštićen od kiše

Sortiranje klasa	Opis uticaja iz sredine	Informativni primeri o tome gde se odgovarajuće klase izloženosti mogu pojaviti
X C 4	Ciklično mokro i suvo	Betonske površine izložene dodiru sa vodom, koje ne spadaju u grupu izloženosti X C 2
Korozija izazvana uticajem hlorida koji ne potiču iz morske vode		
X D 1	Umerena vlaga	Betonske površine izložene delovanju hlorida iz vazduha
X D 2	Mokro, retko suvo	Bazeni; beton izložen industrijskim vodama koje sadrže hloride
X D 3	Ciklično mokro i suvo	Delovi mostova izloženi delovanju vode i prskanju tečnostima koje sadrže hloride; pločnici; parkirališta
Korozija izazvana hloridima iz morske vode		
X S 1	Izloženost delovanju soli iz vazduha, ali ne postoji direktan kontakt s morskom vodom	Gradevine blizu obale ili na obali
X S 2	Stalno potopljena	Delovi marinskih konstrukcija i sl.
X S 3	Zone delovanja plime i oseke, za-pljuskivanja i prskanja morske vode	Delovi marinskih konstrukcija i sl.
Agresija od procesa smrzavanja/odmrzavanja sa ili bez sredstava za odmrzavanje		
X F 1	Umerena zasićenost vodom, bez sredstava za odmrzavanje	Vertikalne betonske površine izložene kiši i smrzavanju
X F 2	Umerena zasićenost vodom, sa sredstvima za odmrzavanje	Vertikalne betonske površine putnih konstrukcija izložene smrzavanju i sredstvima za odmrzavanje u vazduhu
X F 3	Visoka zasićenost vodom, bez sredstava za odmrzavanje	Horizontalne betonske površine izložene kiši i smrzavanju
X F 4	Visoka zasićenost vodom, sa sredstvima za odmrzavanje	Ploče na putevima i mostovima izložene sredstvima za odmrzavanje (betonske površine izložene prskanju otapajućih sredstava za odmrzavanje) i smrzavanju
Hemijska agresija		
X A 1	Blago agresivna hemijska sredina prema Tabeli 2.2.2	Beton u postrojenjima za preradu; taložnici cementnog mleka
X A 2	Umereno agresivna hemijska sredina prema Tabeli 2.2.2	Betonske komponente u dodiru s morskom vodom; komponente u zemlji koje izazivaju koroziju betona
X A 3	Izrazito agresivna hemijska sredina prema Tabeli 2.2.2	Industrijska postrojenja s otpadnim vodama koja izazivaju koroziju betona; silosi; betonske konstrukcije za ispuštanje dimnih gasova

Granične vrednost za klase izloženosti na agresivno hemijsko delovanje iz prirodnog tla i podzemnih voda

Tabela 2.2.2

Naziv	Hemijska svojstva		X A 1 (blago agresivno)	X A 2 (umereno agresivno)	X A 3 (izrazito agresivno)
Podzemna voda					
Sulfati	SO ₄ ²⁻	mg/l	≥ 200 i ≤ 600	> 600 i ≤ 3000	> 3000 i ≤ 6000
	pH	mg/l	≤ 6.5 i ≥ 5.5	< 5.5 i ≥ 4.5	< 4.5 i ≥ 4.0
Ugljen-dioksid	CO ₂ agresivan	mg/l	≥ 15 i ≤ 40	> 40 i ≤ 100	> 100 do zasićenosti
Amonijak	NH ₄ ⁺	mg/l	≥ 15 i ≤ 30	≥ 30 i ≤ 60	> 60 i ≤ 100
Magnezijum	Mg ²⁺	mg/l	≥ 300 i ≤ 1000	> 1000 i ≤ 3000	> 3000 do zasićenosti
Tlo					
Sulfati	SO ₄ ²⁻	mg/kg	≥ 2000 i ≤ 3000	≥ 3000 i ≤ 12 000	> 12 000 i ≤ 24 000

Lista klasa izloženosti i pripadajućeg minimalnog sadržaja cementa prema EN 206-1 naveden je u tabeli na kraju poglavlja 2 ove knjige (Dodatak F: Preporučene granične vrednosti za sastav i svojstva betona).

2.3 Klasifikacija prema konzistenciji

Klase konzistencije navedene u donjoj tablici nisu direktno povezane. Za beton vlažan kao zemlja, tj. za beton sa niskim sadržajem vode, konzistencija nije navedena.

Klase kompaktnosti	
Klasa	Stepen kompaktnosti
C0 ¹	≥ 1.46
C1	1.45 do 1.26
C2	1.25 do 1.11
C3	1.10 do 1.04
Klase rasprostiranja	
Klasa	Prečnik rasprostiranja u mm
F1 ¹	≤340
F2	350 do 410
F3	420 do 480
F4	490 do 550
F5	560 do 620
F6 ¹	≥630
Klase sleganja	
Klasa	Visina sleganja u mm
S1	10 do 40
S2	50 do 90
S3	100 do 150
S4	160 do 210
S5 ¹	≥220
Vebe klase	
Klasa	Vebeovo vreme u sekundama
V0 ¹	≥31
V1	30 do 21
V2	20 do 11
V3	10 do 6
V4 ²	do 3

¹ Nije preporučljivo za primenu

² Nije preporučljivo za primenu (ali je uobičajeno za samozbijajući beton)

2.4 Klase betona prema čvrstoći pri pritisku

Karakteristične čvrstoće pri pritisku valjka dimenzija 150 mm x 300 mm ili kocke ivice 150 mm mogu se koristiti za klasifikaciju.

Klase čvrstoće pri pritisku betona normalne težine i teškog betona:

Klasa čvrstoće pri pritisku	Najmanja karakteristična čvrstoća valjka $f_{ck.cyl}$ N/mm ²	Najmanja karakteristična čvrstoća kocke $f_{ck.cube}$ N/mm ²
C 8 / 10	8	10
C 12 / 15	12	15
C 16 / 20	16	20
C 20 / 25	20	25
C 25 / 30	25	30
C 30 / 37	30	37
C 35 / 45	35	45
C 40 / 50	40	50
C 45 / 55	45	55
C 50 / 60	50	60
C 55 / 67	55	67
C 60 / 75	60	75
C 70 / 85	70	85
C 80 / 95	80	95
C 90 / 105	90	105
C 100 / 115	100	115

Klase čvrstoće pri pritisku lakog betona:

Klasa čvrstoće pri pritisku	Najmanja karakteristična čvrstoća valjka $f_{ck.cyl}$ N/mm ²	Najmanja karakteristična čvrstoća kocke $f_{ck.cube}$ N/mm ²
LC 8 / 9	8	9
LC 12 / 13	12	13
LC 16 / 18	16	18
LC 20 / 22	20	22
LC 25 / 28	25	28
LC 30 / 33	30	33

Klasa čvrstoće pri pritisku	Najmanja karakteristična čvrstoća valjka $f_{ck.cyl}$ N/mm ²	Najmanja karakteristična čvrstoća kocke $f_{ck.cube}$ N/mm ²
LC 35 / 38	35	38
LC 40 / 44	40	44
LC 45 / 50	45	50
LC 50 / 55	50	55
LC 55 / 60	55	60
LC 60 / 66	60	66
LC 70 / 77	70	77
LC 80 / 88	80	88

Klasifikacija lakog betona prema zapreminskoj masi:

Klase prema masi	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Raspon	≥ 800	> 1000	> 1200	> 1400	> 1600	> 1800
zapreminske mase (kg/m ³)	i	i	i	i	i	i
	≤ 1000	≤ 1200	≤ 1400	≤ 1600	≤ 1800	≤ 2000

2.5 *k*-vrednost (izvod iz EN 206-1)

Ako se koriste **mineralni dodaci tipa II** (leteći pepeo i silikatna prašina, videti poglavlje 1), *k*-vrednost im omogućuje da budu uzeti u obzir prilikom proračuna količine vode u svežem betonu. (Koncept *k*-vrednosti može biti različit u različitim državama.)

Korišćenje:

Cementa	“vodocementni (voda/ cement) odnos”
Cementa i mineralnih dodataka tipa II	“voda / (cement + $k \times$ dodatak) odnos”

Stvarna vrednost *k* zavisi od specifičnosti mineralnog dodatka.

Koncept *k*-vrednosti za leteći pepeo prema EN 450

Maksimalna količina letećeg pepela koja se uzima u obzir za koncept *k*-vrednosti treba da zadovolji uslov:

Odnos leteći pepeo/cement ≤ 0.33 po masi

Ako se koristi veća količina letećeg pepela, višak se neće uzeti u obzir prilikom proračuna odnosa voda/(cement + $k \times$ leteći pepeo) i minimalne količine cementa.

Dole navedene k -vrednosti dozvoljene su za beton koji sadrži cement tipa CEM I u skladu sa EN 197-1:

CEM I 32.5	$k = 0.2$
CEM I 42.5 i više	$k = 0.4$

Minimalne količine cementa koje se zahtevaju za odgovarajuće klase izloženosti (Izvod iz EN 206-1: Dodatak F: Preporučene granične vrednosti za sastav i svojstva betona):

To se može umanjiti maksimalnim iznosom $k \times (\text{minimalna količina cementa} - 200) \text{ kg/m}^3$.

Pored toga, iznos (cement + leteći pepeo) ne sme biti manji od minimalne zahtevane količine cementa.

Koncept k -vrednosti se ne preporučuje za beton koji sadrži kombinaciju letećeg pepela i sulfatno-otpornog cementa CEM I u slučaju klasa izloženosti XA2 i XA3 kada je u pitanju agresivna supstanca sulfat.

Koncept k -vrednosti za silikatnu prašinu prema EN 13263:1998

Maksimalna količina silikatne prašine koju treba uzeti u obzir prilikom proračuna vodocementnog odnosa (v/c) i količine cementa treba da zadovolji uslov:

Silikatna prašina/cement ≤ 0.11 po masi

Ako se koristi veća količina silikatne prašine, višak se ne uzima u obzir prilikom proračuna kod koncepta k -vrednosti.

Dozvoljene k -vrednosti za beton koji sadrži cement CEM I prema EN 197-1:

Vodocementni odnos:	
≤ 0.45	$k = 2.0$
> 0.45	$k = 2.0$ osim za klase izloženosti XC i XF gde je $k = 1.0$

Minimalne količine cementa za odgovarajuće klase izloženosti (videti izvod iz EN 206-1 dodatak F: Preporučene granične vrednosti za sastav i svojstva betona):

Minimalna količina cementa ne može biti umanjena za više od 30 kg/m^3 za beton koji se koristi za onu klasu izloženosti za koju je minimalna količina cementa $\leq 300 \text{ kg/m}^3$.

Pored toga, iznos (cement + $k \times$ silikatna prašina) ne sme biti manji od minimalne količine cementa potrebne za odgovarajuću klasu izloženosti.

Kombinovano korišćenje letećeg pepela prema EN 450 i silikatne prašine prema EN 13263

Kako bi se osigurala dovoljna alkalnost rastvora u porama armiranog i prednapregnutog betona potrebno je zadovoljiti sledeće uslove za maksimalne količine letećeg pepela i silikatne prašine:

- Leteći pepeo $\leq (0.66 \times \text{cement} - 3 \times \text{silikatna prašina})$ po masi
- Silikatna prašina/cement ≤ 0.11 po masi

2.6 Sadržaj hlorida (izvod iz EN 206-1)

Sadržaj hlorida u betonu, izražen kao procenat jona hlorida po masi cementa, ne sme za odabrane klase betona preći vrednosti navedene u donjoj tabeli.

Maksimalan sadržaj hlorida u betonu

Upotreba betona	Klasa sadržaja hlorida ^a	Maksimalna količina hlorida po masi cementa ^b
Beton koji ne sadrži čeličnu armaturu ili druge ugrađene metale uz izuzetak ankera za podizanje elemenata otpornih na koroziju	CI 1.00	1.00 %
Beton koji sadrži čeličnu armaturu ili druge ugrađene metale	CI 0.20	0.20 %
	CI 0.40	0.40 %
Beton koji sadrži prednapregnutu čeličnu armaturu	CI 0.10	0.10 %
	CI 0.20	0.20 %

^a Klasa koja se primenjuje za konkretnu upotrebu betona zavisi od važećih propisa korišćenih na mestu upotrebe betona.

^b U slučajevima kada se koriste mineralni dodaci tipa II, oni se uzimaju u obzir prilikom proračuna količine cementa tako što se količina hlorida izražava kao procenat hloridnih jona po masi cementa uvećanoj za masu navedenih mineralnih dodataka.

Izvod iz EN 206-1: Dodatak F: Preporučene granične vrednosti za sastav i svojstva betona

Klasa izloženosti																					
	Bez rizika od korozije ili agresivnog delovanja	Korozija uzrokovana karbonatizacijom				Korozija uzrokovana uticajem hlorida							Agresija uzrokovana procesima smrzavanja/odmrzavanja				Hemijski agresivna sredina				
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	Hloridi koji ne potiču iz morske vode				XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
Maksimalan vodocementni odnos (v/c)	–	0.65	0.60	0.55	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45	0.55	0.55	0.55	0.45	0.55	0.55	0.50	0.45	0.55	0.50	0.45	
Minimalna klasa čvrstoće pri pritisku	C12/ 15	C25/ 25	C30/ 30	C30/ 37	C30/ 37	C30/ 37	C30/ 37	C35/ 45	C35/ 45	C30/ 37	C30/ 37	C35/ 45	C30/ 37	C30/ 37	C25/ 30	C30/ 37	C30/ 37	C30/ 37	C30/ 37	C35/ 45	
Minimalna količina cementa (kg/m³)	–	260	280	280	300	300	300	320	340	300	300	320	300	300	300	320	340	300	320	360	
Minimalna količina vazduha (%)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4.0 ^a	4.0 ^a	4.0 ^a	–	–	–	
Ostali zahtevi															Agregat odgovara EN 12620 sa dovoljnom otpornošću na smrzavanje/odmrzavanje				Sulfatno otporni cement ^b		
^a Za beton bez uvučenog vazduha, svojstva betona je potrebno pomoću odgovarajućeg postupka ispitati u poređenju sa betonom za koji je dokazana otpornost na smrzavanje/odmrzavanje za odgovarajuću klasu izloženosti.																					
^b Cement umereno ili visoko otporan na sulfate treba koristiti za klasu izloženosti XA2 (i za klasu izloženosti XA1 ako je primenljivo) a cement visoke otpornosti na sulfate za klasu izloženosti XA3.																					

2.7 Specifikacija betona

Oznake za vrste betona su promenjene zbog uvođenja standarda EN 206-1 (na primer, za ponude).

Primer: Pumpani beton za ploču u području podzemnih voda

Specifikacija prema EN 206-1 (beton projektovanih svojstava)

Beton prema standardu EN 206-1

C 30/37

XC 4

CI 0.20

D_{max} 32 (maks. zrno Ø)

C3 (stepen kompaktnosti)

Može se pumpati

2.8 Kontrola saglasnosti

Kontrola saglasnosti obuhvata kombinaciju postupaka i odluka donešenih radi saobraznosti pravila usvojenih za unapređivanje saglasnosti betona sa specifikacijama.

Kontrola saglasnosti razlikuje beton projektovanih svojstava i beton projektovanog sastava. Postoje i druge različite vrste kontrola u zavisnosti od vrste betona.

Kontrola saglasnosti može se sprovoditi na pojedinačnim betonima ili na familijama betona.

Minimalna količina uzoraka za procenu čvrstoće pri pritisku (prema EN 206-1)

	Do 50 m ³	Više od 50 m ³ ^a	Više od 50 m ³ ^a
		Beton sa sertifikovanom kontrolom proizvodnje	Beton bez sertifikovane kontrole proizvodnje
Početna (dok se ne dobije barem 35 rezultata)	3 uzorka	1/200 m ³ ili 2/ nedeljnu proizvodnju	1/150 m ³ ili 1/ dnevnu proizvodnju
Kontinuirana ^b (kad postoji barem 35 rezultata ispitivanja)		1/400 m ³ ili 1/ nedeljnu proizvodnju	

^a Uzimanje uzoraka mora biti raspoređeno ravnomerno kroz celu proizvodnju te nije neophodno uzeti više od jednog uzorka na svakih 25 m³.

^b Ako standardna devijacija poslednjih 15 rezultata ispitivanja premašuje 1.3 σ , količinu uzimanja uzoraka potrebno je povećati na količinu potrebnu za početnu proizvodnju za sledećih 35 rezultata ispitivanja.

Kriterijumi saglasnosti za čvrstoću pri pritisku: videti EN 206-1.

2.9 Dokaz ostalih svojstava betona

Sertifikati saglasnosti za ostale karakteristike svežeg i očvrslog betona prema EN-206-1 moraju se pribaviti kao dopuna rezultatima čvrstoća pri pritisku.

Određeni su plan uzimanja i ispitivanja uzoraka i kriterijumi saglasnosti za čvrstoću pri zatezanju cepanjem, konzistenciju (ugradivost), zapreminsku masu, količinu cementa, sadržaj vazduha, sadržaj hlorida i vodocementni odnos (videti odgovarajuće odeljke iz EN 206-1).

Detalji o pojedinim metodama ispitivanja navedeni su u poglavlju 4 i poglavlju 5.

3. Beton



3.1 Osnovne upotrebe betona

Smisleno je klasifikovana upotreba betona na osnovu toga gde i kako je proizveden, zajedno sa načinom njegove primene, s obzirom na različite zahteve i karakteristike. U tabeli je navedena prodaja cementa u dve različite evropske države u 2002. kao primer razlike u procentualnom učešću u proizvodnji i distribuciji kao i različitom načinu primene:

Švajcarska	Nemačka
■ Oko 72 % isporučeno za fabrike betona	■ Oko 55 % isporučeno za fabrike betona
■ Oko 17% isporučeno trgovcima građevinskog materijala	■ Oko 20 % isporučeno proizvođačima betonskih proizvoda
■ Oko 7 % isporučeno proizvođačima prefabrikovanih elemenata	■ Oko 11 % isporučeno proizvođačima prefabrikovanih elemenata
■ Oko 4 % ostalima	■ Oko 14 % ostalima

3.1.1 Beton ugrađen na gradilištu („in situ”)

Beton ugrađen na licu mesta je gradilišni (spravljen na gradilištu) ili isporučeni beton (ready mix concrete), koji zauzima i ostaje u istom položaju u konstrukciji nakon ugradnje u oplatu.

Danas na tržištu postoji jako mnogo fabrika betona koje su rasprostranjene, te beton može biti dopremljen do izvođača radova na gradilište sa velikom pouzdanošću i u vrlo kratkom vremenskom roku.

Proizvodnja na gradilištu pruža finansijske i logističke prednosti, posebno na velikim gradilištima gde je beton potreban u kontinuitetu.

Beton ugrađen na gradilištu može se proizvesti u različitim varijantama te mora biti usklađen s nizom specifikacija. Njegova ugradnja može se podeliti u sledeće korake:

Priprema za projekat betona

Prilikom priprema za izradu projekta betona potrebno je odrediti svojstva betona na osnovu specifičnih projektnih zahteva. Potrebno je definisati sledeće parametre:

- Zahtevi za čvrstoćom
- Trajnost
- Izgled
- Maksimalno zrno agregata
- Način ugradnje
- Brzina ugradnje
- Potrebna konzistencija betona
- Opšti uslovi i ograničenja (temperatura itd.)
- Metoda i mesto isporuke
- Vreme negovanja/čekanja
- Određivanje uslova ispitivanja
- Receptura i specifikacija
- Prethodno ispitivanje
- Prilagođavanje recepture po potrebi

Betoni dobijeni na osnovu gore navedenih parametara detaljno su opisani u poglavlju Posebni betoni (poglavlje 3.2). Svojstva svežeg betona detaljno su opisana u poglavlju 4, a svojstva očvrslog betona u poglavlju 5. Ispitivanje svežeg betona opisano je u poglavlju 4, a očvrslog betona u poglavlju 5.

Proizvodnja

Proizvodnja je ključni činilac za dobijanje kvalitetnog betona i sastoji se od doziranja i mešanja komponenti. Dole navedeni parametri mogu uticati na svojstva betona tokom mešanja:

- | | |
|------------------------|---------------------------------------|
| – Tip i vrsta mešalice | – Doziranje komponenti |
| – Veličina mešalice | – Kontrola kvaliteta u fabrici betona |
| – Intenzitet mešanja | – Osoba zadužena za rad na mešalici |
| – Vreme mešanja | – Čišćenje/održavanje mešalice |

Superplastifikatori se po pravilu mešaju sa vodom ili se dodaju mešavini zajedno s vodom (najranije). Detaljne informacije navedene su u tehničkim listovima Sika proizvoda.

■ Priprema na gradilištu

Priprema na gradilištu uključuje:

- Instalaciju sistema za ugradnju i postavljanje betona
- Pripremu oplata (uključujući premaze za odvajanje)
- Proveru armature
- Proveru oplata (fiksiranje, kompaktnost, pritisak oplata)
- Nabavku alata za ugradnju (vibratore itd.) i završnu obradu (glete-lice, ravnjače i dr.)

■ Isporuka

Ako se beton doprema auto-mešalicama, moraju se uzeti u obzir sledeći, dodatni kriterijumi:

- Vreme isporuke (stanje u saobraćaju, mogući zastoji itd.)
- Određivanje broja okretaja bubnja mešalice za vreme vožnje
- Ne ostavljati auto-mešalice na suncu tokom čekanja na istovar
- Za tačnu konzistenciju (SCC) potrebno je odrediti maksimalan kapacitet za transport
- Ne dodavati vodu i dodatne količine hemijskih dodataka (osim ako nije drugačije navedeno)
- Ponovo dobro promešati pre istovara (1 minut po m³)

■ Ugradnja betona

Beton se uglavnom ugrađuje u okviru ograničenog vremenskog perioda propisanog za ugradnju. Činioci navedeni u daljem tekstu doprinose uspešnoj ugradnji betona koja je ključna za kvalitet betona:

- Provera dostavnice
- Korišćenje ispravne opreme (vibratori itd.)
- Izbegavanje nepotrebnog premeštanja betona
- Kontinualna ugradnja i zbijanje
- Revibriranje kod velikih isporuka
- Preduzimanje odgovarajućih mera za vreme prekida
- Sprovođenje neophodne završne obrade (završna provera)

■ Nega

Za postizanje stalnog i pouzdanog kvaliteta betona ključna je pravilna odnosno odgovarajuća nega. Tome doprinose, u daljem tekstu navedene, mere nege betona:

- Zaštita od različitih klimatskih uticaja (direktan uticaj sunca, vetar, kiša, mraz itd.)
- Sprečavanje vibracija (nakon završene obrade)
- Korišćenje premaza za negu
- Prekrivanje folijama ili prekrivačima za zaštitu od mraza
- Održavanje potrebne vlažnosti ili prskanje/polivanje u slučaju potrebe
- Vreme trajanja nege uskladiti s temperaturom
- Detaljne informacije o nezi navedene su u poglavlju 8

3.1.2 Beton za prefabrikovane konstrukcije

Prefabrikovani beton se koristi za konstrukcije koje se isporučuju nakon očvršćavanja betona. To znači da nema dugih transportovanja svežeg betona koji mogu imati posledice u proizvodnji. Beton koji se koristi za proizvodnju prefabrikovanih konstrukcija zahteva industrijski proces proizvodnje te je bitno napraviti dobru recepturu koja bi omogućila trajnu optimizaciju. U različitim koracima procesa važne su sledeće faze:

■ Priprema projekta betona

Prilikom priprema projekta betona, potrebno je ustanoviti svojstva i zahteve za određene vrste betonskih elemenata, njihovu namenu i uslove izloženosti. Potrebno je definisati sledeće parametre:

- Zahteve za čvrstoćom
- Trajnost
- Izgled površine betona
- Maksimalno zрно agregata
- Način ugradnje
- Brzinu betoniranja
- Konzistenciju betona
- Opšte uslove i ograničenja (temperatura itd.)
- Rukovanje i ugradnju betona
- Određivanje uslova ispitivanja
- Uzimanje u obzir specifičnih parametara za betonske elemente
- Određivanje načina negovanja
- Recepturu i specifikaciju
- Prethodna ispitivanja
- Prilagođavanje recepture po potrebi

Betoni dobijeni na osnovu gore navedenih parametara detaljno su opisani u poglavlju Posebni betoni. Svojstva svežeg betona detaljno su opisana u poglavlju 4, a svojstva očvrstlog beton u poglavlju 5. Ispitivanje svežeg betona opisano je u poglavlju 4.2, a očvrstlog betona u poglavlju 5.2.

■ Proizvodnja

Proizvodnja je ključni činilac za beton i sastoji se od doziranja i mešanja komponenti. Dole navedeni parametri mogu uticati na svojstva betona tokom mešanja:

- Vrsta i tip mešalice
- Veličina mešalice
- Intenzitet mešanja
- Trajanje mešanja
- Dodavanje sirovina
- Kontrola kvaliteta na fabrici betona
- Osoba zadužena za rad na mešalici
- Čišćenje/održavanje mešalice

Superplastifikatori se po pravilu mešaju sa vodom ili se dodaju mešavini zajedno s vodom (najranije). Detaljne informacije navedene su u tehničkim listovima odgovarajućih Sika proizvoda.

■ Priprema

Priprema u u fabrici za proizvodnju prefabrikovanih elemenata podrazumeva:

- Nabavku oplata i sistema za ugradnju
- Pripremu oplata (uključujući premaze za odvajanje)
- Proveru armature
- Proveru oplata (fiksiranje, kompletnost, sastave)
- Nabavku alata za ugradnju betona i završnu obradu

■ Ugradnja betona

Beton se uopšteno postavlja unutar ograničenog i unapred definisanog kratkog vremenskog perioda. Činioci navedeni u daljem tekstu doprinose uspešnoj ugradnji betona koja je ključna za kvalitet betona:

- Provera betona koji se ugrađuje
- Korišćenje ispravne opreme (vibratori itd.)
- Izbegavanje prekomernog rukovanja betonom
- Kontinualno postavljanje i ugradnja
- Vrlo pažljiva završna obrada
- Završna provera

■ Nega

Budući da prefabrikovani proizvodi zahtevaju neprekidnu proizvodnju, sve faze proizvodnje su ograničene kratkim vremenskim intervalima, što stoga daje posebnu važnost adekvatnoj nezi betona zbog vremenskih ograničenja. Zato je potrebno:

- Uključiti pitanje nege u projekat betona
- Koristiti zaparivanje ako je potrebno
- Sprečavanje vibriranja (nakon završetka)
- Korišćenje premaza za negu
- Prekrivanje folijama ili prekrivačima za zaštitu od mraza
- Održavanje potrebne vlage ili prskanje/polivanje u slučaju potrebe
- Vreme trajanja nege uskladiti s temperaturom

Detaljne informacije o nezi navedene su u poglavlju 8.

3.2 Posebni betoni

3.2.1 Pumpani beton

Pumpani betoni su betoni koji u današnje vreme imaju jako veliku i široku primenu. Odgovarajuća receptura je od izuzetne važnosti za proces pumpanja bez pojave segregacije ili blokiranja linije.

Sastav

■ Agregat

- Maksimalna veličina zrna $\varnothing < 1/3$ unutrašnjeg prečnika cevi
- Fini malter u mešavini koja se pumpa mora imati dobru koheziju kako ne bi došlo do segregacije betona tokom pumpanja.

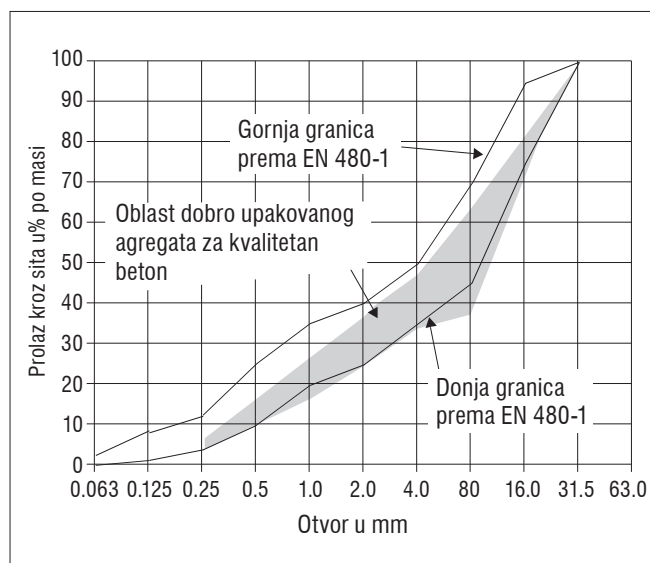
*Standardne vrednosti za sadržaj najfinijih zrna
(sadržaj zrna $\emptyset \leq 0.125$ mm) prema EN 206-1:2000*

Zrno $\emptyset$ 8 mm	Zrno $\emptyset$ 16 mm	Zrno $\emptyset$ 32 mm
450 kg/m ³	400 kg/m ³	350 kg/m ³

Preporuka kompanije Sika:

Maks. zrno $\emptyset$	Zaobljeni agregat	Drobljeni agregat
8 mm	500 kg/m ³	525 kg/m ³
16 mm	425 kg/m ³	450 kg/m ³
32 mm	375 kg/m ³	400 kg/m ³

Granulometrijska kriva: Pumpani beton trebalo bi da se sastoji od mešavine različitih pojedinačnih sastojaka i frakcija, ukoliko je to moguće, a pri tome je vrlo važno je da kompozicija agregata bude kontinualna. Sadržaj zrna krupnoće 4 – 8 mm treba biti nizak ali celokupna kriva ne sme biti diskontinualna.



■ Cement

Preporučene minimalne količine cementa

Maks. zrno $\emptyset$	Zaobljeni agregat	Drobljeni agregat
8 mm	380 kg/m ³	420 kg/m ³
16 mm	330 kg/m ³	360 kg/m ³
32 mm	300 kg/m ³	330 kg/m ³

■ Odnos vode i veziva (vodovezivni odnos, v/vz)

Ako je količina vode prevelika, prilikom pumpanja dolazi do segregacije i krvarenja (izdvajanja vode na površini), što može uzrokovati zastoje i blokiranje rada pumpe. Sadržaj vode bi trebalo smanjivati korišćenjem superplastifikatora.

Obradivost

Svež beton mora imati meku konzistenciju uz dobru unutrašnju koheziju. U idealnom slučaju se konzistencija pumpanog betona određuje na osnovu stepena kompaktnosti.

■ Konzistencija svežeg betona

Metoda ispitivanja	Klasa konzistencije	Merenje
Mera zbijanja	C2 – C3	1.04 – 1.25
Prečnik rasprostiranja	F3 – F4	42 – 55 cm

Sredstva za poboljšanje pumpanja betona

Različitost agregata, oscilacije komponenata, velike udaljenosti od mesta isporuke ili velike količine za ugradnju zahtevaju korišćenje sredstava za poboljšanje pumpanja betona. Ova sredstva smanjuju trenje i otpor u cevima te habanje pumpe i cevi, a povećavaju izlazni kapacitet.

■ Cevi

- Ø 80 do 200 mm (normalno Ø 100, 125 mm)
- Što je Ø manji, to je pumpanje složenije (odnos površina/presek)
- Spojnice moraju biti pravilno postavljene kako bi se sprečio gubitak pritiska i finih čestica
- Prvih nekoliko metara cevi trebalo bi da budu što horizontalnije i bez lukova. (To je posebno bitno pre prolaska kroz vertikalne cevi.)
- Zaštititi cevi od direktnog izlaganja suncu tokom leta

■ Mešavine za podmazivanje

Mešavina za podmazivanje služi za podmazivanje unutrašnjosti cevi jako sitnozrnim slojem što omogućuje jednostavno pumpanje od samog početka.

- Uobičajena mešavina: Malter 0 – 4 mm, sadržaj cementa je isti kao za naredne betone koji će se pumpati ili nešto viši. Količina zavisi od prečnika i dužine cevi

■ Uticaj sadržaja vazduha na pumpani beton

Beton otporan na mraz i procese smrzavanja/odmrzavanja, koji sadrži mikropore može se pumpati ako je sadržaj vazduha < 5 %, jer veća količina vazduha dovodi do povećanja otpora prilikom pumpanja.

Upotreba Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Redukcija vode. Povećana čvrstoća i nepropusnost uz garantovanu konzistenciju (obradivost) i pumpabilnost
SikaFume®	Silikatna prašina	Visoka čvrstoća, povećana nepropusnost, poboljšana pumpabilnost
SikaPump®	Sredstvo za poboljšanje pumpanja	Olakšava pumpanje problematičnog agregata i štiti opremu od prekomernog habanja
Sika® Stabilizer	Stabilizator	Održava unutrašnju koheziju. Olakšava pumpanje lošeg agregata i štiti opremu od prekomernog habanja

3.2.2 Beton za saobraćajne površine

Beton za saobraćajne površine ima mnogo primena i često se koristi kao alternativa asfaltu zbog svoje trajnosti i drugih prednosti.

Područja primene betona za saobraćajne površine:

- Standardna izgradnja puteva
- Betonski kružni tokovi
- Aerodromske piste
- Industrijski podovi

Kada se beton primenjuje u gore navedene svrhe, betonski sloj je ujedno i nosivi i gazeći sloj. Kako bi se zadovoljili uslovi oba navedena sloja, beton mora imati sledeća svojstva:

- Visoku čvrstoću pri zatezanju savijanjem
- Otpornost na smrzavanje/odmrzavanje
- Dobru otpornost na klizanje
- Nizak nivo habanja

Sastav betona je ključni faktor u postizanju željenih svojstava. Kriterijumi za izbor različitih sastojaka su sledeći:

■ Agregat

- Korišćenje mešavina sa malim količinama sitnih zrna
- Korišćenje uravnotežene granulometrijske krive
- Korišćenje drobljenih ili delimično drobljenih agregata povećava otpornost na klizanje i čvrstoću pri savijanju

■ Cement

- Doziranje 300 – 350 kg/m³, obično CEM I 42.5

■ Mineralni dodaci betonu

- Silikatna prašina se koristi za puteve i saobraćajnice opterećene teškim saobraćajem ili u cilju povećanja opšte trajnosti
- Povećanje otpornosti na klizanje posipanjem površine silicijum-karbidom ili sitnom rizlom

Beton za saobraćajne površine spada u posebne betone, pa je iz tog razloga neophodno obratiti posebnu pažnju na sledeće:

- Velike površine se uglavnom betoniraju pomoću mašina za popločavanje.
Konzistencija mora odgovarati vrsti mašine.
- Poboljšanje otpornosti na klizanje urezivanjem brazdi ili završnom obradom četkom
- Temeljna nega betona je od ključnog značaja

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Redukcija vode. Poboľšana čvrstoća pri pritisku i čvrstoća pri savijanju. Poboľšana konzistencija
SikaFume®	Silikatna prašina	Visoka čvrstoća, povećana vodonepropusnost
SikaAer®	Aerant	Uvlači vazduh za povećanje otpornosti na mraz i cikluse smrzavanje/odmrzavanje
SikaRapid®	Ubrzivač očvršćavanja	Brži razvoj čvrstoće
Sika Retarder®	Usporivač vezivanja	Odložen početak vezivanja
Sika® Antisol®-E, -S	Premaz za negu	Zaštita od preranog isušivanja

3.2.3 Samozbijajući beton („SCC beton”)

Samozbijajući beton („SCC beton”) odlikuje veći sadržaj finih zrna nego kod običnog betona usled veće količine veziva i drugačije granulometrijske krive. Ovako usaglašena svojstva zajedno s posebno prilagođenim superplastifikatorima omogućuju jedinstvenu fluidnost i specifičnu sposobnost zbijanja. Samozbijajući beton otvara nove mogućnosti korišćenja betona koje uveliko prevazilaze mogućnosti konvencionalnih betona:

- Korišćenje kod gusto raspoređene armature
- Za složene geometrijske oblike
- Za tanke poprečne preseke
- U svim slučajevima kada je otežano zbijanje betona
- Za zahtevane homogene strukture betona
- Za brzo ugrađivanje
- Za smanjenje buke (uklanjanje ili smanjenje vibracija)
- Za smanjenje štetnog uticaja na zdravlje (sindrom belih zglobova)

Sastav

■ Agregat

Poželjne su sitnije frakcije agregata maksimalnih veličina zrna do otprilike 12 do 20 mm, ali je u principu moguće koristiti sve agregate.

Primer granulometrijskog sastava

Veličina zrna	SCC 0/8 mm	SCC 0/16 mm	SCC 0/32 mm
0/4 mm	60 %	53 %	45 %
4/8 mm	40 %	15 %	15 %
8/16 mm	–	32 %	15 %
16/32 mm	–	–	30 %

Sadržaj finih čestica $\varnothing \leq 0.125$ mm (cement, mineralni dodaci i filer)

SCC 0/4 mm	$\geq 650 \text{ kg/m}^3$
SCC 0/8 mm	$\geq 550 \text{ kg/m}^3$
SCC 0/16 mm	$\geq 500 \text{ kg/m}^3$
SCC 0/32 mm	$\geq 475 \text{ kg/m}^3$

■ Količina veziva

Na osnovu količine sitnih čestica moguće je odrediti dole navedene količine cementa i agregata, u zavisnosti od potrebnog kvaliteta betona i vrste peska koji se koristi:

Količina cementa i mineralnih dodataka (ukupno)

SCC 0/4 mm	550 – 600 kg/m^3
SCC 0/8 mm	450 – 500 kg/m^3
SCC 0/16 mm	400 – 450 kg/m^3
SCC 0/32 mm	375 – 425 kg/m^3

■ Količina vode

Količina vode u samozbijajućem (SCC) betonu zavisi od potrebnog kvaliteta betona te se može definisati na sledeći način:

Količina vode

$> 200 \text{ l/m}^3$	Nizak kvalitet betona
180 do 200 l/m^3	Standardan kvalitet betona
$< 180 \text{ l/m}^3$	Visok kvalitet betona

■ Hemijski dodaci betonu

Za prilagođavanje količine vode i postizanje odgovarajuće homogenosti i odgovarajućeg viskoziteta potrebno je koristiti superplastifikatore poslednje generacije, kao što je npr. **Sika® ViscoCrete®** tehnologija.

Ugradnja samozbijajućeg (SCC) betona

■ Oplata

Oplate koje se koriste za samozbijajući beton moraju biti čiste, pravilno postavljene i dobro pričvršćene. Pritisak u oplati može biti viši nego kod klasičnog betona. Pritisak u oplati zavisi od viskoziteta betona, brzine ugradnje i mesta punjenja. Prilikom projektovanja oplata potrebno je uzeti u obzir celokupni mogući hidrostatički pritisak betona.

■ Metod ugradnje

Samozbijajući beton se ugrađuje na isti način kao i običan beton. Samozbijajući beton (SCC) se ne sme slobodno sipati sa velike visine. Optimalnost mogućeg protoka i izgled površine betona dobija se punjenjem oplata odozdo na gore. To je moguće postići upotrebom posebnih levkastih cevi.

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sika® ViscoCrete® serije -1, -3,	SCC superplastifikator (proizvod za leto)	Povećava čvrstoću i nepropustljivost
Sika® ViscoCrete® serije -5	SCC superplastifikator (proizvod za zimu)	Visoka redukcija vode
Sika® ViscoCrete® serije -5 i 20 HE	SCC superplastifikator (prefabrikovani elementi)	Poboljšanje svojstava samozbijanja Poboljšava unutrašnju koheziju
SikaFume®	Silikatna prašina	Visoka čvrstoća, povećana nepropustljivost Podržava stabilnost uvučenog vazduha
Sika® Stabilizer	Stabilizator	Poboljšava koheziju Zamenjuje najfinija zrna
SikaAer®	Aerant	Uvlači mehuriće vazduha za proizvodnju samozbijajućeg betona otpornog na uticaje mraza i soli
SikaRapid® Sika Retarder®	Ubrzivač očvršćavanja Usporivač vezivanja	Kontrola vezivanja i očvršćavanja samozbijajućeg betona

3.2.4 Beton otporan na mraz (cikluse smrzavanja/odmrzavanja) i mraz i so

Beton otporan na mraz (ciklusi smrzavanja/odmrzavanja) i mraz i so mora se koristiti uvek kada su betonske površine izložene vremenskim i klimatskim uticajima (padavinama) i kada se temperatura betonske površine može spustiti ispod nule.

- Fasade od natur betona
- Mostovske konstrukcije
- Portali za tunelske konstrukcije
- Putevi i saobraćajnice
- Potporni zidovi

Dodavanjem aeranata tokom procesa mešanja, u izuzetno finom malteru (cement, najfinija zrna, voda) betona se stvaraju mali, loptasti, zatvoreni mehurići vazduha. Cilj je osigurati otpornost očvrslag betona na mraz i soli (stvaranjem prostora za ekspandiranje vode usled smrzavanja).

Vrsta, veličina i raspodela mehurića vazduha

Mehurići vazduha sadržani u standardnom betonu su po pravilu preveliki (> 0.3 mm) za povećanje otpornosti na mraz (cikluse smrzavanja/odmrzavanja) i mraz i so. **Delotvorni mehurići vazduha** uvode se pomoću posebnih aeranata. Mehurići vazduha nastaju u procesu mešanja. Kako bi se ostvario pun učinak, oni ne smeju biti previše udaljeni jedni od drugih. „Efektivna udaljenost” se definiše na osnovu tzv. **prostornog faktora**.

Vreme proizvodnje/mešanja

Kako bi se osigurala visoka otpornost na mraz (cikluse smrzavanja/odmrzavanja) i mraz i so, vreme mešanja mora biti duže nego kod standardnog betona te je potrebno nastaviti sa mešanjem i nakon dodavanja aeranta. Produženje vremena mešanja sa 60 na 90 sekundi povećava količinu mehurića vazduha i do 100%.

Potreban sadržaj uvučenog vazduha

Kako bi se osigurala velika otpornost na mraz, cementna matrica mora sadržati oko 15 % odgovarajućih vazdušnih pora (mehurića vazduha). Dugogodišnje iskustvo potvrđuje da u betonu postoji dovoljno delotvornih mehurića vazduha ako rezultati ispitivanja pokazuju dole navedene količine vazduha:

- Beton s maksimalnom veličinom zrna od 32 mm, 3 % do 5 %
- Beton s maksimalnom veličinom zrna od 16 mm, 4 % do 6 %

Svež beton sa količinom mehurića vazduha od 7 % i više može se ugraditi tek nakon detaljne provere i ispitivanja.

Faktori koji utiču na sadržaj uvučenog vazduha

■ Granulometrija

Mehurići vazduha uglavnom nastaju uz frakciju peska od 0.25 – 0.5 mm. Veće čestice nemaju uticaja na uvlačenje mehurića vazduha. Najfinija zrna peska, cementa ili nekih dodataka mogu sprečiti uvlačenje mehurića vazduha.

■ Konzistencija

Optimalno uvlačenje mehurića vazduha postiže se u opsegu od plastične do meko plastične konzistencije. Moguće je da beton razređen dodavanjem vode ne zadržava mehuriće vazduha podjednako dobro ili podjednako dugo kao originalni beton.

■ Temperatura

Sposobnost uvlačenja mehurića vazduha opada sa porastom temperature svežeg betona i obrnuto.

■ Isporuka

Za vreme isporuke moguće je očekivati promenu sadržaja vazduha. U zavisnosti od načina isporuke i vibriranja tokom transporta, u betonu dolazi do procesa mešanja ili nemešanja. Beton s uvučenim mehurićima vazduha mora se ponovo promešati pre ugradnje posle čega se tek određuje kritična količina vazduha.

■ Zbijanje betona s uvučenim vazduhom

Ispravno vibriranje uglavnom uklanja vazduh „zarobljen” za vreme ugradnje, uključujući krupne šupljine u betonu. Izuzetno preterano vibriranje takođe može smanjiti sadržaj „uvučenog” vazduha 10 do 30 %. Beton osetljiv na segregaciju može u tom slučaju izgubiti gotovo sve mehuriće vazduha ili može doći do penušanja na površini.

■ Zamena najfinijih zrna

1 % uvučenog vazduha može zameniti otprilike 10 kg najfinijeg materijala (< 0.2 mm) po m^3 betona. Mehurići vazduha mogu poboljšati obradivost grubih mešavina sa malo finih zrna.

Projektovanje betona s uvučenim vazduhom

Moraju se navesti detaljne specifikacije za čvrstoću, sadržaj vazduha kao i metode ispitivanja. Za velike projekte potrebno je sprovesti prethodna ispitivanja u stvarnim uslovima. Potrebno je proveriti sadržaj vazduha u fabrici betona i pre ugradnje betona.

Karakteristike mehurića vazduha	Oblik: loptasti i zatvoreni Veličina: 0.02 do 0.30 mm Faktori udaljenosti: ≤ 0.20 mm otpornost na mraz (cikluse smrzavanje/odmrzavanje) ≤ 0.15 mm otpornost na mraz i so
Pozitivni sekundarni efekti	Poboljšanje obradivosti Blokiranje kapilarnih pora (vodootpornost) Bolja kohezija svežeg betona
Negativni efekti	Smanjenje mehaničke čvrstoće (čvrstoća pri pritisku)

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastikator	Za smanjenje (redukciju) kapilarne poroznosti i smanjeno dodavanje vode
SikaAer®	Aerant	Uvlačenje vazduha za obezbeđenje otpornosti na mraz i so
SikaFume® Sikacrete®	Silikatna prašina	Za daljnje zbijanje očvrslje cementne paste i poboljšanje veze između agregata i očvrslje cementne paste

3.2.5 Beton visoke čvrstoće

Visoka čvrstoća pri pritisku

Betoni s visokim čvrstoćama pri pritisku ($> 60 \text{ N/mm}^2$) ubrajaju se u grupu visoko vrednih betona i koriste se za mnoštvo različitih konstrukcija. Oni se često koriste za izradu visoko nosivih stubova i kod mnogo proizvoda u fabrikama za izradu prefabrikovanih elemenata.

Uobičajene betonske mešavine za betone visoke čvrstoće

U proizvodnji uobičajenog betona visokih čvrstoća potrebno je posvetiti pažnju mešavini i sastojcima, kao i načinu ugradnje.

- Agregati visoke čvrstoće sa odgovarajućom površinom zrna (uglasta) i smanjenom veličinom zrna ($< 32 \text{ mm}$)
- Cementna matrica koja je izrazito nepropusna i ima visoku čvrstoću zbog značajnog smanjenja sadržaja vode
- Posebna veziva koja razvijaju visoku čvrstoću te imaju dobro prijanjanje za agregate (silikatna prašina)
- Korišćenje meke konzistencije betona uz upotrebu hemijskih dodataka betonu kako bi se osigurala maksimalna deaeracija (izbacivanje vazduha)

Primer mešavine:

CEM I 52.5	450 kg/m ³
Silikatna prašina	45 kg/m ³
Agregati	Drobljeni silikatni krečnjak 0 - 16 mm
Vodocementni odnos (v/c)	0.28
Čvrstoća posle 7 dana	95 Mpa
Čvrstoća posle 28 dana	110 Mpa
Čvrstoća posle 90 dana	115 Mpa

Savremene betonske mešavine visoke čvrstoće

Uz tradicionalne betonske mešavine razvijaju se mnoge različite vrste alternativnih mešavina za beton visoke čvrstoće (kao i za maltere). Zajedničko za sve njih je pronalaženje sastojaka visokih čvrstoća uz minimalan dodatak vode. Zbog toga se koriste posebna zrna agregata i učešće sa dodatkom superplastifikatora. Razvoj čvrstoće se takođe pokušava poboljšati korišćenjem novih tehnika sušenja i očvršćavanja (kao na primer očvršćavanje pod pritiskom). Betoni proizvedeni na taj način, koji su najčešće malteri, mogu imati čvrstoće od 150 N/mm^2 do 200 N/mm^2 i više.

Posebno je važno upamtiti:

- Beton visoke čvrstoće je uvek izuzetno nepropusan
- Zbog toga je nega betona visoke čvrstoće još važnija nego kod ostalih vrsta betona (neadekvatno snabdevanje vlagom iz unutrašnjosti betona)

- Beton visoke čvrstoće je takođe krh zbog svoje čvrstoće i povećane krutosti (uticaj na svojstva smicanja)
- Smanjenjem količine vode ispod 0.38 neka se zrna cementa ponašaju poput zrna agregata jer sav cement ne može hidratirati
- Osim portland cementa za beton visoke čvrstoće se koriste velike količine latentnih hidrauličkih i pucolanskih materijala koji imaju različna svojstva razvoja čvrstoće kroz duži vremenski period

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Za maksimalnu redukciju količine vode i stoga povećanje čvrstoće očvrslje cementne paste
SikaFume® Sikacrete®	Silikatna prašina	Za daljnje zbijanje i povećanje čvrstoće očvrslje cementne paste i za poboljšanje veze između agregata i očvrslje cementne paste

3.2.6 Beton za klizne oplata

Kod metode kliznih oplata, oplata se kontinuirano pomera u skladu sa procesom betoniranja tokom rada od 24 sata. Oplata, uključujući i radnu platformu i viseću skelu koja može biti pričvršćena iznutra ili s obe strane, fiksirana je za šipke vitla u sredini zida. Hidraulička dizalica podiže oplatu 15 do 30 cm na sat u zavisnosti od temperature. Šipke vitla nalaze se u cevima naglavcima na vrhu te ih podržava beton koji je već očvrstao. Šipke i naglavci se takođe stalno podižu. Te radove skoro uvek izvode specijalizovani izvođači.

Metoda kliznih oplata je brza i efikasna. Ta je metoda posebno pogodna za jednostavne osnove i visoke konstrukcije kao što su:

- Skladišta, silosi
- Tornjevi i dimnjaci
- Okna

Zbog toga što je visina oplata obično samo 1.20 m, a proizvodnja po satu 20 do 30 cm, beton ispod je star nekih 4 – 6 sati te mora biti dovoljno krh da bi nosio sopstvenu masu (mlada „zelena” čvrstoća). Međutim, ne sme u potpunosti vezati kako se ne bi lepio za oplatu koja se podiže. Glavni preduslov za uspešno korišćenje metode kliznih oplata je istovremeno betoniranje svih područja istog nivoa te nakon toga istovremeno vezivanje tih slojeva. Zbog toga temperatura ima izuzetno važan uticaj, zajedno s uslovom za održavanje optimalnog vodocementnog odnosa.

Sastav

■ Agregat

- 0 – 32 mm, ili 0 – 16 mm za guste armature
- Iako se beton kliznih oplata uglavnom ugrađuje pomoću dizalice ili kрана, sadržaj najfinijih zrna mora biti kao kod pumpanog betona

■ Cement

- Min. 300 kg/m³
- CEM I 42.5 za guste armature i velike dimenzije, CEM I 52.5 za manje dimenzije (tornjevi, dimnjaci)

Ugradljivost

Pokazalo se da najbolju ugradljivost ima kruto plastičan beton s prečnikom rasprostiranja od 35 – 40 cm i malom količinom vode.

Posebno je važno upamtiti

Debljina zida manja od 14 cm može biti problem (lepljenje za oplata, sidrenje šipaka itd.).

Novo postavljene površine potrebno je što je moguće bolje zaštititi od vetra, sunca itd.

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament®	Superplastifikator (više temperature)	Povišena čvrstoća i nepropusnost
Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator (s poboljšanim svojstvima protoka)	Značajno smanjenje vode Dobar razvoj rane čvrstoće
SikaFume®	Silikatna prašina	Visoka čvrstoća, povećana nepropusnost, Povećanje sadržaja najfinijih zrna
Sika® Stabilizer	Stabilizator	Poboljšava koheziju Zamenjuje najfinija zrna
SikaAer®	Aerant	Uvođenje vazdušnih pora (mehurića vazduha) Proizvodnja betona kliznih oplata, otpornog na mraz i smrzavanje/odmrzavanje
SikaRapid® Sika Retarder®	Ubrzivač očvršćavanja Usporivač	Kontrola procesa vezivanja i očvršćivanja betona kliznih oplata

3.2.7 Vodonepropusan beton

Vodonepropusan beton je obično nepropusan beton. Za dobijanje nepropusnog betona neophodna je odgovarajuća granulometrijska kriva i smanjenje kapilarne poroznosti. Ispitivanje vodootpornosti objašnjeno je u poglavlju 5.1.3

Mere za smanjenje kapilarne poroznosti su:

- Smanjenje vodocementnog odnosa (v/c)
 - Dodatno zatvaranje pora pucolanskim reaktivnim materijalom
- Proces nege je još jedan od parametara koji utiču na vodootpornost.

Sastav

■ Agregat

- Dobro ukomponovana granulometrijska kriva
- Količina najfinijih zrna u agregatu treba biti mala
- Za dobijanje zadovoljavajuće količine najfinijih zrna obično je potrebno prilagođavanje količine veziva

■ Cement

Usklađenost sa minimalnom količinom cementa prema EN-206

■ Mineralni dodaci

Korišćenje pucolanskih ili latentnih hidrauličnih dodataka

■ Vodocementni odnos

Nizak vodocementni odnos kako bi se smanjila kapilarna poroznost

Ugradnja

- Za proizvodnju vodonepropusnog betona preporučuje se plastična do meka konzistencija betona
- Važno je pažljivo i ispravno zbijanje betona

Nega

- Izuzetno je važna trenutna i temeljna nega; videti poglavlje 8.

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Povećana čvrstoća i nepropusnost Značajno smanjenje vode Smanjenje kapilarne poroznosti
SikaFume®	Silikatna prašina	Visoka čvrstoća, povećana nepropusnost
Sika® - 1	Bloker pora	Smanjenje kapilarne poroznosti
SikaAer®	Aerant	Uvlačenje mehurića vazduha Prekidanje kapilarnih pora Smanjenje upijanja vode

3.2.8 Natur beton

U modernoj arhitekturi beton se sve češće koristi kao važan projek-tantski oblik kao i zbog svojih mehaničkih svojstava. To znači oštrije specifikacije za završne slojeve (izložene površine). Postoji mnogo na-čina za dobijanje specijalnih efekata na tim izloženim površinama:

- Izbor odgovarajuće betonske mešavine
- Određivanje materijala i vrste oplata (oplati mora biti potpuno ne-propusna!)
- Korišćenje optimalne količine premaza za odvajanje
- Izbor odgovarajuće metode ugradnje
- Korišćenje obložene oplata ako je potrebno
- Obaviti korekcije ako je potrebno
- Bojenje pomoću pigmenata
- Pravilna ugradnja (zbijanje, postavljanje itd.)
- Temeljna nega

Pored gore navedenih faktora za betonsku mešavinu je važno:

■ Agregat

- Koristiti mešavine sa velikim sadržajem sitnih čestica
- Minimalan sadržaj najfinijih zrna kao za pumpani beton
- Odabrati optimalnu granulometrijsku krivu
- Koristiti zaobljene materijale ako je moguće
- Uzeti u obzir različite boje agregata

■ Cement

- Može se koristiti cement bilo koje klase
- Uzeti u obzir uticaj cementa na boju izložene površine
- Generalno $> 300 \text{ kg/m}^3$

■ Mineralni dodaci

- Za dodatno poboljšanje svojstva betona potrebno je koristiti poseb-ne mineralne dodatke

■ Voda

- Količina vode u natur betonu zahteva posebnu pažnju i konzistenci-ju (potrebno je izbegavati varijacije)
- Potrebno je sprečiti krvarenje (izdvajanje vode na površini betona)

Ugradnja

- Beton se ugrađuje u jednakim slojevima od 300 do 500 mm. Svaki sloj potrebno je uvibrirati u prethodni sloj (do označenog mesta na vibro igli)
- Koristiti odgovarajuću veličinu vibro igle:

Debljina zida do 20 cm	Igla $\varnothing \leq 40$ mm
Debljina zida 20 – 40 cm	Igla $\varnothing \leq 60$ mm
Debljina zida iznad 50 cm	Igla $\varnothing \leq 80$ mm

- Plastična do meka konzistencija ugradnje
- Za bolju kontrolu kvaliteta: Uzeti u obzir korišćenje samozbijajućeg betona (SCC)
- Odabrati odgovarajuću metodu i brzinu punjenja

Nega

- Odrediti temeljnu negu (kao što je opisano u poglavlju 8).
- Uzeti u obzir klimatske uslove

Mere opreza

- Moguća su značajna usporavanja ako se koriste nove neobrađene drvene oplata zbog pritiska tzv. drvenog „šećera” na površinu → što može dovesti do promene boje i prašnjavosti
- Ako je beton „prevlažan” prilikom postavljanja mogu se pojaviti vodene pore sa tankom ili nepostojećom koricom od cementnog mleka
- Neadekvatno vibriranje betona može dovesti do pora nastalih usled vibracije koje imaju debelu, tvrdu koru od cementne košuljice
- Ako su slojevi predebeli postoji opasnost od nedovoljnog izbacivanja vazduha prilikom vibriranja
- Prekomerna primena premaza za odvajanje sprečava bežanje mehurića vazduha (koji su nastali vibriranjem)

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Poboljšanje konzistencije
Sika® Separol®	Premaz za odvajanje oplata	Lakše odvajanje i čišćenje
Sika® Rugasol®	Površinski usporivač	Proizvodnja betona sa izloženim agregatom („kulije”)

3.2.9 Masivan beton

Masivan beton se odnosi na vrlo debele konstrukcije (> 80 cm). Te su konstrukcije obično velikih zapremina što po pravilu znači da je potrebno ugraditi velike količine betona za kratko vreme. Ovo iziskuje jako dobro planiranje i efikasno sprovođenje procesa.

Masivan beton koristi se za:

- Temelje za velike terete
- Temelje za kontrolu uzgona
- Masivne zidove (npr. zaštita od radijacije)
- Beton za ispune

Takve masivne konstrukcije stvaraju sledeće probleme:

- Velike varijacije unutrašnje i spoljne temperature prilikom vezivanja i očvršćavanja
- Vrlo visoke maksimalne temperature
- Velike varijacije unutrašnje i spoljne temperature i zbog toga forsirano skupljanje
- Sekundarna konsolidacija (sleganje) betona te zbog toga pucanje iznad gornjih slojeva armature i sleganje ispod šipki armature

Rizici

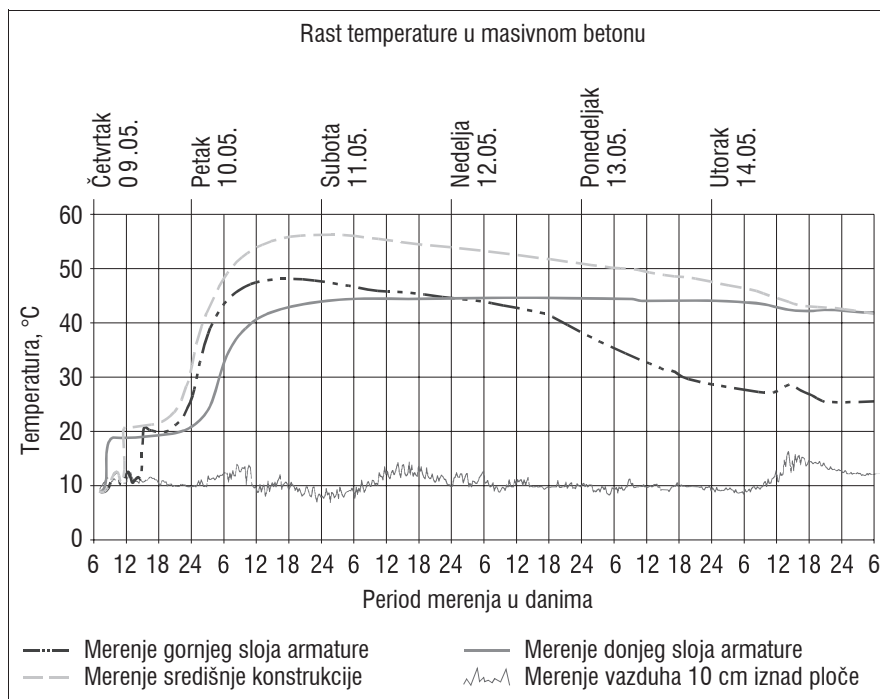
Svi gore navedeni problemi mogu dovesti do pucanja i oštećenja cementne matrice:

Takozvano „površinsko pucanje” pojavljuje se ako je razlika između unutrašnje i spoljne temperature veća od 15°C ili usled skupljanja spoljnjih slojeva koji se prvi suše. Površinske pukotine su po pravilu samo nekoliko centimetara duboke te se kasnije mogu ponovo zatvoriti.

Mere koje treba preduzeti

- Korišćenje cemenata koji razvijaju malu toplotu hidratacije
- Korišćenje male količine vode (smanjenje vodocementnog odnosa)
- Korišćenje najveće moguće maksimalne veličine zrna (npr. 0 – 50 umesto 0 – 32)
- Ako je potrebno hlađenje agregata kako bi se dobila niska početna temperatura svežeg betona
- Ugrađivanje betona u slojevima (debljina sloja < 80 cm)
- Usporavanje donjih slojeva kako bi se celo područje moglo ponovo zbijati nakon postavljanja gornjeg sloja
- Negovanje uz upotrebu metoda termoizolacije
- Pravilno planiranje i raspodela spojnica i sekcija betona da bi se omogućio gubitak ili ujednačavanje razvoja toplote.

Merenje toplote hidratacije na 160 cm debeloj ploči u tri sloja



Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Značajno smanjenje vode
Sika Retarder®	Usporivač vezivanja	Kontrola procesa vezivanja

3.2.10 Beton armiran vlaknima

Dodavanjem vlakana može se delotvorno uticati na mnoštvo različitih svojstava svežeg i očvrslog betona. Postoji mnoštvo različitih vrsta vlakana različitih oblika i karakteristika. Potreban je pravilan odabir vlakana za različite primene. Pored samog materijala ključan faktor je i oblik vlakna.

Beton armiran vlaknima koristi se za

- Industrijske podove
- Prskani beton
- Vitke konstrukcije (obično u fabrikama za proizvodnju prefabrikovanih elemenata)
- Vatrootporne konstrukcije

Svojstva betona armiranog vlaknima

- Za poboljšanje trajnosti konstrukcije
- Za povećanje čvrstoće pri zatezanju savijanjem i čvrstoće pri zatezanju cepanjem
- Za otpornost na kasniju pojavu prslina
- Za poboljšanje raspodele prslina
- Za smanjenje skupljanja betona u ranom stadijumu
- Za povećanje vatrootpornosti betona
- Za uticaj na obradivost

■ Proizvodnja betona

U proizvodnji betona armiranog vlaknima, potrebno je slediti uputstva proizvođača vlakana. Dodavanje vlakana u pogrešnom trenutku ili nepravilno mešanje mogu prouzrokovati velike probleme ili čak dovesti do toga da vlakna budu beskorisna.

- Pridržavati se metoda i vremena dodavanja koje je propisao proizvođač (tj. u fabrici betona ili u automešalici)
- Pridržavati se vremena mešanja (uništenje vlakana)
- Pridržavati se maksimalne preporučene količine vlakana (značajno smanjenje obradivosti)
- Prisutnost vlakana po pravilu povećava potrebnu količinu vode u mešavini (potrebno je koristiti superplastifikator kako bi se to nadoknadilo)

Vrste vlakana

- Čelična vlakna
- Plastična vlakna
- Staklena vlakna
- Karbonska (ugljenična) vlakna
- Prirodna vlakna

3.2.11 Teški beton

Teški beton se pretežno koristi za zaštitu od radijacije. Osnovna svojstva teškog betona su:

- Homogena gustina (struktura) i prostorna zatvorenost betona
- Nema prslina i rupica
- Čvrstoća pri pritisku je često sekundarni kriterijum zbog veličine konstrukcije
- Minimalna moguća prisutnost vazdušnih pora
- Minimalno skupljanje

Sastav

■ Agregat

- Korišćenje barita, rude gvožđa, zgure teških metala, ferosilikona ili čelične sačme

■ Cement

- Prilikom odabira vrste i količine cementa uzeti u obzir razvoj toplote hidratacije

■ Količina vode

- Težiti niskom vodocementnom odnosu (v/c)

Obradivost

Kako biste dobili potrebnu zatvorenu betonsku matricu potrebno je posebnu pažnju posvetiti postavljanju (zbijanju).

Nega

Prilikom odabira metode nege potrebno je u obzir uzeti razvoj visoke toplote zbog velike mase konstrukcije. Ostala uputstva za negu opisana su u poglavlju 8.

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Značajno umanjeno vode Poboljšanje ugradnje betona (obradivost i zbijanje)
SikaFume®	Silikatna prašina	Smanjena propusnost
Sika® Control® - 40	Kompenzator skupljanja	Značajno smanjeno skupljanje usled sušenja betona Značajno poboljšanje nepropusnosti

3.2.12 Podvodni beton

Kao što samo ime kaže podvodni beton je beton koji se ugrađuje ispod površine vode kao što su:

- Instalacije u lukama i pristaništima
- Stubovi mostova u rekama
- Konstrukcije u industriji vode
- Sistemi podzemnih železnica
- Duboka okna na nestabilnim područjima gde unutrašnji pad nivoa vode može dovesti do pomeranja tla itd.

Sastav (Ø 0 – 32 mm)

■ Agregat

- Koristiti agregat koji je pogodan za pumpane mešavine
- Najfinija zrna uključujući cement > 400 kg/m³

■ Cement

- Minimalna količina cementa 350 kg/m³

Posebni zahtevi

Pouzdana metoda postavljanja podvodnog betona uz minimalni gubitak je tzv. „kontraktorska (izvođačka) metoda”. Beton se ugrađuje direktno kroz cev prečnika Ø 20 – 40 cm u i kroz već prethodno ugrađeni beton. Cev se kontinuirano podiže, ali donji deo uvek mora biti dovoljno uronjen u beton kako bi se sprečilo vraćanje vode u cev.

Još jedna metoda koja se danas koristi je pumpanje modifikovane mešavine kroz standardnu betonsku pumpu. I u ovom slučaju kraj cevi pumpe se mora nalaziti dovoljno duboko u svežem betonu.

Ostale važne napomene:

- Porastom brzine strujanja vode povećava se mogućnost ispiranja cementa. Najprikkladniji uslovi rada su uz minimalnu brzinu strujanja
- Potrebno je izbegavati razlike pritisaka u cevi (kao što su na primer razlike nivoa vode u oknima)

Poseban podvodni beton

Prethodno ugrađene kamene vreće ili „gabioni” mogu se naknadno napuniti modifikovanom cementnom emulzijom (metoda kese).

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Poboljšanje konzistencije Smanjenje količine vode
Sika® Stabilizer	Stabilizator	Poboljšanje kohezije Sprečavanje izdvajanja najfinijih zrna Korišćenje kod mirnih i posebno kod tekućih voda
Sika® UCS-01	Podvodni stabilizator	Poboljšanje kohezije Sprečavanje izdvajanje najfinijih zrna Korišćenje za vode sa izuzetno jakim tokom (plima i oseka)

3.2.13 Laki beton

Laki beton je beton ili malter male zapreminske mase. Za laki beton se koriste agregati male mase ili se veštački stvaraju mehurići vazduha kako bi se smanjila masa. Metoda koja se koristi uglavnom zavisi od primene lakog betona i željenih osobina.

Laki beton se koristi za

- Termičku izolaciju
- Lake konstrukcije (plafoni, zidovi, ploče mostova, ploče)
- Prefabrikovane proizvode
- Beton za izravnavajuće podne slojeve
- Beton za ispune

Svojstva lakog betona

- Smanjena zapreminska masa svežeg betona
- Smanjena zapreminska masa očvrslog betona
- Ako se laki beton koristi kao beton za ispune sa niskim zahtevom za nosivošću, tj. za dimenzijsku stabilnost, po pravilu se proizvode izuzetno porozni betoni i malteri (laki gas beton)
- Ako je potrebno proizvesti laki beton dobrih mehaničkih osobina (tj. čvrstoće pri pritisku) koriste se posebni agregati (prirodno vrlo porozni, ali dimenzionalno stabilni)

Proizvodnja lakog betona

- Porozne lake materijale, kao što je na primer ekspandirana glina, potrebno je prethodno natopiti kako bi se sprečilo preterano izvlačenje vode iz betona tokom mešanja
- Ne treba koristiti previše tečnu konzistenciju zbog opasnosti od segregacije
- Laki beton specifične mase $< 1600 \text{ kg/m}^3$ teško se može pumpati
- Posebno je važno pravilno rukovati vibratorima (brzo uronjavanje, sporo podizanje) kako bi se sprečilo zarobljavanje vazduha

- Potrebna je brza i temeljna nega. Pogodne metode su tretiranje prskanjem ili pokrivanje folijama ili korišćenje premaza za negu. Ukoliko ne postoji odgovarajuća nega, postoji velika mogućnost pucanja zbog velikih razlika tokom sušenja
- Peno betoni često imaju značajno skupljanje te imaju nizak nivo stabilnosti

Sastojci za proizvodnju lakog betona

- Ekspandirane gline
- Ekspandirane polistirenske loptice (stiropor)
- Sitno drobljeno drvo, piljevina
- Hemijski dodaci za proizvodnju posebnih mehurića vazduha za dobijanje velikih količina propisanih, stabilnih mehurića vazduha
- Sredstva za stvaranje pene

Zapreminska masa

U zavisnosti od mešavine i upotrebljenih sastojaka moguće je dobiti sledeće klase zapremiske mase i osobina:

Agregat	Zaprem. masa preko 1800 kg/m ³	Odlične mehaničke osobine
Ekspandirajuća glina	Zaprem. masa preko 1500 kg/m ³	Ograničene mehaničke osobine
Proizvođači mehurića vazduha	Zaprem. masa preko 1200 kg/m ³	Bez mehaničkih osobina (na taj se način proizvodi porozni laki beton)
	Zaprem. masa preko 1500 kg/m ³	Porozni laki beton sa niskim mehaničkim osobinama
Sredstva za stvaranje pene	Zaprem. masa preko 800 kg/m ³	Bez mehaničkih osobina, npr. kao malter za ispunu
Ekspandirajući polistiren	Zaprem. masa preko 800 kg/m ³	Niske mehaničke osobine

Porozni beton

Za dobijanje poroznog betona, sa malterom se mešaju mineralni dodaci koji izazivaju ekspandiranje (npr. aluminijumski prah). Porozni beton se po pravilu proizvodi industrijski. Porozni beton zapravo nije beton, već porozni malter.

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
SikaLightcrete®	Proizvođač mehurića vazduha	Za proizvodnju poroznog lakog betona sa sadržajem vazdušnih pora do 40 %
SikaPump®	Stabilizator	Za poboljšanje pumpabilnosti i kohezije lakog betona
Sikament®	Superplastifikator	Za smanjenje propusnosti i poboljšanje obradivosti lakog betona

3.2.14 Valjani beton

Valjani beton je beton koji se postavlja pomoću standardnih (asfaltnih) finišera te se nakon toga ravna i zbija pomoću glatkog vibracijskog valjka. Valjani beton se uglavnom koristi u SAD-u (ali i u Nemačkoj) za izgradnju velikih čvrstih stajališta (parkirališta) i površina puteva. Sastav je sličan sastavu standardnog betona. Polusuva konzistencija. Za dobijanje dobre rane čvrstoće poželjno je koristiti drobljeni materijal. Krupni materijal, pesak, vezivo (standardni cement) i sadržaj vode moraju biti usklađeni. Posebno je važno da sadržaj vode bude konstantan i precizan kako bi se mehurići mogli, što je moguće više, popuniti valjanjem.

3.2.15 Obojeni beton

Obojeni beton se proizvodi dodavanjem pigmentiranih metalnih oksida (uglavnom gvožđe oksida). Pigmenti mogu biti u obliku praha, prašine ili tečnosti.

Dozaža je uglavnom od 0.5 – 5 % po masi cementa. Veće dozaže ne pojačavaju intenzitet boje već mogu negativno uticati na kvalitet betona.

Tipične boje su

- Žuta (gvožđe oksid)
- Crvena/braon (gvožđe oksid)
- Zelena (hrom oksid)
- Bela (titan dioksid; uopšteno za dobijanje svetlijih boja)
- Crna (gvožđe oksid crn; napomena: ugljeno crna boja može negativno uticati na nastanak mehurića vazduha)

Boja se može pojačati

- Korišćenjem blago obojenih agregata
- Korišćenjem belog cementa

Boja „obojenog” betona može se pouzdano proceniti samo u suvom, očvrslom stanju te zavisi od sledećih faktora:

- Vrste, količine i finoće sredstva za bojenje
- Vrste cementa
- Agregata
- Sastava betonske mešavine

Više informacija o korišćenju obojenog betona navedeno je u poglavlju o natur betonu (poglavljje 3.2.8).

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Poboljšana čvrstoća i nepropusnost Značajno umanjeње vode Optimalna raspodela pigmenta (posebno na površinama)
Sika® ColorCrete®	Pigmentirana cementna emulzija sa superplastifikatorom	Bojenje natur betona Poboljšanje obradivosti

3.2.16 Polusuvi beton za izradu prefabrikovanih betonskih proizvoda

Upošteno

Polusuvi beton se koristi za proizvodnju malih prefabrikovanih betonskih proizvoda:

- Betonske kocke za popločavanje
- Ivičnjake
- Ploče za popločavanje
- Baštensku galanteriju
- Cevi

Danas se uglavnom koristi za betonska popločavanja.

Posebna svojstva polusuvog betona su:

- Može se odmah izvaditi iz kalupa
- Stabilnost nehidratisanog betona
- Preciznost dimenzija odmah nakon zbijanja (mlada „zelena” čvrstoća)

Osnovne prednosti ovog procesa su:

- Samo jedan kalup po obliku proizvoda (nisko ulaganje)
- Jedna mašina za zbijanje za sve proizvode
- Fleksibilnost u proizvodnji zbog mogućnosti brzog prilagođivanja kalupa na nove proizvode

Tehnologija polusuvog betona

Kako se dobijaju gore navedena svojstva svežeg betona?

- Granulometrijska kriva za fina zrna (maksimalna veličina zrna 8 mm, potrebni visoki zahtevi za vodom)
- Nizak vodocementni odnos (0.35 do 0.40)
- Mala količina veziva
- Cement visoke čvrstoće (42.5 R)
- Zamene za cement (leteći pepeo, krečnjački filer)

Na taj način se dobija slabo lepljiva matrica i zrnasta konzistencija u svežem stanju. Rezultati:

- Teško se zbija
- Nizak nivo uvučenog vazduha
- Podložan je sušenju zbog brzog gubitka vode

Čvrstoća se razvija u skladu sa opštim zakonima tehnologije betona te je slična čvrstoći betona visoke čvrstoće.

Poređenje sa standardnim betonom visoke čvrstoće

Materijal/m ²	C 45/55	Polusuvi jezgreni beton
Konzistencija (bez zbijanja)	Tekuća (≥ 56 cm)	Zrnasta, može se liti
Agregat	1860 kg	1920 kg
Pesak 0/2	38 %	55 %
Šljunak 2/8	18 %	45 %
Šljunak 8/16	44 %	–
k-vrednost	4.14	3.10
Ukupna količina veziva (vz) (cement i zamene)	360 kg	320 kg
Cement	100 %	75 %
Leteći pepeo	–	25 %
Voda	162 kg	120 kg
Odnos vode i veziva	0.45	0.38
Hemijski dodatak betonu	1.5 % cementa (SP)	0.4 % cementa (WR)
Zapremina pora	1.5 %	3.9 %
Zapreminska masa svežeg betona	2.38 kg/dm ³	2.36 kg/dm ³
Čvrstoća pri pritisku na 1 dan	~ 33 N/mm ²	~ 33 N/mm ²
Čvrstoća pri pritisku na 28 dana	~ 68 N/mm ²	~ 68 N/mm ²

Poređenje sa standardnim betonom objašnjava razlog polusuve konzistencije:

- Veći viskozitet zbog nižeg vodocementnog odnosa (kruto)
- Otprilike 40 – 50 % manje vlaženja cementne paste po površini agregata zbog manje količine veziva, nižeg vodocementnog odnosa i finijeg agregata.

Proizvodni proces za betonske pločnike i male betonske proizvode

Betonski proizvodi

Zrnati beton ne može se zbijati pomoću standardnih uređaja za vibriranje. Za to su potrebni specijalni uređaji koji rade na principu vibro presovanja: vibriranje betona uz dodatno opterećenje-presovanje.

- Proizvodnja „polaganja jaja” (zbijanje se obavlja direktno na podu fabrike)
- Višeslojni finišer (bivša masovna proizvodnja, sveže izrađeni proizvodi se postavljaju direktno na vrh, opasnost od urušavanja čitave palete)
- Statični uređaj (moderna masivna proizvodnja, statični uređaji s kontinuiranim procesom, proizvodi se zbijaju i skladište na drvene ili čelične ploče)

Pločnici se uglavnom proizvode u dva sloja:

- Osnovni beton = beton koji nosi statičko opterećenje
- Površinski beton = fini beton koji bloku daje atraktivan izgled te je uglavnom zaslužan za trajnost (habanje, mraz itd.)

U nekim područjima blokovi se proizvode od monolitnog betona, što znači da se koristi nešto sitniji beton.

Kvalitet betonskih proizvoda

Zahtevi za betonske proizvode

- Ekonomičnost
- Zatvorene površine i oštre ivice
- Odgovarajuća mlada „zelena” čvrstoća
- Visok nivo nepropusnosti
- Visoka početna i krajnja čvrstoća
- Odgovarajuća otpornost na mraz i odmrzavanje/smrzavanje
- Minimalna sklonost ka iscvetavanju (eflorescenciji) ili gubitku boje
- Homogena i jednolična boja

Faktori koji utiču na kvalitet betonskog proizvoda

Kvalitet polusuvog betona u velikoj mjeri zavisi od sastava i proizvodnje betona. Zbijanje je izuzetno važno i zavisi od proizvodnog procesa i sastava betonske mešavine.

Procesni uticaji

- Stanje kalupa
- Stanje osnove za zbijanje
- Metoda punjenja
- Vreme i intenzitet zbijanja
- Klimatski uslovi za vreme skladištenja svežih betonskih proizvoda
- Klimatski uslovi i skladištenje na otvorenom

Tehnološki uticaji

- Vrsta, količina i granulometrijska kriva agregata
- Vrsta, količina i finoća cementa
- Količina vode u svežem betonu
- Doziranje mineralnih dodataka betonu
- Doziranje hemijskih dodataka betonu
- Redosled mešanja

Svi faktori moraju biti održavani kako bi se održao stalan kvalitet.

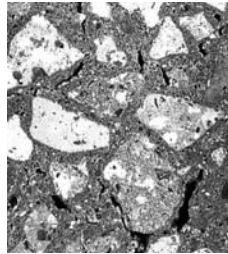
Zbijanje

Kvalitet zbijanja zavisi od gore navedenih faktora. Mogućnost zbijanja, odnosno kompaktnosti se po pravilu povećava sa:

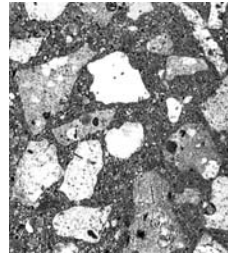
- Povećanjem energije zbijanja (trajanje, frekvencija itd.)
- Povećanjem količine vode
- Povećanjem količine veziva
- Korišćenjem hemijskih dodataka (pomoćna sredstva za zbijanje)

Otpriblike 3.5 do 5.0 % po zapremini preostalih pora mora se uzeti u obzir prilikom proračuna mešavine.

Bez dodataka



Sa 0.4 % proizvoda **SikaPaver® C-1**



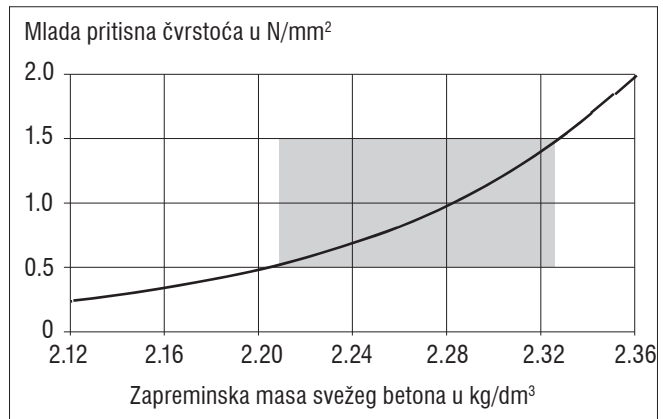
Hemijski dodaci omogućuju brže i intenzivnije zbijanje. Zbog toga je moguće uštedeti na trajanju zbijanja te proizvesti homogeniji beton.

Mlada „zelena” čvrstoća

Polusuvi betoni se može izvaditi iz kalupa odmah nakon zbijanja. Novo oblikovani **betonski proizvodi imaju dobru „mladu” ili tzv. „zelenu” čvrstoću** te zbog toga zadržavaju svoj oblik. Kod standardnih pločnika za popločavanje ta se „zelena” čvrstoća nalazi u rasponu od

otprilike 0.5 – 1.5 N/mm².

U tom trenutku cement još nije počeo da hidratiše (razvoj čvrstoće). To se može objasniti pomoću zakona mehanike tla (kohezija)



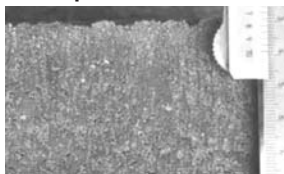
Kvalitet ivica

Loše zbijanje uzrokuje rupice i grube ivice. Hemijski dodaci (aditivi) poboljšavaju mogućnost zbijanja. Intenzivno zbijanje približava zrna agregata, što cementnu pastu tera na površinu te se ona prilikom uklanjanja kalupa raspoređuje vertikalno preko ivica i onda zbog toga nastaju glatke uvice i stranice. Posebni dodaci pomažu nastanak više cementne emulzije što takođe povoljno utiče na dobijanje glatkih ivica.

Gruba ivica bez
hemijskog dodatka



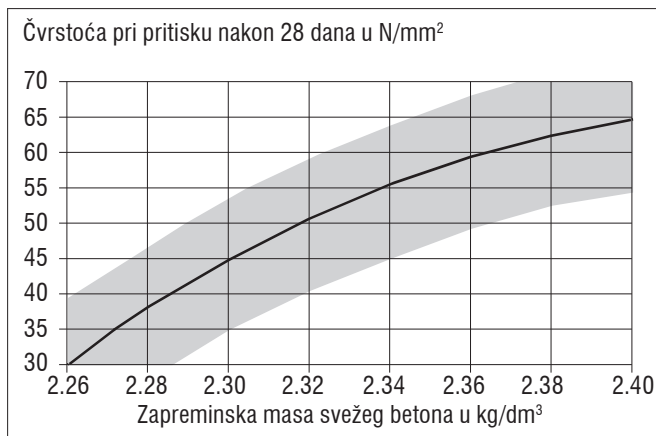
Fina ivica i stranice uz korišćenje
0.25 % proizvoda SikaPaver® HC-1



Tanak sloj maziva smanjuje trenje između zbijenog betona i kalupa zbog čega kalup duže traje.

Čvrstoća

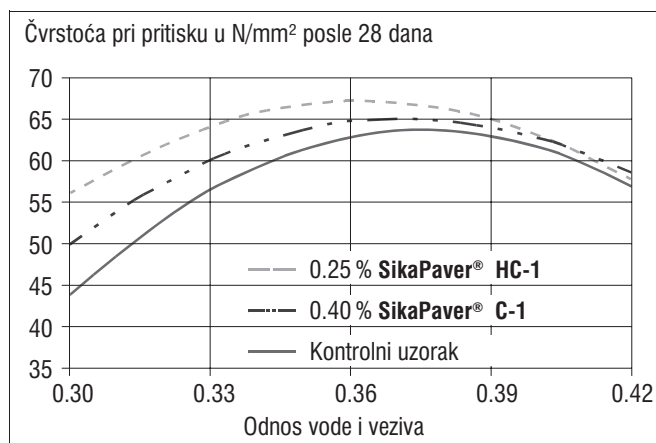
Ploče za popločavanje od polusuvog betona se skladište na policama u prostoriji za negovanje prva 24 sata nakon proizvodnje. Posle toga oni moraju izdržati naprezanje paleta. Zbog toga je rana čvrstoća izuzetno bitna. Po pravilu se čvrstoća poboljšava povećanjem zapreminske mase.



Međutim, ako se premaši optimalna količina vode, čvrstoća opada bez obzira na povećanu zapreminsku masu. Do toga dolazi zbog kapilarnih pora koje smanjuju čvrstoću i nastaju kao rezultat prekomerne vode, te poništavaju uticaj malog povećanja zapreminske mase. Sa povećanjem korišćenja mineralnih dodataka koji zamenjuju cement, kao i niske količine cementa, do tog efekta češće dolazi – čak i ako se radi o relativno niskom vodocementom odnosu.

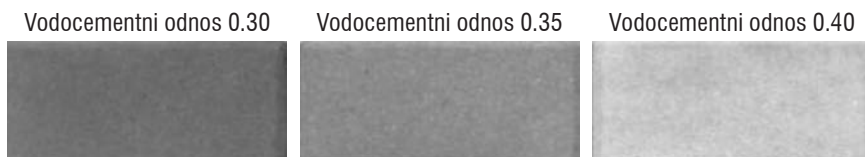
Iz tog razloga je izuzetno važno tačno odrediti i zadržati optimalnu količinu vode za materijale i mešavinu koja se koristi.

Koristeći hemijske dodatke iz tehnologije **SikaPaver®**, oblast odstupanja rezultata može se svesti na minimum, dok se čvrstoća povećava. Betonske mešavine su robusnije zbog čega je moguće zadovoljiti specifikacije proizvoda bez obzira na nezaobilazne varijacije količine materijala, npr. količine vode. Na taj se način betonske mešavine mogu optimizovati.



Obojeni beton

Otpriblike 80 % prefabrikovanih betonskih proizvoda je u današnje vreme obojeno. Važno je uzeti u obzir činjenicu kako sjaj same cementne matrice varira u zavisnosti od vodocementnog odnosa. Mala promena količine vode, kao npr. vodocementni odnos za 0.02, jasno je vidljiva golim okom. Što je cementna matrica svetlija to je boja intenzivnija.



Iscvetavanje („eflorescencija”)

Problem iscvetavanja je opšte poznat; bele naslage „soli” kvare izgled posebno tamnih proizvoda. Najgore je kada je iscvetavanje različitog intenziteta, što se po pravilu i događa. Čak ni danas ne postoji ekonomičan način potpunog sprečavanja iscvetavanja. Zbog čega dolazi do iscvetavanja?

- Slobodni kalcijum hidroksid Ca(OH)_2
- Kapilarne pore ispunjene vodom (do površine betona)
- Voda na površini betona
- Mala brzina isparavanja (posebno u hladnijim uslovima, jesen - zima)
- Nepotpuna hidratacija

tj. do iscvetavanja po pravilu dolazi tokom skladištenja proizvoda na deponijama na otvorenom!

Kalcijum hidroksid se prenosi na površinu betona zbog koncentracije gradijenta kalcijumovih jona u vlazi. Voda je primarni prenosnik. Što više vode uđe u očvršli beton, to je veća verovatnoća dopremanja slobodnih kalcijumovih jona zbog čega postoji veća mogućnost iscvetavanja.

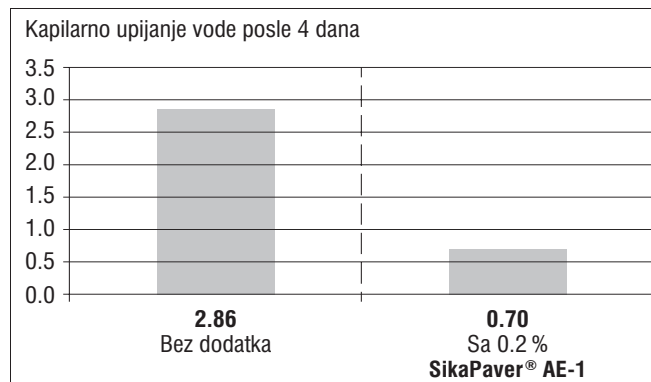
Kako bi se sprečilo i smanjilo iscvetavanje moguće je preduzeti sledeće mere opreza:

- Mala brzina isparavanja prilikom skladištenja (bez promaje)
- Neograničeno strujanje vazduha (ugljen dioksid) za vreme početnog očvršćavanja
- Korišćenje cementa CEM III
- Gusta struktura betona (sadržaj cementne matrice + zbijanje)
- Zaštita od kiše i kondenzacije i dalja cirkulacija vazduha ventiliranjem



Hemijski dodaci za zaštitu klasičnog i površinskog betona od vode

Ako se koristi tehnologija za odbijanje vode tj. dodaci **SikaPaver®**, očigledno je veliko smanjenje kapilarnog upijanja vode u pločama za popločavanje, zbog čega je mogućnost iscvetavanja smanjena.



Standardi/pravilnici

- EN 1338 Betonske ploče za popločavanje
- EN 1339 Betonske ploče
- EN 1440 Betonski ivičnjaci
- DIN 1115 Betonske krovne ploče
- DIN 4032 Betonske cevi i nastavci
- DIN 4034 Šahte i delovi elemenata bunara
- DIN 4035 Armirane betonske cevi i cevi pod pritiskom
- Pravilnik za proizvodnju i kontrolu kvaliteta vodootpornih ploča za popločavanje od betona sa malo ili bez sitnog agregata

Proizvodi

	SikaPaver® C-1	SikaPaver® HC-1	SikaPaver® AE-1
Osobina dobrog popunjavanja zrna	○	○○	○
Kompaktnost/zapreminska masa	○	○○○	○○
Produženo vreme rada	○		
Zatvaranje ivica/stvaranje cementne emulzije		○○	○○
Ne lepi se		○	○○
Povećana početna čvrstoća (24 sata)	○	○○	○
Povećana završna čvrstoća (28 dana)	○	○○○	○○
Smanjenje iscvetavanja / smanjenje upijanja vode			○○○
Bojenje			○○

Korišćenje proizvoda

Naziv proizvoda	Upotreba proizvoda
SikaPaver® C-1	Ekonomičan dodatak koji potpomaže zbijanje
SikaPaver® HC-1	Visoko delotvoran dodatak za pomoć pri zbijanju kao i pomoć pri nastanku cementne emulzije i postizanju maksimalnih čvrstoća
SikaPaver® AE-1	Dodatak koji potpomaže zbijanje/ reduktor iscvetavanja sa svojstvima intenziviranja boje

3.2.17 Beton sa povećanom vatrootpornošću

Beton sa povećanom vatrootpornošću ili visoko vatrootporan beton je zapravo beton poboljšan na način da može izdržati uslove visoke temperature. Sam beton ne gori, ali iznad određenih temperatura najpre gubi svoja mehanička svojstva, a nakon toga i oblik. Bez preduzimanja posebnih mera, beton je po pravilu vatrootporan do temperature od otprilike 80 °C.

Beton sa visokom vatrootpornošću se koristi za

- Prostore za slučaj opasnosti u zatvorenim konstrukcijama (tunelski izlazi za slučaj opasnosti)
- Opšte poboljšanje vatrootpornosti infrastrukture
- Vatrootporno oblaganje delova konstrukcije

Svojstva betona s visokom vatrootpornošću

- Svež beton se prilikom ugradnje ponaša poput standardnog betona
- Kod očvrstlog betona se čvrstoća razvija nešto sporije nego kod normalnog betona, ali su svojstva slična

Proizvodnja betona s visokom vatrootpornošću

- Proizvodnja betona ne razlikuje se od proizvodnje standardnog betona
- Mora se nadgledati proces mešanja kada se koriste vlakna
- Na buduću vatrootpornost betona povoljno utiče temeljno sušenje

Sastojci za proizvodnju betona s povećanom vatrootpornošću

- Ostvarenje maksimalne vatrootpornosti temelji se na sastavu agregata koji se koriste
- Otpornost se po pravilu može povećati korišćenjem posebnih agregata
- Korišćenje posebnih plastičnih vlakana (PP) značajno povećava vatrootpornost
- Korišćenje odabranih vrsta peska poboljšava otpornost cementne matrice

Način ponašanja u slučaju požara

Voda iz kapilara i međuprostora počinje da isparava na temperaturama približnim tački ključanja vode (100 °C). Vodenoj pari treba više prostora te izaziva napone pritiska od širenja u betonskoj konstrukciji. Cementna matrica se počinje da se menja na temperaturama od otprilike 700 °C. Uticaj agregata uglavnom zavisi od njihovog porekla, te do njegovog efekta dolazi na otprilike 600 °C. Beton se počinje da se „topi” na otprilike 1200 °C.

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Zbog značajnog umanjivanja vode u betonu se nalazi manje „viška” vode

3.2.18 Beton za tunnelske segmente

Moderne metode izgradnje tunela u nestabilnim stenskim masama koriste odmah nosive betonske segmente kao obloge za potpuno iskopane preseke tunela.

Prefabrikovane betonske jedinice koje se nazivaju tunnelski segmenti, obavljaju tu funkciju.

Proizvodnja

Zbog potrebnog velikog broja i velike mase (do nekoliko tona po komadu) tunnelski segmenti se gotovo uvek proizvode pored portala tunela u posebno postavljenim postrojenjima za izradu prefabrikovanih elemenata. Oni moraju zadovoljavati specifikacije visoke preciznosti. Zbog toga se kao norma koristi teška metalna oplata. Budući da se oplate skidaju nakon samo 5 – 6 sati i da beton već tada mora imati čvrstoću pri pritisku $>15 \text{ N/mm}^2$, ubrzan razvoj čvrstoće je ključan.

Postoji nekoliko metoda za to. Tokom procesa zagrevanja u autoklavu, beton se tokom mešanja zagreva na 28 – 30 °C, pomoću tople vode ili pare, zatim se postavlja u oplatu i završno obrađuje. Nakon toga se otprilike 5 sati zagreva u autoklavu na temperaturi od 50 – 60 °C kako bi dostigao čvrstoću potrebnu za vađenje iz kalupa.

Sastav

■ Agregat

- Po pravilu 0 – 32 mm u opsegu granulometrijskog sastava prema EN 480-1

■ Cement

- Količina cementa 325 ili 350 kg/m³
- CEM I 42.5 ili 52.5

Ugradnja

- Mešavina svežeg betona zbog visoke temperature brzo postaje kruta, što otežava pravilno zbijanje i pravilnu završnu obradu površine betona.
- Zbog brzog industrijskog procesa može se koristiti plastična konzistencija svežeg betona. Željena početna čvrstoća može se ostvariti isključivo uz nizak vodocementni odnos koji zbog toga uvek treba da bude < 0.48.

Posebni zahtevi

Segmenti koji su tek izvađeni iz kalupa moraju se negovati pokrivanjem ili korišćenjem premaza za negu, kao što je na primer **Sika® Antisol®**.

Međutim, kako bi se dobila kombinacija maksimalne trajnosti u promenljivim uslovima tla i optimalne nege, površine segmenata se češće tretiraju posebnim zaštitnim premazom **SikaGard®** odmah nakon skidanja oplata. Uz tu dodatnu zaštitu od nepovoljnih hemijskih uticaja, ti segmenti imaju posebno trajne betonske površine.

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sika® ViscoCrete® serije -5; 20 HE	Superplastifikator	Povećana početna čvrstoća i nepropusnost Poboljšana konzistencija
SikaFume®	Silikatna prašina	Visoka čvrstoća, povećana nepropusnost Poboljšana otpornost na sulfate
SikaAer®	Aerant	Uvlačenje vazduha Proizvodnja betona otpornog na mraz i smrzavanje/odmrzavanje

3.2.19 Monolitni beton

Otporni na habanje, ravni betonski podovi ili platforme, brzo spremne za upotrebu. Monolitni beton je u potpunosti visokog kvaliteta te su tako projektovani podovi izuzetno ekonomični.

Sastav

Betonska mešavina mora se prilagoditi specijalnim uslovima (vodootporni beton, beton otporan na mraz itd.)

Ugradnja

Standardna ugradnja i zbijanje pomoću uranjajućih vibratora. Zaglađivanje pomoću vibro letve. Nakon početka procesa stvrdnjavanja sledi završna obrada površine „helikopterima”.

Nega

Potrebno je započeti, što je ranije moguće, nanošenje proizvoda **Sika® Antisol®** prskanjem (obratiti se tehničkoj službi kompanije „Sika” ukoliko su planirani naknadni premazi), a poželjno je i prekrivanje folijama.

Napomene

- Proveriti mogućnost korišćenja čeličnih vlakana za izradu ploča od monolitnog betona
- Preporučujemo korišćenje **Sikafloor® - Top Dry Shakes**, za poboljšanje završne obrade površine – proizvod se razastire po površini tokom završne obrade

Hemijski dodaci betonu za produženu obradivost po pravilu nisu pogodni za monolitni beton

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament®	Superplastifikator	Povećana čvrstoća i nepropusnost Dobra obradivost Dobra „zelena” čvrstoća
SikaRapid®	Ubrzivač očvršćavanja	Kontrola procesa očvršćavanja pri niskim temperaturama
Sikafloor® - Top Dry Shakes	Mineralne, sintetičke i metalne granulacije	Poboljšana otpornost na habanje Mogućnost bojenja
Sikafloor® - ProSeal	Zaptivno sredstvo koje podržava negu i očvršćavanje površine	Smanjenje gubitka vode Pospešivanje očvršćavanja i nege, zaptivanje površine
Sika® Antisol®	Premaz za negu	Smanjenje gubitka vode

3.2.20 Beton za košuljice („Teraco” beton)

Cementni industrijski podovi i saobraćajne površine, s minimalnom debljinom od 20 mm, su izuzetno otporni na habanje. Oni se postavljaju na cementnu podlogu (npr. stari beton) sa veznim slojem i imaju zapreminsku masu > 2100 kg/m³. Ako debljina sloja prelazi 50 mm, po pravilu se ugrađuje laka armaturna mreža (minimalno 100 × 100 × 4 × 4).

Sastav

■ Agregat

- 0 – 4 mm za debljinu sloja do 30 mm
- 0 – 8 mm za debljinu sloja do 30 – 100 mm

■ Cement

- 400 –500 kg/m³

Podloga/prianjanje

Pre postavljanja, vezni sloj se četkom nanosi na blago vlažnu (prethodno nakvašenu) podlogu.

Beton za košuljice („Teraco”) beton se postavlja sistemom „mokro na mokro” na vezni sloj, te se pažljivo zbija, zaglađuje i završno obrađuje „helikopterima”. Otpornost na habanje se dodatno poboljšava primenom **Sikafloor® – Top Dry Shakes** tokom procesa zaglađivanja. Polipropilenska vlakna u mešavini mogu smanjiti nastanak prslina usled skupljanja.

Nega

Uvek koristiti premaz za negu (koji se mora mehanički ukloniti ukoliko postoje naknadni premazi), i/ili prekrivati beton folijama na nekoliko dana.

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator	Povećana čvrstoća i nepropusnost Dobra obradivost Dobra „zelena” čvrstoća
SikaRapid®	Ubrzivač očvršćavanja	Kontrola procesa očvršćavanja pri niskim temperaturama
Sikafloor® - Top Dry Shakes	Mineralne, sintetičke i metalne granulacije	Smanjena abrazija Mogućnost bojenja
Sikafloor® - ProSeal	Zaptivno sredstvo koje podržava negu i očvršćavanje površine	Smanjen gubitak vode Pospješeno očvršćavanje i nega, zaptivanje površine
Sika® Antisol®	Sredstvo za negu	Smanjenje gubitka vode

4. Svež beton

4.1 Svojstva svežeg betona

4.1.1 Obradivost

Konzistencija određuje ponašanje svežeg betona tokom mešanja, rukovanja, isporuke i ugradnje na gradilištu te takođe tokom zbijanja i zaglađivanja površine. Zato je obradivost relativan parametar te se po pravilu definiše na osnovu konzistencije.

Uslovi za obradivost

■ Ekonomično rukovanje, isporuka i ugradnja svežeg betona	
■ Maksimalna plastičnost („protočnost“) uz korišćenje superplastifikatora	
■ Dobra kohezija	
■ Mali rizik od segregacije, dobro zaglađivanje površine („završna svojstva“)	
■ Produžena obradivost	→ Usporavanje vezivanja / beton za tople vremenske uslove
■ Ubrzani proces vezivanja i očvršćavanja	→ Ubrzavanje vezivanja i očvršćavanja / beton za hladne vremenske uslove

4.1.2 Usporavanje vezivanja / beton za tople vremenske prilike

Beton je potrebno zaštititi od isušivanja za vreme rukovanja.

Betoniranje je moguće pri visokim temperaturama samo u slučaju kada se preduzmu posebne zaštitne mere. Te se mere moraju sprovesti od samog početka proizvodnje betona pa sve do kraja negovanja. One zavise od spoljne temperature, vlažnosti vazduha, vetra, temperature svežeg betona, razvoja i raspodele toplote, te dimenzija betoniranja. Ukoliko se ne koriste zaštitne mere, svež beton prilikom ugradnje ne sme biti topliji od $+30^{\circ}\text{C}$.

Mogući problemi

Rad s betonom koji nije usporen može biti problematičan kada su temperature vazduha veće od 25°C .

- Hidratacija je hemijska reakcija cementa i vode. Započinje pri prvom kontaktu, nastavlja se za vreme ukrućivanja i vezivanja (početno vezivanje) te očvršćavanja cementne paste.
- Sve hemijske reakcije se brže odvijaju pri višim temperaturama.

To znači da u takvim slučajevima ispravno i potpuno zbijanje više nije moguće.

Da bi se to sprečilo koriste se superplastifikatori sa efektom usporenog vezivanja ili superplastifikatori u kombinaciji s usporivačima vezivanja.

Izrazi vezani za usporavanje i tabele doziranja

Svrha usporavanja: Produženje vremena obradivosti pri određenoj temperaturi.

Vreme obradivosti: Vreme nakon mešanja tokom koga se beton može ispravno vibrirati.

Slobodno usporavanje: Početno vezivanje započinje samo nakon određenog vremenskog perioda.

Ciljano usporavanje: Početno vezivanje započinje u određeno vreme.

Potpuna sigurnost moguća je isključivo na osnovu posebnih prethodnih ispitivanja!

Element konstrukcije i usporavanje	Kritična temperatura
Srednja veličina poprečnog profila betona	Temperatura svežeg betona
Mala veličina poprečnog profila betona	Temperatura vazduha na mestu ugradnje
Viša temperatura (svež beton ili temperatura vazduha) je ključna za srednje veličine poprečnog profila betona s dugim usporavanjem i za male veličine poprečnog profila betona s kratkim usporavanjem.	

Tabela doziranja za beton slobodnog usporavanja

Usporavanje u velikoj meri zavisi od vrste cementa.

Doziranje proizvoda Sika Retarder® u % po masi cementa

Vreme usporavanja u satima	Kritična temperatura					
	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5
4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6
6	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
8	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
10	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3
12	0.4	0.6	0.8	0.9	1.2	1.5
14	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.8
16	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	
18	0.6	0.9	1.1	1.4	1.7	
20	0.7	1.0	1.2	1.6		
24	0.8	1.1	1.5	1.8		
28	1.0	1.3	1.8			
32	1.2	1.5				
36	1.5	1.8				
40	1.8					

Doziranje se odnosi na beton sa 300 kg CEM I 42.5 N i vodocementnim odnosom 0.50. Dozažu dodatka je potrebno povećati za otprilike 20 % ako se koristi polusupi beton.

Brojevi u ovoj tabeli su rezultati istraživanja u laboratorijima te se odnose na usporivač posebnog sastava koji možda nije svuda dostupan.

Uvek je potrebno sprovesti prethodna ispitivanja.

Faktori koji utiču na usporavanje (retardaciju)

Različiti faktori utiču na usporavanje:

Uticaj temperature (videti „Kritična temperatura”)

- Povećanje temperature skraćuje, a smanjenje temperature produžuje usporavanje

Opšte prihvaćeno pravilo:

Svaki stepen ispod 20°C produžuje vreme usporavanja za otprilike 1 sat.

Svaki stepen iznad 20°C skraćuje vreme usporavanja za otprilike 0.5 sata.

Kako bismo bili sigurni: **Prethodna ispitivanja!**

Uticaj vodocementnog odnosa

Količina cementa od 300 kg/m³ i 1 % proizvoda **Sika Retarder®** pokazuju:

- Povećanje vodocementnog odnosa od 0.01 uzrokuje dodatno usporavanje od otprilike pola sata.

Kombinacija proizvoda **Sikament® / Sika® ViscoCrete®**

- Uz doziranje sa superplastifikatorom bez efekta usporavanja vezivanja, **Sika Retarder®** blago produžuje usporavanje.
- Uz doziranje sa superplastifikatorom sa efektom usporavanja vezivanja, **Sika Retarder®** dodatno (kumulativno) produžuje usporavanje.

Za sve važne projekte uvek je potrebno sprovesti prethodna ispitivanja.

Uticaj cementa

Proces hidratacije različitih vrsta cementa razlikuje se zbog različitih sirovina i različite finoće. Usporavanje takođe zavisi od tih razlika, te može biti značajno ako doziranje prelazi 1%.

Tendencije:

- Čisti, fini portland cementi: smanjen efekat usporavanja
- Grubi cementi i neki mešani cementi: produžen efekat usporavanja

Kako bismo bili sigurni

- Prethodna ispitivanja!
- Ako doziranje prelazi 1 % uvek je potrebno sprovesti prethodno ispitivanje!

Uticaj zapremine betona

Ako se usporava čitava količina betona, zapremina nema uticaja na usporavanje.

Za vreme početnog vezivanja susednog nalivanja (npr. noćno usporavanje kolovozne ploče) „kritična temperatura” se menja u području kontakta sa sledećim usporenim područjem (povećava se), te se zbog toga usporavanje smanjuje.

Svojstva usporenog betona

- Očvršćavanje

Ako očvršćavanje započinje nakon prestanka usporavanja, brže je nego kod betona koji nije usporen.

- Skupljanje/tečenje

Završno skupljanje ili tečenje je manje nego kod betona koji nije usporen.

- Rano skupljanje

Moguć je nastanak prslina koje su rezultat ranog skupljanja usled gubitka vode za vreme usporavanja (isparavanje površine).

Kod usporenog betona izuzetno je važna zaštita od gubitka vode!

Pravilna nega je izuzetno bitna!

Primeri faza betoniranja sa usporavanjem

1. Noćno usporavanje

- Temeljne ploče
- Kolovozi, grede itd.

Pri kraju celodnevno betoniranja ugrađuju se tri trake širine od otprilike 1.20 m s povećanim usporavanjem.

Prva traka: 1/3 ukupne doze

Druga traka: 2/3 ukupne doze

Treća traka: ukupna doza iz tabele ili na osnovu rezultata prethodnog ispitivanja

Obustava radova preko noći.

Nastavak radova sledećeg jutra:

Prva traka (pored treće trake od prethodnog dana) se usporava pomoću 1/3 ukupne doze

2. Usporavanje uz paralelno početno vezivanje

To se događa kod mostova s velikim rasponima, ploča na tlu itd.

Važne pripreme su:

- Definisanje preciznog programa betoniranja sa nadzorom i izvođačem
- Na osnovu toga, deljenje u manje celine i određivanje vremenskih okvira
- Cilj: sve celine vezuju istovremeno
- Nakon određivanja vremenskog okvira, doziranja za pojedinačne manje celine mogu se odrediti na osnovu prethodnih ispitivanja i preciznih podataka o temperaturi.

Prethodna ispitivanja

Prethodna ispitivanja se odnose samo na sastav betona koji je određen za usporavanje:

- Tj. sa istim vodocementnim odnosom i istom vrstom cementa sa istom dozom

Granice sposobnosti vibriranja potrebno je ispitati na gradilištu pomoću nekoliko uzoraka betona po dozi (u posudama od minimalno 20 litara), pri temperaturama koje su što je moguće sličnije temperaturi tokom ugradnje.

Postupak:

- Odrediti dozu usporivača na osnovu tabele
- Napuniti barem 5 posuda tom mešavinom betona
- Vibrirati sadržaj prve posude 2 sata pre pretpostavljenog početnog vezivanja
- Vibrirati posudu po posudu nakon svakih sat vremena (sadržaj svake posude se vibrira samo jedanput)
- Kada se sadržaj sledeće posude više ne može vibrirati, beton je počeo vezivati
- Zapisati dobijena vremena te proveriti da li se podudaraju s pretpostavkama (u tabeli)
- Ako su razlike prevelike ponoviti ispitivanja uz korišćenje popravljenih doza.

Mere za usporeni beton

Oplata

Drvena oplata koja se koristi prvi put može prouzrokovati pojavu mrlja u znatnoj meri, prašenje površine itd., posebno oko čvorova zbog pojavljivanja drvenog šećera na površini.

Drvene oplatae koje jako dobro upijaju, koje nisu dovoljno mokre te koje nisu na odgovarajući način tretirane premazima za odvajanje, izvlače previše vode iz površine betona. Rezultat toga su labave i trošne čestice i prašenje. Ta je šteta veća kod usporenog betona jer negativni efekti duže traju.

Drvene oplatae koje su pripremljene na odgovarajući način i koje su ispravno tretirane proizvodom **Sika® Separol®** omogućuju dobre, čiste površine na usporenom betonu.

Zbijanje i nega

Usporeni beton mora se zbijati. Sledeća faza (npr. sledeće jutro), vibrira se zajedno sa „starim slojem”. Usporena područja se zajedno zbijaju i završno obrađuju.

Nega je od velike važnosti kako bi usporeni, zbijeni beton u procesu očvršćavanja izgubio što je moguće manje vlage.

Najbolje metode za usporene površine (podovi itd.) su:

- Prekrivanje plastičnim folijama ili izolacionim prekrivačima.

Za usporena područja koja će se kasnije ponovo vibrirati:

- Potpuno prekrivanje plastičnim folijama ili vrećama. Zaštita od promaje. Dodatno zalivanje površine [tj. prskanje] može uzrokovati ispiranje usporenog betona.

4.1.3 Ubrzavanje vezivanja / beton za hladne vremenske prilike

Prilikom rukovanja beton je potrebno zaštititi od kiše i mraza.

Betoniranje pri niskim temperaturama moguće je isključivo uz posebne zaštitne mere. Te se mere moraju sprovoditi od samog početka proizvodnje betona pa sve do završetka nege. One zavise od spoljne temperature, vlažnosti vazduha, vetra, temperature svežeg betona, razvoja i gubitka toplote, te količine livenja.

Ako se ne koriste zaštitne mere, svež beton prilikom ugradnje ne sme biti hladniji od +5 °C. U slučaju potrebe treba prethodno zagrejati vodu i agregate.

Problem

Niske temperature usporavaju vezivanje cementa. Pri temperaturama nižim od -10 °C hemijski procesi u cementu prestaju (ali se nastavljaju nakon zagrevanja). Opasne situacije nastaju ako se beton smrzne prilikom vezivanja tj. ako nema određenu minimalnu čvrstoću. Dolazi do slabljenja strukture betona uz odgovarajući gubitak čvrstoće i kvaliteta. Minimalna čvrstoća pri kojoj beton može izdržati jedan proces smrzavanja bez oštećenja je tzv. čvrstoća smrzavanja od 10 N/mm². Glavni cilj mora biti postizanje čvrstoće smrzavanja što je moguće pre.

Temperatura t svežeg betona može se proceniti pomoću sledeće jed-
načine:

$$t_{\text{beton}} = 0.7 \times t_{\text{agregat}} + 0.2 \times t_{\text{voda}} + 0.1 \times t_{\text{cement}}$$

Mere

1. Minimalna temperatura

Prema EN 206-1 temperatura svežeg betona prilikom isporuke ne sme biti niža od +5°C. (Za tanke, fino konstruktivne elemente i temperaturu vazduha od -3°C ili niže, prema EN, potrebna je temperatura betona od +10°C, koju je potrebno održavati 3 dana!) Te minimalne temperature su važne kako bi moglo doći do procesa vezivanja. Beton je potrebno zaštititi od gubitka toplote prilikom rukovanja i posle ugradnje (videti „zaštitne mere”).

2. Smanjenje vodocementnog odnosa (v/c)

Najniža moguća količina vode dovodi do brzog rasta početne čvrstoće. U tom slučaju postoji i manje vlage koja se može smrznuti. Superplastifikatori omogućavaju nizak vodocementni odnos uz zadržavanje dobre obradivosti.

3. Ubrzavanje očvršćavanja

Proizvod **SikaRapid®-1** omogućuje maksimalno ubrzavanje procesa očvršćavanja u slučajevima kada je tražena visoka početna čvrstoća.

Vreme potrebno za 10 N/mm² pri 0°C u danima (d)

Beton	Vreme u danima	
	Kontrolna mešavina	Sa 1 % SikaRapid® -1
CEM I 300 kg/m ³ vodocementni odnos = 0.40	4 d	1 d
CEM I 300 kg/m ³ vodocementni odnos = 0.50	8 d	2 d

4. Korišćenje CEM I 52.5

Što su finije mleveni, to cementi brže uzrokuju povećanje početne čvrstoće. Superplastifikatori omogućuju najbolju obradivost uz nizak vodocementni odnos.

Zaštitne mere na gradilištu

1. Ne betonirati pored ili na smrznutom postojećem betonu.
2. Temperatura čelične armature mora biti veća od 0°C.
3. Brzo ugraditi beton te odmah nakon toga zaštititi ga od gubitka toplote i isparavanja (jednako važno kao i leti!). Termoizolacioni prekrivači su idealni za to.

Primer

Za spoljnu temperaturu od -5°C i temperaturu svežeg betona od 11°C

Konstruktivni element	Smanjenje temperature betona na $+5^{\circ}\text{C}$ u periodu od	
Betonski pločnik debljine $d = 12\text{ cm}$, na drvenoj oplati	~ 4 sata bez izolacionih prekrivača	~ 16 sati sa izolacionim prekrivačima

4. Za pločnike: zagrijati oplatu odozdo ako je potrebno.
5. Redovno proveravati temperature vazduha i betona te prirast čvrstoće (npr. pomoću odskočnog čekića).
6. Produžiti vreme uklanjanja optele!

Zaključak: Sve uključene strane moraju planirati i organizovati mere nege i zaštite u zimskim uslovima od samog početka.

Korišćenje Sika proizvoda

Naziv proizvoda	Vrsta proizvoda	Svojstva svežeg betona
Sikament® Sika® ViscoCrete®	Superplastifikator Superplastifikator	Brzo dostizanje čvrstoće smrzavanja zbog smanjenja količine vode
Sikament® -HE/ Sika® ViscoCrete® -HE	Superplastifikator/ ubrzivač očvršćavanja	Vrlo visoka početna čvrstoća u vrlo kratkom vremenskom roku
SikaRapid® -1	Ubrzivač očvršćavanja	Vrlo visoka početna čvrstoća u vrlo kratkom vremenskom roku

4.1.4 Konzistencija

Za razliku od "obradivosti", konzistencija – ili deformabilnost– svežeg betona može se meriti. Standard EN 206-1:2000 razlikuje između 4 i 6 klasa prema konzistenciji, zavisno od metode ispitivanja te definiše svež beton od krutog do tečnog (videti poglavlje 2.3, Klasifikacija prema konzistenciji).

Dozvoljena odstupanja za ciljane vrednosti konzistencije prema EN 206-1

Metoda ispitivanja	Stepen kompaktnosti			Prečnik rasprostiranja	Sleganje		
Raspon ciljanih vrednosti	≥ 1.26	$1.25 \dots 1.11$	≤ 1.10	Sve vrednosti	$\leq 40\text{ mm}$	$50 \dots 90\text{ mm}$	$\geq 100\text{ mm}$
Dozvoljeno odstupanje	± 0.10	± 0.08	± 0.05	$\pm 30\text{ mm}$	$\pm 10\text{ mm}$	$\pm 20\text{ mm}$	$\pm 30\text{ mm}$

Ispitivanje konzistencije, između ostalog, spada u kontrolne parametre za beton kojima se potvrđuju primene rezultata prethodnih ispitivanja.

Faktori koji utiču na konzistenciju

- Oblik i sastav zrna
- Količina/vrsta cementa
- Količina vode
- Korišćenje hemijskih dodataka betonu
- Korišćenje mineralnih dodataka betonu
- Temperaturni uslovi
- Intenzitet i vreme mešanja
- Vreme merenja

Vreme i mesto ispitivanja

Konzistenciju betona potrebno je odrediti u trenutku isporuke tj. na gradilištu pre ugradnje (kontrola obradivosti).

Ako se konzistencija zabeleži posle procesa mešanja (provera konzistencije prilikom proizvodnje) i pre ugradnje na gradilištu, moguće je direktno upoređivanje promene konzistencije kao faktora starosti svežeg betona.

Ako se beton isporučuje u auto-mešalici, konzistencija se može meriti na slučajnom uzorku uzetom nakon pražnjenja otprilike 0.3 m³ betona.

4.1.5 Krvarenje (izdvajanje vode na površini betona)

Pojavljivanje vode na površini uzrokovano razdvajanjem betona.

Krvarenje često nastaje kao rezultat grešaka u sitnim česticama u agregatu ili defekata mešavina koje sadrže malo cementa ili mnogo vode.

Posledice

- Nepravilne, prašnjave, porozne površine
- Betonska površina ima neadekvatnu otpornost na uticaje iz okoline i mehaničko habanje
- „Iscvetavanje” ili efflorescencija na površini

Kako smanjiti krvarenje

- Smanjenje količine vode
- Kontrola količine sitnih čestica
- Korišćenje stabilizatora za mešavinu, **Sika® Stabilizer**
- Optimizacija granulometrijske krive

4.1.6 Završna obrada

Prilikom ugradnje potrebno je izbegavati predugo zbijanje kako na površini ne bi došlo do pojave izdvajanja viška vode i cementnog mleka.

Površina se ne sme prerano završno obraditi (zagladiti). Pričekati dok površina ne postane blago vlažna.

Otpornost površine na habanje se po pravilu može poboljšati ako se zaglađivanje površine „helikopterom” ili perdaškom ponovi dva ili čak tri puta.

4.1.7 Zapreminska masa svežeg betona

Zapreminska masa svežeg betona predstavlja masu u kg po m³ svežeg, normalno zbijenog betona, uključujući njegove pore preostalog vazduha.

Uz istu količinu cementa i agregata, manja zapreminska masa svežeg betona **ukazuje na nižu čvrstoću betona iz razloga što zapreminska masa opada sa povećanjem količine vode i sadržaja uvučenog vazduha.**

Zapreminska masa svežeg betona opada

- Povećanjem količine vode
- Povećanjem sadržaja vazduha

Zapreminska masa svežeg betona raste

- Povećanjem količine cementa
- Smanjenjem vodocementnog odnosa („v/c faktora“)
- Smanjenjem sadržaja vazduha

Za određivanje zapreminske mase svežeg betona prema EN 12350-6, videti poglavlje 4.2.6. „Određivanje zapreminske mase svežeg betona“.

4.1.8 Sadržaj vazdušnih pora

Svi betoni sadrže pore vazduha (tzv. uvučeni vazduh). Čak i nakon pažljivog zbijanja preostali sadržaj vazduha npr. uz maksimalnu veličinu agregata od 32 mm, je 1 – 2 % po zapremini, a ova tipična preostala količina vazduha kod sitnozrnog betona spravljenog sa sitnim agregatom može narasti i do 4 % po zapremini.

Različite vrste pora

- Pore zbog zbijanja
- Otvorene i zatvorene kapilarne pore
- Gelske pore
- Veštačkim putem uvučeni mehurići vazduha za poboljšanje otpornosti na mraz i smrzavanje/odmrzavanje

Korišćenjem dodataka za uvlačenje vazduha, sadržaj mehurića vazduha u betonu ili malteru može se veštački povećati. Proizvodi za veštačko uvlačenje vazduha:

- **SikaAer®**
- Veštački nastali mehurići vazduha za proizvodnju lakog betona: **SikaLightcrete® -02**

Za određivanje sadržaja mehurića vazduha prema EN 12350-7, videti poglavlje 4.2.7 „Određivanje sadržaja vazdušnih pora u betonu“.

4.1.9 Pumpabilnost

Pumpabilnost betona u osnovi zavisi od sastava mešavine, agregata koji se koriste i metode isporuke.

Što se tiče isporuke i ugradnje pumpanog betona, sistematskim davanjem dodataka za bolju pumpabilnost koja su posebno pogodna za drobljene agregate, sekundarne sirovine i visoko upijajuće agregate itd., može se ostvariti značajno smanjenje pritiska pumpanja i povećanje učinka.

Prilagođavanjem sastava mešavine (poglavlje 3.2.1) i korišćenjem dodataka za bolju pumpabilnost, kao što je na primer **Sika Pump®**, može se smanjiti otpor trenja na zidovima cevi, a na taj način se smanjuje pritisak pumpanja te se postiže bolji učinak i smanjuje habanje.

4.1.10 Kohezija

Kohezija mešavine znači konzistentnu homogenost sveže betonske mešavine tokom ugradnje. Nedostatak kohezije dovodi do segregacije, razdvajanja i problema s ugradnjom.

Načini za poboljšanje kohezije

- Povećanje količine sitnih čestica (brašno + fini pesak)
- Smanjenje količine vode → Korišćenje superplastifikatora → **Sikament® / Sika® ViscoCrete®**
- Korišćenje stabilizatora → **Sika® Stabilizer**
- Korišćenje aeranta → **SikaAer®**

4.1.11 Temperatura svežeg betona

Temperatura svežeg betona ne sme biti preniska kako bi beton dovoljno brzo mogao dostići dovoljnu čvrstoću, te kako do štetnih posledica delovanja mraza ne bi došlo u ranom stadijumu starenja.

- Tokom postavljanja i ugradnje, temperatura svežeg betona ne bi smela biti ispod +5 °C.
- Sveže postavljeni beton potrebno je zaštititi od mraza. Otpornost na smrzavanje postiže se pri čvrstoći pri pritisku od otprilike 10 N/mm².
- S druge strane previsoke temperature betona mogu dovesti do problema prilikom ugradnje te mogu nepovoljno uticati na određena svojstva očvrslog betona. Kako bi se to izbeglo, temperatura svežeg betona prilikom postavljanja i ugradnje ne sme biti iznad 30 °C.

Mere opreza pri niskim temperaturama

→ videti Beton za niske temperature (poglavlje 4.1.3. Ubrzavanje vezivanja / beton za hladne vremenske prilike)

Mere opreza pri visokim temperaturama

→ videti Beton za visoke temperature (poglavlje 4.1.2 Usporavanje vezivanja / beton za tople vremenske prilike)

4.1.12 Vodocementni odnos

Vodocementni odnos (v/c) je odnos voda/količina cementa u svežem betonu.

Izračunava se tako što se masa ukupne vode V podeli sa masom dodatog cementa C .

Jednačina za izračunavanje vodocementnog odnosa glasi:

$$v/c = \frac{V}{C} \text{ ili } \frac{V}{C_{eq}} = \frac{V}{C + (K \times \text{dodatak tipa II})}$$

Efektivna količina vode u mešavini je razlika između ukupne vode V_0 i količine upijene vode u agregatu (V_G , određena prema EN 1097-6). U skladu sa tim, jednačina za vodocementni odnos glasi:

$$v/c = \frac{V_0 - V_G}{C}$$

Na traženi vodocementni odnos uglavnom utiču agregati koji se koriste, zaobljeni ili drobljeni materijali i njihov sastav.

Na izbor vodocementnog odnosa po pravilu utiče delovanje sredine (nove klase izloženosti) prema EN 206-1:2000.

4.2 Ispitivanje svežeg betona



4.2.1 Obradivost

„Obradivost” podrazumeva ponašanje svežeg betona tokom mešanja, rukovanja, isporuke i ugradnje na licu mesta te za vreme zbijanja i završne obrade površine. To je mera deformabilnosti svežeg betona, te se definiše pomoću merljivih brojeva.

Standard EN 206-1 deli konzistenciju u 4 do 6 klasa u zavisnosti od metode ispitivanja. Te se klase mogu koristiti za određivanje i ispitivanje konzistencije u rasponu od krute do gotovo tečne (videti poglavlje 2.3, Klasifikacija prema konzistenciji).

Ispitivanja konzistencije koriste se za redovnu kontrolu svežeg betona. Učestalost sprovođenja ispitivanja određuje se na osnovu važnosti konstrukcije te se vrši na način da se u potpunosti osigura traženi kvalitet betona.

Poglavlja 8, 9 i 10 iz EN 206-1 daju detaljna uputstva o kontroli saglasnosti.

4.2.2 Uzimanje uzoraka

Način uzimanja uzoraka za ispitivanja svežeg betona koja su navedena u daljem tekstu obuhvaćen je:

Standardom EN 12350-1 za kompozitne i slučajne uzorke.

■ **Kompozitni uzorci:**

Uzorci betona koji se sastoje od niza jednobraznih pojedinačnih uzoraka uzetih iz mešalice ili betonske mase te su nakon toga temeljno promešani.

■ **Slučajni uzorci:**

Pojedinačni uzorci uzeti iz jednog dela mešalice ili betonske mase koji se nakon toga temeljno mešaju.

■ **Pojedinačni uzorci:**

Uzorci koji se uzimaju na jednom odgovarajućem mestu te se nakon toga temeljno mešaju.

Odluka o tome da li se uzimaju slučajni ili kompozitni uzorci zavisi od njihove namene. Ukupna količina za uzorke mora predstavljati najmanje **1,5 količine** betona potrebne za ispitivanje (zidarska kolica od 60 litara su obično dovoljna).

4.2.3 Ispitivanje konzistencije metodom sleganja

Princip:

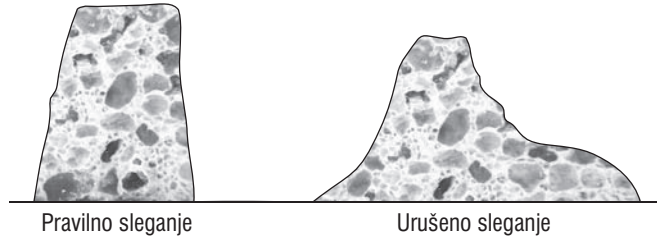
Svež beton se postavlja u prazan kalup koji ima oblik zarubljenog konusa (kupe) te se nakon toga zbija. Sleganje nakon uklanjanja kalupa je mera konzistencije betona. Sleganje je razlika u milimetrima između visine kalupa i visine oblika sveže betonske mase nastale nakon uklanjanja kalupa.

Standard: EN 12350-2

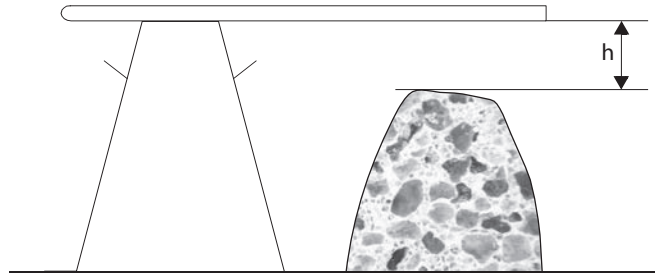
Čitav proces ispitivanja od početka punjenja do podizanja konusa mora se sprovesti u roku od 150 sekundi. Ispitivanje je dobro urađeno isključivo u slučaju ako se njime dobija sleganje kod koga je beton u većoj meri netaknut i simetričan nakon uklanjanja kalupa, tj. ako beton zadrži oblik zarubljene kupe (ili oblik koji podseća na kupu). Ako dođe do urušavanja betona (videti Oblike sleganja) mora se uzeti novi uzorak. Ako u dva uzastopna ispitivanja dođe do urušavanja betona to znači da beton nema plastičnost i koheziju potrebnu za ispitivanje na sleganje.

Oblici sleganja

Pravilno sleganje



Merenje sleganja



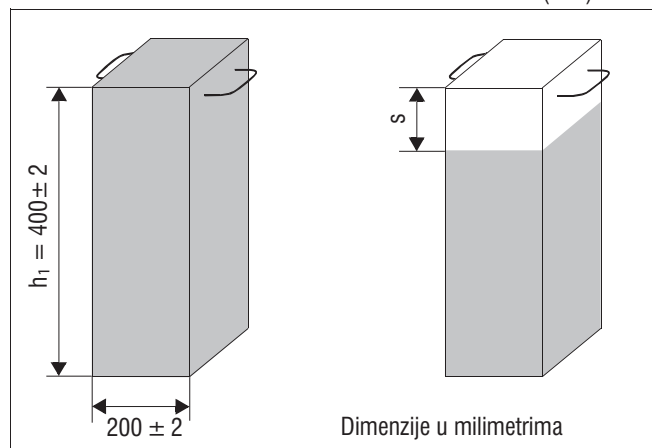
4.2.4 Ispitivanje konzistencije pomoću stepena kompaktnosti

Princip:

Svež beton se pažljivo postavlja u čeličnu posudu za ispitivanje. Mora se izbeći zbijanje. Nakon punjenja posude do vrha, beton se zaglađuje u nivou ivice posude bez vibriranja. Beton se tada zbija, npr. pomoću vibro igle (maksimalnog prečnika 50 mm). Nakon zbijanja, meri se rastojanje između površine betona i vrha posude na sredini sve četiri strane. Srednja izmerena udaljenost (s) se koristi za izračunavanje stepena kompaktnosti.

Standard EN 12350-4

Dimenzije posude	Osnova	200 x 200 mm	(± 2)
	Visina	400 mm	(± 2)



Beton u posudi pre zbijanja

Beton u posudi posle zbijanja

Stepen kompaktnosti: $c = \frac{h_1}{h_1 - s}$ (bezdimenziona veličina)

Klase prema stepenu kompaktnosti: videti poglavlje 2.3, Klasifikacija prema konzistenciji.

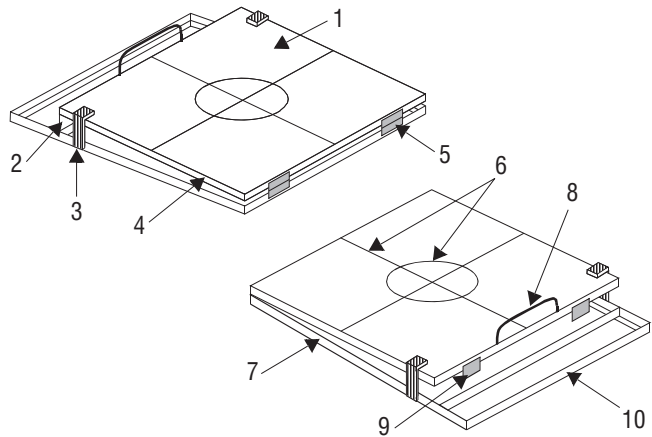
4.2.5 Ispitivanje konzistencije metodom rasprostiranja

Princip:

Ovo ispitivanje određuje konzistenciju svežeg betona na osnovu merenja rasprostiranja betona na horizontalnoj ravnoj ploči. Svež beton se prvo sipa u kalup oblika zarubljenog konusa (kupe) u dva sloja pa se posle toga zbjija i zaglađuje u ravni sa vrhom kalupa. Posle toga se kalup pažljivo uklanja tj. podiže pravo naviše. Na kraju se ploča ručno ili mehanički petnaest puta podiže do gornje zaustavne tačke pa posle toga pušta da slobodno pada do donje zaustavne tačke. Rasprostiranje betona se meri paralelno sa bočnim ivicama kroz centralnu tačku.

Standard EN 12350-5

Klase prema prečniku rasprostiranja: videti poglavlje 2.3, Klasifikacija prema konzistenciji.



1 Metalna ploča

2 Visina podizanja (ograničena na 40 ± 1) mm

3 Gornja zaustavna točka

4 Udarna ploča

5 Šarke (spolja)

6 Oznake na ploči

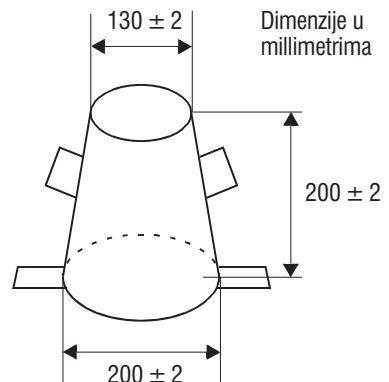
7 Ram

8 Ručka

9 Donja zaustavna tačka

10 Mesto za nogu

Čelični kalup,
debljina lima min. 1.5 mm



4.2.6 Određivanje zapreminske mase svežeg betona

Princip:

Svež beton se zbija u čvrstoj vodonepropusnoj posudi pa se posle toga meri.

Standard EN 12350-6

Minimalne dimenzije posude moraju biti barem četiri puta veće od maksimalne nominalne dimenzije krupnog agregata u betonu, ali ne smeju biti manje od 150 mm. Kapacitet posude mora biti bar 5 litara. Gornja ivica i osnova moraju biti paralelne.

(Lonci za ispitivanje sadržaja vazduha kapaciteta 8 litara takođe su se pokazali vrlo odgovarajućim.)

Beton se zbija mehanički pomoću vibro igle ili potresnog stola ili ručno, pomoću šipke ili nabijača.

4.2.7 Određivanje sadržaja vazдушnih pora u betonu

Postoje dve metode ispitivanja koje koriste opremu koja radi na istom principu (Boyle-Mariottov zakon): to su metoda vodenog stuba i metoda izjednačavanja pritiska. U daljem tekstu opisana je **metoda izjednačavanja pritiska** budući da se ona češće koristi.

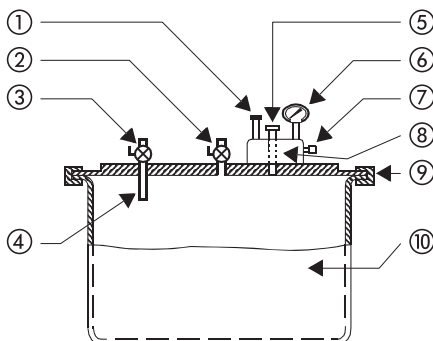
Princip:

Poznata zapremina vazduha sa poznatim pritiskom se izjednačava s nepoznatom zapreminom vazduha u uzorku betona u dobro zaptivenoj komori. Skala merača pritiska za dobijeni pritisak je kalibrisana prema procentu količine vazduha u uzorku betona.

Standard EN 12360-7

Prikaz ispitnog uređaja za metodu izjednačavanja pritiska vazduha

- 1 Pumpa
- 2 Ventil B
- 3 Ventil A
- 4 Ekspanzivne cevi za proveru tokom kalibrisanja
- 5 Glavni vazdušni ventil
- 6 Merač pritiska
- 7 Ispusni ventil za vazduh
- 8 Prostor ispunjen vazduhom
- 9 Pribor za zaptivanje
- 10 Posuda



Ispitne posude koje se koriste za određivanje sadržaja vazduha u standardnom betonu po pravilu imaju zapreminu od 8 litara. Zbijanje se vrši pomoću vibro igle ili potresnog stola. U slučaju korišćenja vibro igle, potrebno je paziti na to da se uvučeni vazduh ne izbací preteranim vibriranjem.

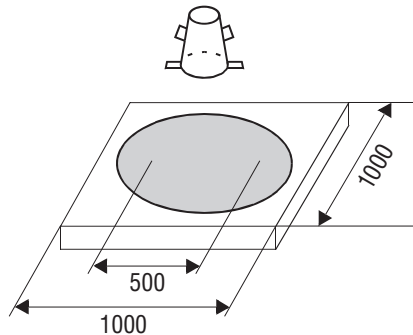
Navedene metode nisu pogodne za beton proizvedenim sa lakim agregatima, zgurom iz visokih peći koja je hlađena vazduhom ili sa izrazito poroznim agregatima.

4.2.8 Ostale metode ispitivanja konzistencije svežeg betona

Pored gore navedenih metoda u poslednje vreme razvijene su i nove metode ispitivanja, pogotovo za samozbijajući beton. One još nisu obuhvaćene standardima, ali su se u praksi pokazale vrlo efikasnim. Uobičajene metode ispitivanja opisane su u daljem tekstu.

Metoda sleganje-rasprostiranje

To je zapravo kombinacija sleganja (koristi se isti kalup-konus) i prečnika rasprostiranja. Zarubljeni konus (koji se koristi za merenje sleganja) se napuni betonom na ploči, poravna a zatim lagano podigne. Uobičajena mera je vreme u sekundama potrebno za dostizanje prečnika rasprostiranja od 50 cm, a nakon toga se meri maksimalan prečnik rasprostiranja na kraju kretanja.



Ponegde se koristi alternativna metoda, tj. zarubljeni konus za sleganje se okrene naopačke. To olakšava posao jer nije potrebno pridržavati kalup tokom punjenja.

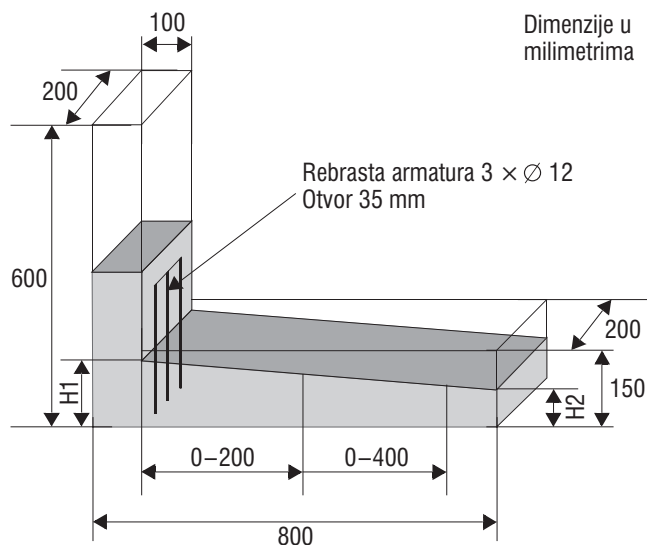
Ova metoda je pogodna za ispitivanja i u laboratoriji i na gradilištu.

Mogu se dodati i nove prepreke, na primer po-

stavljanjem prstena od rebraste armature u središte kako bi se simulirao protok oko armature.

L-kutija

L-kutija je pogodna za analizu protoka iz vertikalnog u horizontalno. Uobičajena mera je vreme potrebno za dostizanje prvih 50 cm horizontalnog rastojanja a takođe i dostizanje suprotne strane kanala i dostizanje visine betona na izlaznom otvoru i na suprotnoj strani. Brzina protoka u dve merne tačke može se na primer meriti i elektronski.

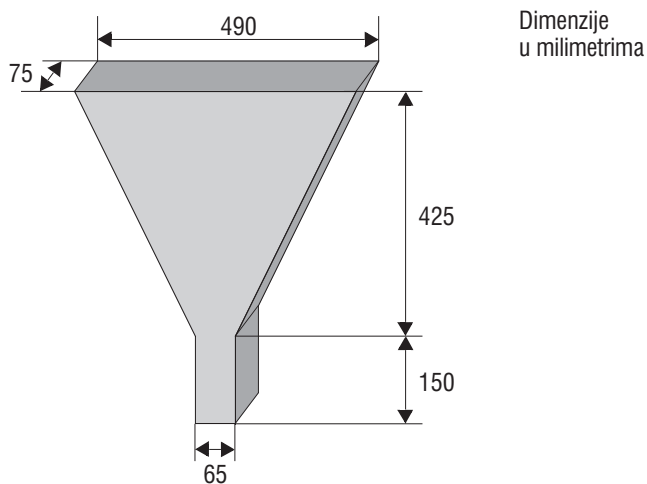


Ispusni kanali najčešće imaju rebrastu armaturu na ispustu.

Ova je metoda pogodna za ispitivanja i u laboratoriji i na gradilištu.

V-kanal

Prilikom punjenja betonom poklopac na donjoj osnovi je zatvoren, on se posle toga otvara te se meri vreme isticanja, npr. do prvog prekida isticanja.



Ova je metoda pogodnija za ispitivanje u laboratoriji nego na gradilištu jer se V-kanal po pravilu mora pričvrstiti na stalak.

5. Očvršli beton

5.1 Svojstva očvrsllog betona

5.1.1 Čvrstoća pri pritisku

Klase čvrstoće pri pritisku prema EN 206-1

Videti poglavlje 2.4

Važno svojstvo očvrsllog betona je čvrstoća pri pritisku. Ona se određuje ispitivanjem pritiskom na posebno proizvedenim uzorcima (kocke ili valjci) ili na jezgrima uzetim iz konstrukcije.

Glavni faktori koji utiču na čvrstoću pri pritisku su vrsta cementa, vodocementni odnos i stepen hidratacije, na koji uglavnom utiču način i vreme trajanje nege.

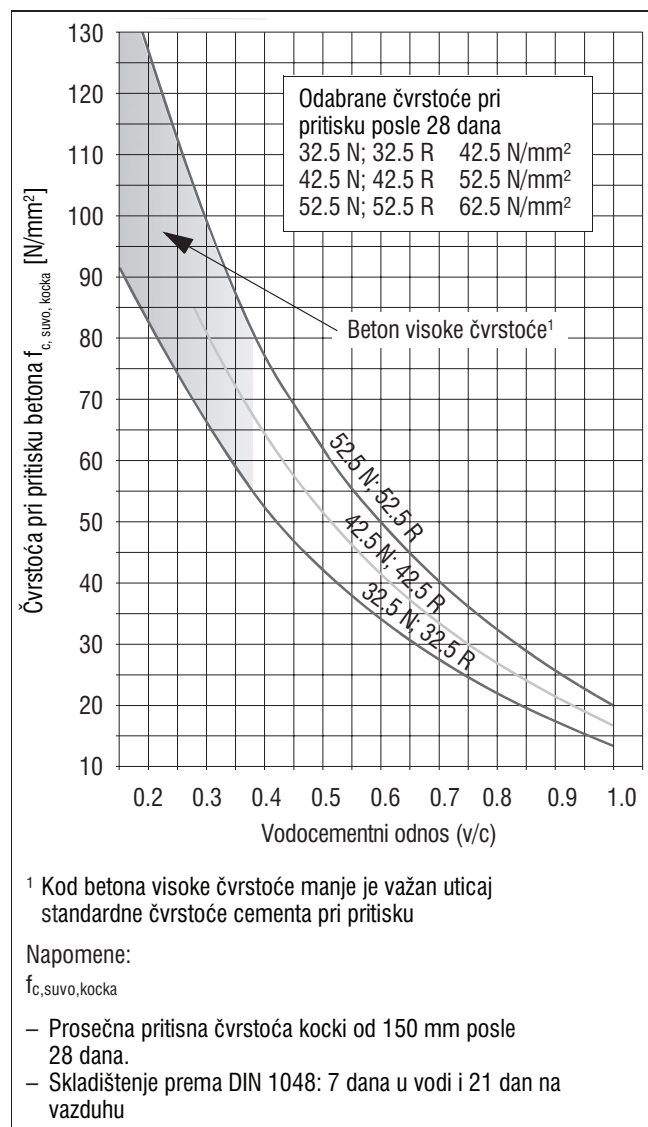
Čvrstoća betona je saglasno tome rezultat čvrstoće hidratisanog cementa, čvrstoće agregata i veze između te dve komponente, te nege. Okvirne vrednosti za razvoj čvrstoće pri pritisku navedene su u donjoj tabeli.

Razvoj čvrstoće betona (okvirne vrednosti¹)

Klasa čvrstoće cementa	Skladištenje pri	3 dana N/mm ²	7 dana N/mm ²	28 dana N/mm ²	90 dana N/mm ²	180 dana N/mm ²
32.5 N	+20 °C + 5 °C	30...40 10...20	50...65 20...40	100 60...75	110...125	115...130
32.5 R; 42.5 N	+20 °C + 5 °C	50...60 20...40	65...80 40...60	100 75...90	105...115	110...120
42.5 R; 52.5 N 52.5 R	+20 °C + 5 °C	70...80 40...60	80...90 60...80	100 90...105	100...105	105...110

¹Čvrstoća pri pritisku posle 28 dana pri skladištenju na 20 °C iznosi 100 %.

Uzajamna veza čvrstoće pri pritisku, standardne čvrstoće cementa i vodocementnog odnosa



Uticaj nege na čvrstoću pri pritisku, videti poglavlje 8.

5.1.2 Beton visoke početne čvrstoće

Visoka početna čvrstoća odnosi se na pritisnu čvrstoću betona u prvih 24 sata nakon proizvodnje.

Beton visoke početne čvrstoće za prefabrikovane konstrukcije

Visoka početna čvrstoća je često vrlo važna za prefabrikovane konstrukcije.

Visoka početna čvrstoća znači

- Ranije uklanjanje oplata (ranije sečenje)
- Brže „okretanje” oplata
- Brža mogućnost rukovanja prefabrikovanim konstrukcijama
- Ekonomičnije korišćenje cementa
- Manje energije za zagrevanje itd.

Isporučeni beton visoke početne čvrstoće

Ovde postoje dva dijametralno suprotna uslova. Sa jedne strane potrebno je duže vreme rada (za rukovanje i ugradnju), a sa druge strane potrebna je početna čvrstoća nakon 6 sati. Oba uslova je moguće zadovoljiti koristeći moderne superplastifikatore, ubrzivače očvršćavanja i posebno prilagođene mešavine.

Upotreba isporučenog betona visoke početne čvrstoće

Primenjuje se za sve zahteve gde su potrebne visoke rane čvrstoće, što uključuje:

- Kratko vreme uklanjanja oplata, posebno zimi
- Situacije u kojima je potrebna brza nosivost (saobraćajne površine/ podnožni svodovi tunela)
- Klizne oplata
- Brza završna obrada (npr. „teraco” beton zimi)
- Smanjene zaštitnih mera zimi

Parametri koji utiču na beton visoke početne čvrstoće

Razvoj čvrstoće i konzistencije zavisi od sledećih parametara:

- Vrste i sastava cementa
- Temperature betona, okoline i podloge
- Vodocementnog odnosa
- Dimenzija elemenata
- Nege
- Sastava agregata
- Hemijskih dodataka betonu

Korišćenje Sika proizvoda

Proizvodi	5 °C h : N/mm ²	10 °C h : N/mm ²	20 °C h : N/mm ²	30 °C h : N/mm ²
Osnovni beton	CEM: 350 — 18 h: 0 24 h: 2 48 h: 10	CEM: 350 — 12 h: 0 18 h: 3 24 h: 14	CEM: 325 — 9 h: 2 12 h: 5 18 h: 17	CEM: 325 — 6 h: 5 9 h: 9 12 h: 13
Sika® Antifreeze Dodatak protiv smrzavanja	CEM: 350 Dozaža: 1 % 18 h: 1 24 h: 3 48 h: 12	CEM: 325 Dozaža: 1 % 12 h: 2 18 h: 5 24 h: 16	CEM: 325 Dozaža: 1 % 9 h: 3 12 h: 6 18 h: 18	
SikaRapid® - 1 Ubrzivač očvršćavanja	CEM: 350 Dozaža: 1 % 18 h: 1 24 h: 4 48 h: 16	CEM: 325 Dozaža: 1 % 12 h: 3 18 h: 7 24 h: 15	CEM: 325 Dozaža: 1 % 9 h: 4 12 h: 10 18 h: 23	CEM: 300 Dozaža: 1 % 6 h: 12 9 h: 16 12 h: 20
Sika® ViscoCrete® serije -5,-20 HE Superplastifikator za visoke početne čvrstoće			CEM: 325 Dozaža: 0.4 % 24 h: 27	CEM: 325 Dozaža: 0.8 % 24 h: 34

Ispitivanje čvrstoće

Za dobijanje pouzdanih podataka o razvoju početne čvrstoće konstrukcije, moraju se vrlo pažljivo proizvesti uzorci. Odgovarajući načini su:

- Po mogućnosti proizvodnja uzoraka sa dimenzijama koje odgovaraju konstrukciji i jezgra (kernovi) uzeta neposredno pre ispitivanja
- Ili proizvodnja uzoraka s istim uslovima skladištenja. Važno je shvatiti da su početne čvrstoće mnogo manje kod uzoraka manjih dimenzija.
- Posebni ispitni uređaji na principu udara klatna mogu se koristiti za ispitivanje na konstrukciji. Rana čvrstoća ne može se testirati pomoću čekića za ispitivanje.

Sastav betona

Moguće je navesti samo opšte informacije iz razloga što tačan sastav mešavine uglavnom zavisi od posebnih uslova:

- **Vrsta cementa:** Koristite CEM I 52.5 umesto CEM I 42.5. Silikatna prašina ubrzava razvoj čvrstoće, dok ga leteći pepeo usporava.
- **Količina cementa:** Za maksimalnu veličinu zrna od 32 mm, potrebno je povećati količinu veziva sa 300 na 325 – 350 kg/m³.
- **Temperatura betona:** Ako je moguće treba povećati temperaturu kod visokih zahteva.

- **Granulometrijska kriva:** Odabrati krive sa malom količinom sitnih čestica, obično smanjenjem količine peska kako bi na taj način smanjili potrebnu količinu vode.
- **Vodocementni odnos:** Značajno smanjiti količinu vode korišćenjem superplastifikatora.
- **Ubrzavanje:** Ubrzati razvoj čvrstoće korišćenjem ubrzivača očvršćavanja (**SikaRapid®**), koji ne utiče na smanjenje krajnje čvrstoće.
- **Nega:** Zadržati toplotu hidratacije u betonu tako što ga treba zaštititi od gubitka toplote i sušenja.

5.1.3 Vodonepropusnost

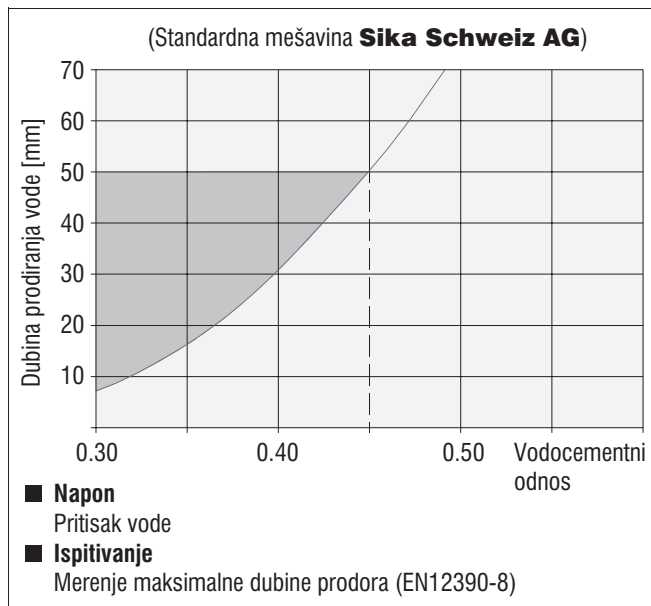
Vodonepropusnost definiše otpornost betonske konstrukcije na prodor vode.

Vodonepropusnost betona se određuje nepropusnošću (kapilarna poroznost) hidratisanog cementa.

Definicija vodonepropusnosti prema EN 12390-8

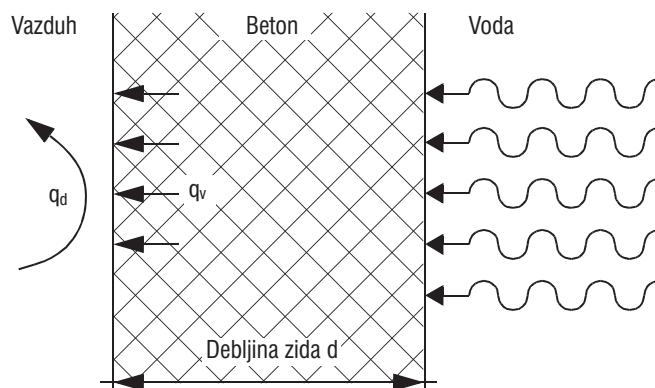
Maksimalno prodiranje vode u beton ≤ 50 mm

Uslov: Dobar kvalitet betona i ispravno rešenje za spojnice!



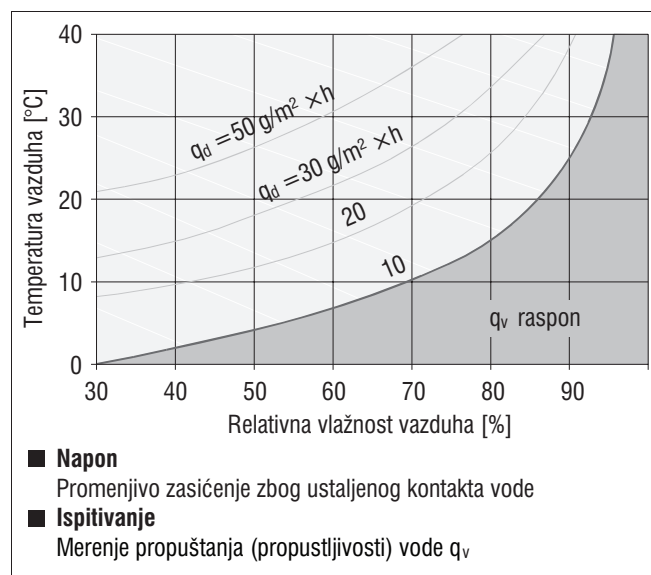
Definicija vodonepropusnosti

Prodiranje (propustljivost) vode q_v < zapremina isparljive vode q_d



Što je d veće, to je bolja vodonepropusnost.

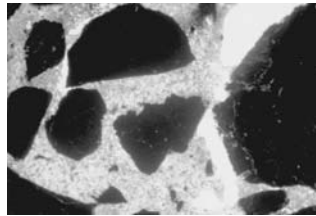
■ Preporučeni raspon za vodonepropusne konstrukcije: $q_v \leq 10 \text{ g/m}^2 \times h$



Smanjenje kapilarnih pora i šupljina smanjenjem vode

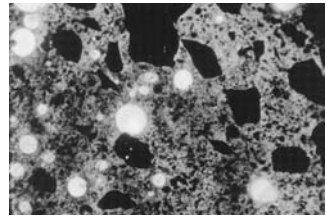
Visoki vodocementni odnos > 0.60

Velike pore zbog nedostatka finog peska i sitnih čestica



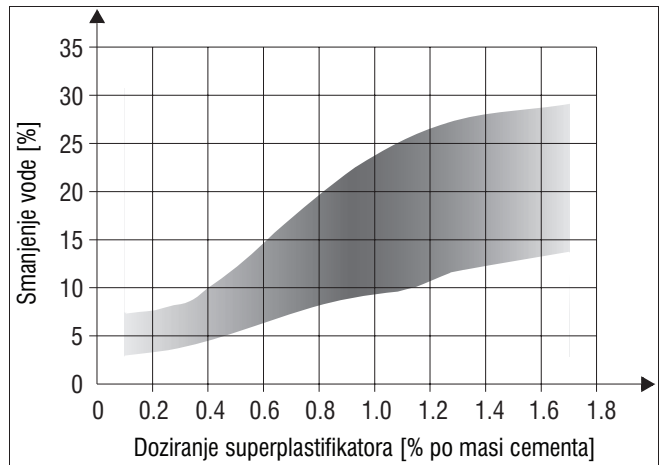
Nizak vodocementni odnos > 0.40

Izrazito vodonepropusna cementna matrica



Smanjenje vode u % korišćenjem proizvoda

Sikament® / Sika® ViscoCrete®



Odgovarajuća hidratacija je od izrazite važnosti za vodonepropusan beton. Zbog toga je pravilna nega betona ključna (poglavlje 8).

5.1.4 Otpornost na mraz (cikluse smrzavanja/odmrzavanja) i mraz i so

Napon zbog mraza

Štetni uticaj mraza na betonske konstrukcije može se po pravilu očekivati nakon što u njih prodre vlaga te su one u takvom stanju izložene čestom smrzavanju/odmrzavanju. Štete na betonu nastaju zbog cikličkog smrzavanja i odmrzavanja upijene vode do kojih dolazi usled kapilarnog usisavanja. Štete nastaju zbog povećanja zapremine vode [leda] u površinskim slojevima betona.

Ključni elementi za postizanje dobre otpornosti na mraz

- Agregati otporni na mraz
- Vodonepropusne betonske konstrukcije i/ili
- Beton obogaćen mikroporama
- Temeljna i pažljiva nega
- Što viši stepen hidratacije betona (tj. ne preporučuje se ugradnja betona neposredno pre mraza)

Metode ispitivanja

- Otpornost na mraz

Otpornost na mraz može se proceniti poređenjem šupljina koje se mogu popuniti i šupljina koje se ne mogu popuniti.

Otpornost na mraz i so

Uzimajući u obzir raširenu upotrebu soli za odleđivanje (po pravilu natrijum-hlorida NaCl u cilju smanjenja tačke mržnjenja vode na putevima i sprečavanja nastanka leda itd.) betonska površina se naglo hladi zbog izvlačenja toplote iz betona. Međusobni uticaj smrznutih i nesmrznutih slojeva izaziva propadanje strukture betona.

Uslovi za otpornost na mraz i so

- Agregati otporni na mraz
- Beton vodonepropusne strukture obogaćen mikroporama
- Temeljna i pažljiva nega
- Izbegavanje previše finog maltera na površini
- Betoniranje što je moguće pre prvog napona od mraza i soli kako bi se beton mogao osušiti.

Metode ispitivanja npr. prema

- EN 12390-9 (Klimatske prilike)

5.1.5 Površina betona

Uslovi za vodonepropusnost i izgled betonskih površina se znatno razlikuju. Za ispunjenje tih uslova potrebno je detaljno planiranje i pažljiva izgradnja konstrukcije.

Za trajnost je ključna maksimalna nepropusnost površine. Napad uvek dolazi od spolja prema unutra. Usled preteranog vibriranja ili neadekvatna nege takve zone postaju slabe. Zahtevi za visokokvalitetnim izgledom doveli su do proizvodnje „natur” betona.

Izgled betonskih površina

Natur beton → poglavlje 3.2.8.

Beton s izloženim agregatom („kulije”)

Beton s izloženim agregatom se često koristi za površine, npr. za potporne zidove, fasade, baštensku galanteriju itd. Struktura agregata postaje vidljiva na površini posle ispiranja. Za to je potrebno usporavanje vezivanja površine, koje mora delovati do dubine od nekoliko mm.

U pravilnim mešavinama betona s izloženim agregatom, 2/3 svakog pojedinačnog krupnog agregata se još uvek nalazi u očvrslom cementnom testu.

Korišćenje Sika proizvoda

Ime proizvoda	Vrsta proizvoda	Upotreba proizvoda
Sika® Rugasol® asortiman	Usporivač vezivanja površine	Za betonske površine s izloženim agregatom i za radne spojnice

Napomene

- Maksimalne veličine zrna potrebno je prilagoditi dimenzijama elemenata i željenom izgledu (npr. 0 – 16 mm za tanke elemente)
- Količina cementa 300 – 450 kg/m³ u zavisnosti od sastava agregata (sitniji agregat → više cementa)
- Vodocementni odnos 0.40 – 0.45
(→ dodati proizvode **Sikament®/Sika® ViscoCrete®**)
- Povećati zaštitni sloj armature za 1 cm

U skladu sa Sikinim konceptom za vodonepropusan beton, profil površine i put cirkulacije vode se značajno povećavaju te se poboljšava vodonepropusnost radnih spojnica kod betona sa izloženim agregatom.

5.1.6 Skupljanje

Skupljanje znači stezanje ili smanjenje zapremine betona.

Na vremenski tok i nivo deformacije usled skupljanja uglavnom utiče početak sušenja, uslovi sredine i sastav betona.

Vremenski tok:

- Hemijsko skupljanje novog betona zbog razlike u zapremini između hemijskih reakcija proizvoda i osnovnih materijala. Skuplja se samo na cementno testu, a ne i na agregat.
- Plastično skupljanje mladog betona je prva faza u početnom stadijumu vezivanja i očvršćavanja. Voda se isparavanjem gubi iz betona nakon početnog vezivanja, što smanjuje zapreminu te dovodi do skupljanja betona u svim pravcima. Deformacije obično prestaju u trenutku kada beton dostigne čvrstoću pri pritisku od 1 N/mm².

Skupljanje pri sušenju → skupljanje izazvano sporim sušenjem očvrstlog betona, tj. što je brže smanjenje količine slobodne vode u konstrukciji, to se beton više skuplja.

Uticaji na stepen skupljanja

- Planiranje i detaljna specifikacija konstruktivnih spojnica i faza betoniranja
- Optimizacija recepture
- Najmanja moguća ukupna količina vode → korišćenje proizvoda **Sika-ment® / Sika® ViscoCrete®**
- Hemijski dodatak za smanjenje skupljanja → **Sika® Control® - 40**, smanjenje skupljanja nakon početka hidratacije
- Sprečavanje gubitka vode prethodnim vlaženjem oplate ili podloga
- Temeljna nega: pokrivanje plastičnim folijama ili izolacionim prekrivačima, prekrivačima za zadržavanje vode (sargija, geotekstil, asure) ili prskanjem tečnim premazom za negu → **Sika® Antisol®**

Faza I	Faza II	Faza III
Hemijsko skupljanje	Plastično skupljanje	Skupljanje pri sušenju
Ponovljeno zbijanje	Sprečavanje gubitka vode	Nega Smanjenje skupljanja
otprilike 4-6 sati	otprilike 1 N/mm ²	

5.1.7 Otpornost na sulfat

Voda koja sadrži sulfat se ponekad pojavljuje u tlu ili je rastvorena u podzemnoj vodi, te može „napasti“ očvrslu beton.

Proces

Voda koja sadrži sulfat meša se sa trikalcijum-aluminatom (C_3A) u cementu te nastaje etringit (cementni bacil a u određenim uslovima i neka druga jedinjenja), što dovodi do povećanja zapremine i visokog unutrašnjeg pritiska u strukturi betona zbog čega dolazi do pucanja, ljuštenja a čak i drobljenja.

Mere

- Betonska konstrukcija je što je moguće više vodonepropusna tj. mala poroznost → korišćenje Sika silikatna prašina tehnologije → **SikaFume® / Sikacrete®**
- Nizak vodocementni odnos → **Sikament® / Sika® ViscoCrete®**, ciljana vrednost ≤ 0.45
- Korišćenje cementa s minimalnom količinom trikalcijum-aluminata (C_3A)
- Odgovarajuća nega konstrukcije

Napomena: Za svaki projekat je izuzetno važno tačno odrediti i razjasniti posebne uslove.

Granične vrednosti za klasifikaciju prema izloženosti negativnom hemijskom uticaju tla i podzemnih voda:

Videti tabelu 2.2.1 u poglavlju 2.2 Klase izloženosti betona obzirom na uticaj okoline.

Metode za ispitivanje npr.

ASTM C 1012

5.1.8 Hemijska otpornost

Beton mogu „napasti” štetne materije iz vode, tla ili gasova (npr. vazduha). Do opasnosti dolazi i prilikom korišćenja (npr. rezervoari, industrijski podovi itd.)

■ Površinska i podzemna voda, štetne materije iz tla, zagađivači vazduha te biljne i životinjske supstance mogu hemijski napasti beton.

■ Štetno delovanje hemikalija može se podeliti u dve grupe:

- Napad rastvarača: izazvan delovanjem meke vode, kiselina, soli, baza, ulja i masnoća itd.
- Napad bubrenjem: uglavnom izazvan delovanjem sulfata rastvorljivih u vodi, videti poglavlje 5.1.7 Otpornost na sulfate.

Videti tabelu 2.2.1 u poglavlju 2.2 Klase izloženosti betona obzirom na uticaje sredine.

Mere

■ Koristiti što vodonepropusniju betonsku konstrukciju tj. niska poroznost → korišćenje Sika silikatna prašina tehnologije **SikaFume®/ SikaCrete®**

■ Nizak vodocementni odnos → **Sikament®/Sika® ViscoCrete®**, ciljane vrednost ≤ 0.45

■ Povećati zaštitni sloj betona za minimalno 10 mm

Beton je otporan isključivo na vrlo slabe kiseline.

Kiseline srednje jačine razgrađuju beton.

Zbog toga je u slučajevima postojanja opasnosti od štetnog dejstva umerenih i izuzetno agresivnih kiselina uvek potrebno specificirati dodatnu zaštitu betona premazom.

5.1.9 Otpornost na habanje

Naprezanje zbog habanja

Betonske površine su izložene naprezanju zbog kotrljanja (točkovi/saobraćaj), naprezanju usled brušenja (klizanje/gume) i/ili udarnom naprezanju (teški materijali koji padaju). Cementna matrica, agregati i njihova veza se svi zajedno naprežu. Taj je napad zbog toga primarno mehanički.

Uslovi za bolju otpornost na habanje

Otpornost na habanje hidratisanog cementa je niža nego kod agregata, posebno s poroznom cementnog matricom (velika količina vode). Smanjenjem vodocementnog odnosa smanjuje se i poroznost hidratisanog cementa te se poboljšava veza s agregatom.

- Idealan vodocementni odnos ≤ 0.45
- Poboljšanje vodonepropusnosti hidratirane cementne matrice, agregata i veze sa hidratiranim cementom (**SikaFume®/Sikacrete®**)
- Odabir dobre granulometrijske krive, korišćenje posebnih veličina zrna ako je potrebno, temeljna nega
- Za dalje povećanje otpornosti na habanje potrebno je koristiti posebne agregate.

Sastav betona otpornog na habanje/ „Teraco” betona

Standardne mešavine maltera i peska		Veličina zrna
Debljina sloja	30 mm	0 – 4 mm
Debljina sloja	30 – 100 mm	0 – 8 mm
Količina cementa	400 – 500 kg/m ³	

Ako debljina sloja prelazi 50 mm, potrebno je ugraditi laku armaturnu mrežu (min. $100 \times 100 \times 4 \times 4$ mm).

Prianjanje na podlogu i završna obrada

- „Premaz za vezu” se pre ugradnje lagano nanosi četkom kako bi se dobila vlažna podloga (koju takođe treba prethodno navlažiti!).

Nega

Koristiti proizvod **Sika® Antisol®** (naknadno mehaničko skidanje npr. čeličnom četkom ili peskarenjem posle toga sledi premaz), prekriti folijama za negu, po mogućnosti nekoliko dana.

5.1.10 Čvrstoća pri zatezanju savijanjem

Beton se po pravilu koristi za čvrstoću pri pritisku, dok zatezanje preuzimaju armaturne šipke. Sam beton ima nizak nivo čvrstoće pri zatezanju i čvrstoće pri savijanju, što u velikoj meri zavisi od mešavine. Ključni faktor je veza između agregata i hidratiranog cementa. Beton ima čvrstoću pri zatezanju savijanjem od otprilike 2 N/mm² do 7 N/mm².

Utjecaji na čvrstoću pri zatezanju savijanjem („savojnu čvrstoću”)

Savojna čvrstoća se povećava

- Povećanjem čvrstoće pri pritisku standardnog cementa (CEM 32.5; CEM 42.5; CEM 52.5)
- Smanjenjem vodocementnog odnosa
- Korišćenjem uglastih i drobljenih agregata

Primene

- Beton armiran čeličnim vlaknima
- Beton za uzletno-sletne piste
- Beton za ljuskaste konstrukcije

Metode ispitivanja

- EN 12390-5, videti poglavlje 5.2.5 Čvrstoća pri zatezanju savijanjem ispitnih uzoraka (savojna čvrstoća)

5.1.11 Razvoj toplote hidratacije

Kada se pomeša sa vodom, cement počinje hemijski da reaguje. To se naziva hidratacija cementa.

Hemijski proces očvršćavanja je osnova za stvaranje očvrсле cementne paste te shodno tome i betona. Hemijskom reakcijom sa vodom iz klinkera nastaju nove komponente → hidratacija.

Posmatranje pomoću elektronskog mikroskopa pokazuje tri različite faze procesa hidratacije koji je izrazito egzoterman, tj. oslobađa se energija u obliku toplote.

Faza hidratacije 1

Po pravilu 4 do 6 sati nakon proizvodnje

Gips u plastičnoj cementnoj pasti vezuje trikalcijum-aluminat (C_3A) te nastaje trisulfoaluminat (etringit), sloj koji je nerastvorljiv u vodi te u početku sprečava proces konverzije ostalih komponenata. Dodatak gipsa od 2 – 5 % stoga ima efekat usporavanja.

Duže „igle“ koje nastaju u ovoj fazi vezuju odvojene čestice cementa, što dovodi do ukrućivanja betona.

Faza hidratacije 2

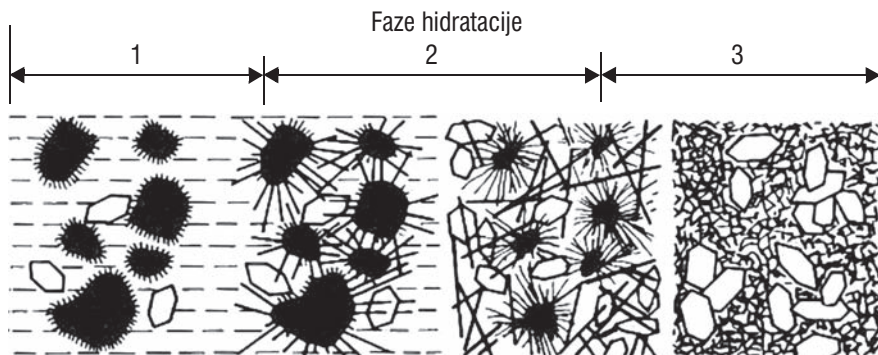
Po pravilu između 4 do 6 sati do jednog dana nakon proizvodnje

Nakon nekoliko sati započinje snažna hidratacija klinkera i posebno trikalcijum-silikata (C_3S), nastajanjem isprepletenih hidratiranih kristala kalcijum-silikata s dugim vlaknima, što dovodi do daljeg očvršćavanja strukture.

Faza hidratacije 3

Posle otprilike jednog dana

Struktura i mikrostruktura cementne matrice su u početku još otvorene. Daljim napretkom hidratacije međuprostori se popunjavaju ostalim produktima hidratacije te dolazi do daljnjeg povećanja čvrstoće.



Prikaz faza „hidratacije“ i razvoja strukture za vreme hidratacije cementa.

5.1.12 Reakcija između alkalija i agregata

Reakcija između alkalija i agregata, alkalno-agregatna reakcija (AAR), predstavlja reakciju alkalnih soli iz cementa sa agregatima. Oni proizvode silikatni gel koji bubri zbog upijanja vode te dovodi do stvaranja prskotina ili ljušpanja betona.

Način i brzina reakcije zavisi od vrste agregata.

- Reakcija između alkalija i silikata u agregatima vulkanskog porekla – alkalno silikatna reakcija (ASR)
- Reakcija između alkalija i karbonata u agregatima krečnjačkog porekla – alkalno karbonatna reakcija (ACR)
- Reakcija između alkalija i silikata u kristalastim agregatima – alkalno silikatna reakcija

Reakcija između alkalija i agregata

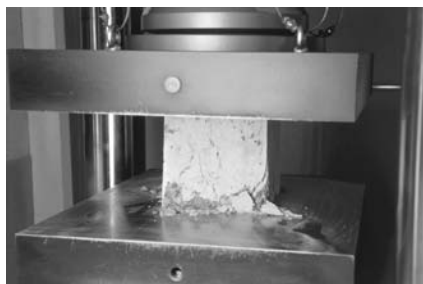
Rizik kod takve reakcije postoji ako se koriste agregati osetljivi na alkalije. Taj problem je moguće izbeći na način da se ne koriste takvi agregati, ali to je često nepraktično iz ekonomskih i ekoloških razloga. Ta reakcija se može sprečiti ili barem umanjiti korišćenjem odgovarajuće vrste cementa i moderne tehnologije za proizvodnju betona.

Tačni mehanizmi delovanja i dalje se intenzivno i detaljno proučavaju. U grubim crtama rečeno, usled upijanja vode joni alkalija prodiru u agregate te uzrokuju nastanak unutrašnjeg pritiska koji izaziva pukotine i pucanje agregata i kasnije cementne matrice, što uništava beton. To se jednostavnim rečima može opisati kao učinak pritiska ili efekat eksplozije. Trajanje i intenzitet zavise od reaktivnosti cementa, vrste i poroznosti agregata, poroznosti betona i zaštitnih mera koje se koriste.

Zaštitne mere su:

- Delimična zamena Portland cementa peskom od zgre ili drugim dodacima (silikatna prašina / leteći pepeo) s malom količinom natrijum-oksida (Na_2O)
- Analiza potencijala agregata za reakciju za AAR/ASR i njegova klasifikacija (petrografska analiza / ispitivanje metodom malternog štapa / ispitivanje ponašanja itd.)
- Zamena ili delimična zamena agregata (mešanje dostupnih agregata)
- Sprečavanje ili maksimalno smanjenje vlage u betonu (zaptivanje/preusmeravanje)
- Planiranje armature na način da se dobije dobra raspodela prsline u betonu (tj. samo vrlo fine prsline)
- Vodonepropusan beton kako bi se prodiranje vlage svelo na najmanju moguću meru.

5.2 Ispitivanje očvrsllog betona



Ispitivanje očvrsllog betona određeno je standardima EN 12390.

5.2.1 Uslovi za uzorke i kalupe

Standard: EN 12390-1

Izrazi koji se koriste u standardu:

■ Nominalna veličina:

Uobičajena veličina uzorka.

■ Specificirana veličina:

Veličina uzorka u mm odabrana iz dozvoljenog raspona nominalnih veličina koja se koristi kao osnova za analizu.

Dozvoljene nominalne veličine (u mm)

Kocke ¹	Dužina ivice	100	150	200	250	300	
Valjci ²	Prečnik	100	113 ³	150	200	250	300
Prizme ^{1,4}	Dužina ivice osnove	100	150	200	250	300	

¹ Specificirane veličine ne smeju se razlikovati od nominalnih veličina.

² Određene veličine mogu se od nominalne veličine razlikovati za +/- 10%.

³ Time se dobija površina prenosa opterećenja od 10 000 mm².

⁴ Dužina prizmi mora biti $L \geq 3.5 d$.

Dozvoljene tolerancije za uzorke

Dozvoljene tolerancije	Kocke	Valjci	Prizme
Propisana veličina	$\pm 0.5 \%$	$\pm 0.5 \%$	$\pm 0.5 \%$
Propisana veličina između gornje i donje površine (osnove)	$\pm 1.0 \%$		$\pm 1.0 \%$
Ravnost površine prenosa opterećenja	$\pm 0.0006 \text{ d,}$ u mm	$\pm 0.0005 \text{ d,}$ u mm	
Vertikalnost stranica u odnosu na površinu osnove	$\pm 0.5 \text{ mm}$	$\pm 0.5 \text{ mm}$	$\pm 0.5 \text{ mm}$
Visina		$\pm 5 \%$	
Dozvoljeno odstupanje za valjke koji se koriste za ispitivanje cepanjem		$\pm 0.2 \text{ mm}$	
Ravnost površine na osloncima za ispitivanje savijanjem			$\pm 0.2 \text{ mm}$
Ravnost površine prenosa opterećenja za ispitivanje čvrstoće pri zatezanju cepanjem			$\pm 0.2 \text{ mm}$

Kalupi

Kalupi moraju biti vodonepropusni i neupijajući. Spojnice je potrebno zaprtivati odgovarajućim materijalima.

Kalibrisani kalupi

Oni moraju biti izrađeni od čelika i livenog gvožđa kao referentnog materijala. Ako se koriste neki drugi materijali potrebno je dokazati njihovu dugoročnu uporedivost sa kalupima od čelika ili livenog gvožđa. Dozvoljena odstupanja za kalibrisane kalupe su stroža od gore definisanih odstupanja za standardne kalupe.

5.2.2 Izrada i nega uzoraka*

***Napomena:** Ovaj se standard preporučuje za sva uporedna ispitivanja betona, a ne samo za ispitivanje čvrstoće.

Standard EN 12390-2

Napomene za izradu uzoraka

■ Nastavak za punjenje

Punjenje u kalupe je jednostavnije pomoću produžnog nastavka, *iako je njegovo korišćenje opcionalno.*

■ Zbijanje

Vibro igla sa minimalnom frekvencijom od 120 Hz (7200 oscilacija u minuti).

(Prečnik igle $\leq \frac{1}{4}$ najmanje dimenzije uzorka.)

Ili

Vibro sto sa minimalnom frekvencijom od 40 Hz (2400 oscilacija u minuti).

Ili

Kružni čelični nabijač Ø 16 mm, približne dužine 600 mm, sa zaobljenim krajevima.

Ili

Čelična šipka za zbijanje, kvadratna ili kružna, otprilike 25 × 25 mm, približne dužine 380 mm.

■ Premazi za odvajanje

Potrebno ih je koristiti kako bi se sprečilo lepljenje betona za kalup.

Napomene o punjenju

Uzorke je potrebno puniti i zbijati u najmanje 2 sloja, pri čemu slojevi ne smeju biti deblji od 100 mm.

Napomene o zbijanju

Ako se zbijanje vrši vibriranjem, zbijanje je potpuno nakon što se na površini više ne pojavljuju veliki mehurići vazduha te ako je površina sjajna i prilično glatka. Potrebno je izbegavati preterano vibriranje (oslobađanje mehurića vazduha!).

Ručno zbijanje pomoću šipke ili nabijača: Broj udaraca po sloju zavisi od konzistencije, potrebno je barem 25 udaraca po sloju.

Označavanje uzoraka

Jasno i dugotrajno označavanje uzoraka izvađenih iz kalupa je važno, posebno ako se planira čuvanje uzoraka.

Čuvanje uzoraka

Uzorci moraju ostati u kalupu pri temperaturi od 20 (± 2)°C, ili 25 (± 5)°C u zemljama s toplom klimom, barem 16 sati, ali ne duže od 3 dana. Potrebno ih je zaštititi od fizičkog i termičkog šoka i sušenja.

Nakon vađenja iz kalupa uzorke je potrebno čuvati do početka ispitivanja pri temperaturi od 20 (± 2)°C, ili u vodi ili u vlažnoj komori, uz relativnu vlažnost vazduha ≥ 95 %.

(U slučaju osporavanja potrebno je primeniti metodu čuvanja u vodi kao referentnu metodu)

5.2.3 Čvrstoća pri pritisku ispitnih uzoraka („pritisna čvrstoća”)

Standard EN 12390-3

Oprema za ispitivanje: Uređaj za ispitivanje pri pritisku („presa”) prema EN 12390-4.

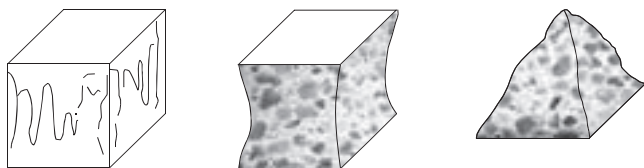
Uslovi za uzorke

Uzorci moraju biti oblika kocki ili valjaka. Oni moraju biti u skladu s propisima o tačnosti dimenzija navedenim u EN 12390-1. Ako se premašuju dozvoljena odstupanja, uzorke je potrebno izdvojiti, prilagoditi ili analizirati u skladu sa Dodatkom B (normativ). Dodatak B opisuje način određivanja geometrijskih dimenzija.

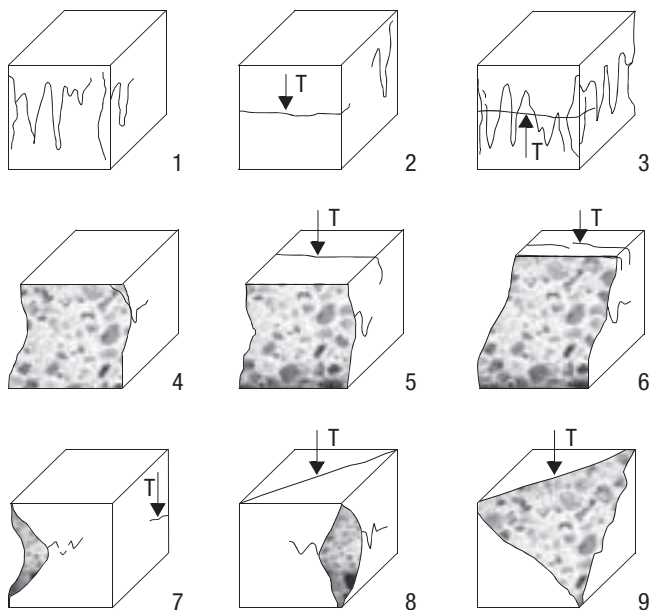
Jedna od metoda opisanih u Dodatku A (normativ) koristi se za prilagođavanje (sečenje, brušenje ili primenu materijala za popunjavanje). Uzorke u obliku kocki potrebno je ispitivati upravno na smer punjenja (kod izrade kocke).

Na kraju ispitivanja potrebno je odrediti vrstu loma. Ako se radi o neuobičajenom lomu, to se mora evidentirati navodeći broj vrste loma.

Standardni uzorci loma (ilustracije iz standarda)



Neuobičajeni uzorci loma (ilustracije iz standarda)



T = Prsline od zatezanja

5.2.4 Standardi i regulativa primenjeni kod mašina za ispitivanje uzoraka

Standard EN 12390-4

Ovaj standard uglavnom sadrži mehaničke podatke: pritisne ploče/merenje sile/regulacija sile/prenos sile.

Za detaljne informacije potrebno je pročitati standard.

Princip

Uzorak za ispitivanje se postavlja između gornje pokretne pritisne ploče (sa kuglastim zglobovima) i donje pritisne ploče te se nanosi aksijalna sila pritiska dok ne dođe do loma.

Važne napomene

Uzorci za ispitivanje moraju biti pravilno poređani u odnosu na ravan naprezanja. Zbog toga donja pritisna ploča mora imati oznake za centriranje.

Uređaj za ispitivanje pritiska potrebno je **etalonirati** posle početnog montiranja (ili nakon rastavljanja i ponovnog sastavljanja), kao deo provere opreme za ispitivanje (u sklopu sistema za osiguranja kvaliteta) ili barem jedanput godišnje. To takođe može biti potrebno nakon zamene delova uređaja koji utiču na karakteristike ispitivanja.

5.2.5 Čvrstoća pri zatezanju savijanjem ispitnih uzoraka („savojna čvrstoća”)

Standard EN 12390-5

Princip

Na ispitne uzorke u obliku prizme nanosi se moment savijanja na način da se opterećenje prenosi na gornje i donje valjke.

■ Dimenzije prizme:

Širina = Visina = d

Dužina $\geq 3.5 d$

Koriste se dve metode ispitivanja:

■ nanošenje opterećenja u dve tačke

Prenos opterećenja **preko dva valjka** na udaljenosti d (svaki $\frac{1}{2} d$ od centra prizme).

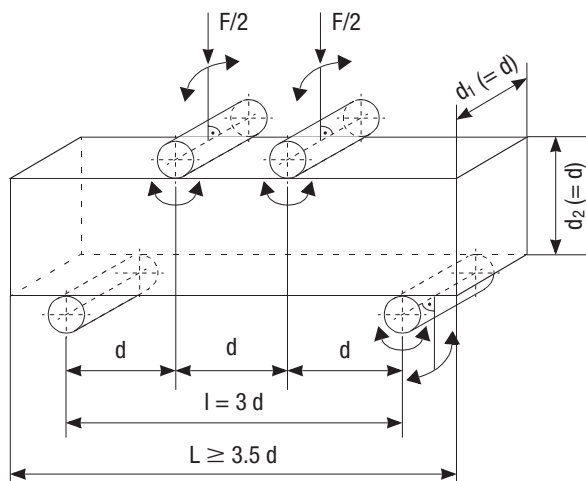
Referentna metoda je nanošenje opterećenja u dve tačke.

■ nanošenje opterećenja u jednoj tački (sredina)

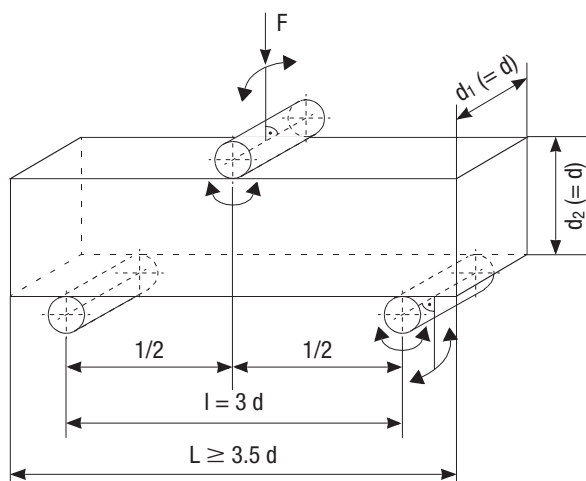
Prenos opterećenja **preko jednog valjka** u sredinu prizme.

Kod obe metode donji se valjci nalaze na udaljenosti od $3 d$ (svaki $1\frac{1}{2} d$ od centra prizme).

Prenos opterećenja u dve tačke



Prenos opterećenja u sredini



Analize su pokazale kako se prenosom opterećenja u jednoj tački dobijaju 13 % veći rezultati nego kod prenosa opterećenja u dve tačke. Opterećenje se nanosi upravno na smer punjenja (prilikom izrade prizmi).

5.2.6 Čvrstoća pri zatezanju cepanjem ispitnih uzoraka („zatezna čvrstoća”)

Standard EN 12390-6

Princip

Na uzdužnu osu valjkastog ispitnog uzorka nanosi se sila pritiska. Rezultujuća zatezna sila dovodi do loma ispitnih uzoraka usled napona zatezanja.

Ispitni uzorci

Valjci prema EN 12390-1, dopušteni odnos prečnika i dužine iznosi 1. Ako se ispitivanje sprovodi na uzorcima u obliku kocke ili prizme, za nanošenje opterećenja mogu se koristiti konveksni čelični distanceri (umesto uobičajenih ravnih ploča).

Potrebno je proučiti slomljene uzorke te je potrebno zabeležiti izgled betona i vrstu loma ako se radi o neuobičajenom lomu.

5.2.7 Zapreminska masa očvrslog betona

Standard EN 12390-7

Princip

Standard opisuje metodu utvrđivanja zapreminske mase očvrslog betona.

Zapreminska masa se izračunava na osnovu mase i zapremine, koje se dobijaju iz ispitnih uzoraka očvrslog betona.

Ispitni uzorci

Ispitni uzorci moraju imati minimalnu zapreminu od 1 litre. Ako je nominalna veličina maksimalnog zrna agregata veća od 25 mm, minimalna zapremina uzorka mora biti veća od $50 D^3$, gdje je D maksimalna veličina zrna agregata.

(Primer: Za maksimalnu veličinu zrna od 32 mm potrebna je minimalna zapremina od 1.64 litre.)

Određivanje mase

Standard propisuje 3 uslova za određivanje mase uzorka i to za:

- Isporučeni uzorak
- Vodom zasićen uzorak
- Uzorak sušen u sušnici (do postizanja konstantne stalne mase)

Određivanje zapremine

Standard propisuje 3 metode za određivanje zapremine uzorka:

- Istiskivanje vode (referentna metoda)
- Izračunavanje na osnovu stvarno izmerenih masa
- Izračunavanje na osnovu kontrolisano propisane mase (za kocke)

Određivanje zapremine istiskivanjem vode je najtačnija i jedina pogodna metoda za uzorke nepravilnih oblika.

Rezultati ispitivanja

Zapreminska masa se izračunava pomoću dobijene mase uzorka i njegove zapremine:

$$D = m/V \quad D = \text{zapreminska masa u kg/m}^3$$
$$m = \text{masa uzorka u vreme ispitivanja u kg}$$
$$V = \text{zapremina određena pomoću odgovarajuće metode u m}^3$$

Rezultat je potrebno izraziti na najbližih 10 kg/m³.

5.2.8 Dubina prodora vode pod pritiskom

Standard EN 12390-8

Princip

Voda se pod pritiskom nanosi na površinu očvrslog betona. Na kraju ispitivanja se cepa ispitni uzorak te se meri maksimalna dubina prodiranja vode.

Ispitni uzorci

Uzorci mogu biti kocke, valjci ili prizme minimalne dužine ivica ili prečnika od 150 mm.

Područje ispitivanja na uzorku je krug prečnika 75 mm (pritisak vode može se nanositi na gornju ili donju stranu).

Uslovi za vreme ispitivanja

- Pritisak vode ne sme se naneti na zaglađenu/završno obrađenu površinu uzorka (poželjno je koristiti bočnu stranu uzorka). U izveštaju mora biti naveden smer pritiska vode u odnosu na smer punjenja prilikom izrade uzoraka (pod pravim uglom ili paralelno).
- Površina betona koja je izložena pritisku vode mora se tretirati čeličnom četkom kako bi bila hrapava (poželjno je to učiniti odmah nakon vađenja uzorka iz kalupa).
- U trenutku ispitivanja uzorci moraju biti stari najmanje 28 dana.

Ispitivanje

Tokom 72 sata mora se nanositi konstantan pritisak vode od 500 (± 50) kPa (5 bar).

Uzorke je potrebno redovno proveravati kako bi se utvrdilo postojanje vlažnih područja i merljiv gubitak vode.

Nakon ispitivanja uzorci se moraju odmah ukloniti i pocepati u smeru pritiska. Prilikom cepanja, područje izloženo pritisku vode mora se nalaziti sa donje strane.

Ako su pocepane površine blago suve, smer prodiranja vode potrebno je označiti na uzorku.

Maksimalno prodiranje potrebno je izmeriti i izraziti na najbližu vrednost od 1 mm.

5.2.9 Otpornost na mraz i cikluse smrzavanja/odmrzavanja

Standard EN 12390-9

Standard opisuje način ispitivanja otpornosti betona na mraz pomoću vode i otpornosti na smrzavanje/odmrzavanje pomoću rastvora NaCl („slana voda“). Meri se količina betona koja se odvojila od površine nakon određenog broja i učestalosti ciklusa smrzavanja i odmrzavanja.

Princip

Uzorci se više puta hlade do temperatura ispod $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i ponovo zagrevaju do temperatura od $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ili više (u vodi ili rastvoru NaCl-a). Količina odvojenog materijala ukazuje na otpornost betona na mraz ili smrzavanje/odmrzavanje.

Standard opisuje tri metode:

- Metoda ispitivanja ploča
- Metoda ispitivanja kocki
- Metoda ispitivanja CD/CDF

Metoda ispitivanja ploča je referentna metoda.

Izrazi iz standarda

- Otpornost na mraz:

Otpornost na ponavljajuće cikluse smrzavanja/odmrzavanja u dodiru s vodom

- Otpornost na smrzavanje/odmrzavanje (zajedničko dejstvo mraza i soli za odleđivanje):

Otpornost na ponavljajuće cikluse smrzavanja/odmrzavanja u dodiru sa sredstvima za odleđivanje

- Klimatski i vremenski slovi:

Gubitak materijala na površini betona zbog delovanja ciklusa smrzavanja/odmrzavanja

- Unutrašnji lom strukture:

Pukotine unutar betona koje nisu vidljive na površini, ali koje dovode do promena svojstava betona, kao što je na primer smanjenje dinamičkog modula elastičnosti.

6. Prskani beton („Torkret“)



6.1 Definicija

Prskani beton je beton koji se isporučuje na mesto ugradnje u zadihtovanim savitljivim ili krutim cevima otpornim na pritisak. Beton se ugrađuje „prskanjem“ te na taj način istovremeno dolazi do zbijanja betona.

Upotreba

Prskani beton se uglavnom koristi za:

- Učvršćivanje svodova tunela
- Učvršćivanje stena i kosina
- Visoko kvalitetne obloge
- Popravke i renoviranje

6.2 Uslovi kvaliteta za prskani beton

- Visoka ekonomičnost zbog smanjenja odskoka
- Povećanje čvrstoće pri pritisku
- Deblji slojevi zbog povećane kohezije
- Bolja vodonepropusnost
- Visoka otpornost na mraz i smrzavanje/odmrzavanje
- Dobra adhezija i dobra čvrstoća pri zatezanju kod prijanjanja

Kako to ostvariti:

ŠTA	KAKO	Sika proizvodi
Početna čvrstoća	Ubrzivač	Sigunit®-L50AFS/-L53 AF/ L72 AF Sigunit®-L20/-L62
Konačna čvrstoća	Umanjivač vode / SiO ₂ / ubrzivač koji ne sadrži alkalije	SikaTard®-203 Sika® ViscoCrete® SC-305 SikaFume®-TU Sigunit®-L53 AFS
Otpornost	Sulfati	Umanjivač vode + SiO ₂
	Hemijska	Umanjivač vode + SiO ₂ / plastična vlakna
	Habanje	Umanjivač vode + SiO ₂ / čelična vlakna
Vodonepropusnost	Umanjivač vode za nizak vodocementni odnos	SikaTard®/Sika® ViscoCrete®
Mali odskok od podloge	SiO ₂ /sredstvo za poboljšanje pumpanja	SikaFume®/SikaPump®
Produžena obradivost	Usporivač vezivanja	SikaTard®
Veći izlazni kapacitet	Umanjivač vode/sredstvo za poboljšano pumpanje (postupak mokrog prskanja)	SikaTard®/Sika® ViscoCrete®/ SikaPump®
Visok nivo fleksibilnosti i mogućnost kratkih prekida u radu	Usporivač vezivanja	SikaTard®

6.3 Razvoj rane čvrstoće

Kvalitet prskanog betona najbolje se određuje na osnovu njegovih svojstava. Standard SN EN 206-1 treba da se koristi za prskani beton gde je to pogodno.

Klase rane čvrstoće J1, J2 i J3 navedene u Pravilniku o prskanom betonu Austrijskog udruženja za betone se u Evropi često koriste za definisanje rane čvrstoće.

Klasa rane čvrstoće J1

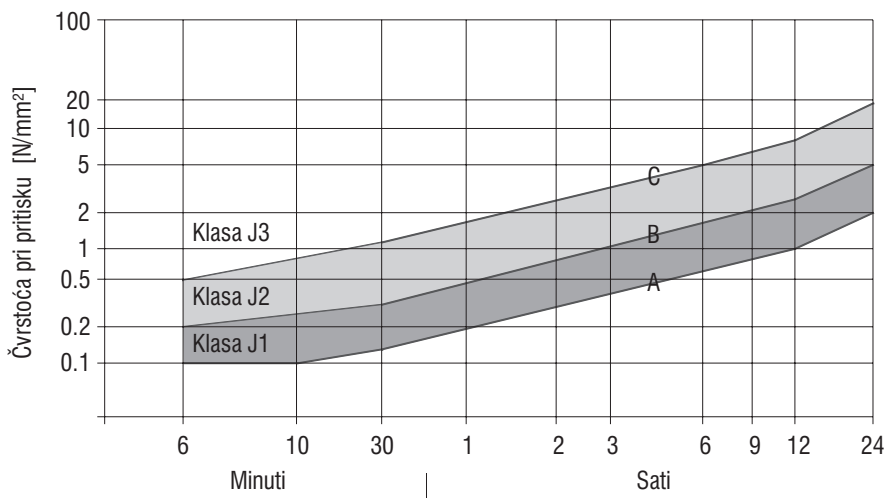
Nanošenje u tankim slojevima na suhu podlogu bez zahteva nosivosti (konstruktivnih zahteva).

Klasa rane čvrstoće J2

Nanošenje u debljim slojevima, uključujući i nanošenje iznad glave, sa velikim izlaznim kapacitetom, niskim pritiskom vode i opterećenjem na svež prskani beton od narednih, dolazećih slojeva.

Klasa rane čvrstoće J3

Primenjuje se za učvršćenje ili pod visokim pritiskom vode. Koristi se isključivo u posebnim situacijama zbog povećanog nastanka prašine.



Između A i B
Između B i C
Iznad C

Klasa J1
Klasa J2
Klasa J3

Izvor: Pravilnik o prskanom betonu, Austrijsko udruženje za betone

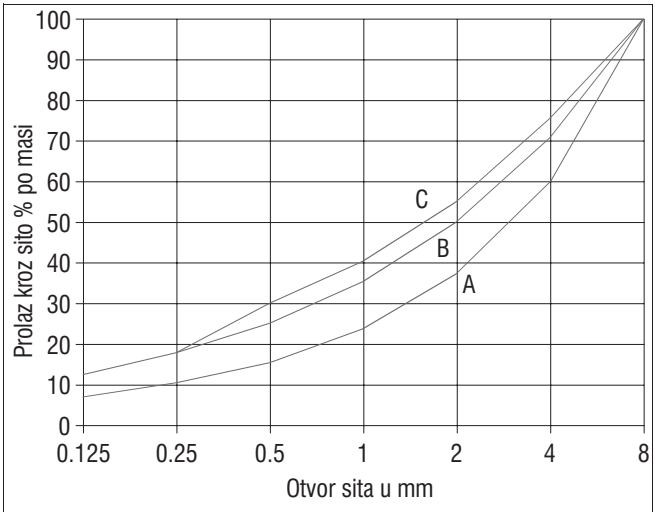
6.4 Proces prskanja

Proces suvog prskanja

U procesu suvog prskanja (isporučuje se izduvavanjem), polusuva (vlažna kao zemlja) osnovna mešavina se pumpa pomoću komprimovanog vazduha, nakon toga se u mlaznici dodaju voda i ubrzivač (kao što je propisano), te se ta mešavina nanosi prskanjem. Sopstvena količina vlage agregata u osnovnoj mešavini ne sme biti veća od 6 %, budući da se u tom slučaju efektivna brzina strujanja znatno smanjuje zbog zagušenja te se povećava opasnost od začepljenja.

Proračun granulometrijske krive mešavine sa pojedinačnim frakcijama agregata

Sadržaj	Komponenta	0.125	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
	Granulometrijski raspon A	7	10.4	15.6	23.9	37.5	60.4	100
	Granulometrijski raspon B	12.5	17.7	25	35.4	50	70.7	100
	Granulometrijski raspon C	12.5	17.7	30	40.4	55	75.7	100
100 %	0 – 8 mm	5.8	12.5	19.0	28.0	40.5	62.2	100



Količina cementa

Za 100 litara suve mešavine

28 kg cementa se dodaje na 80 litara agregata.

Za 1250 litara suve mešavine

350 kg cementa se dodaje na 1000 litara agregata.

Primer recepture za 1 m³ suve mešavine

Suvo-prskani beton 0 – 8mm, prskani beton klasa C 30/37, CEM I 42.5, 350 kg na 1000 litara agregata, silikatna prašina 20 kg

Cement	280 kg
SikaFume® - TU	20 kg
0 – 4 mm uz 4 % prisutne vlage (55 %)	~ 680 kg
4 – 8 mm uz 2 % prisutne vlage (45 %)	~ 560 kg
Zapreminska masa sveže mešavine, m³	~ 1540 kg*
*Potrebno je proveriti ispitivanjem potrošnje	

Hemijski dodaci

Umanjivač vode/usporivač: **SikaTard® -930**, doziranje 0.2 – 2.0%
Ubrzivač (Ne sadrži alkalije i nije otrovan): **Sigunit® - L50 AFS**, doziranje 3 – 6 %

Alternativa, alkalni: **Sigunit® -L62**, doziranje 3.5 – 5.5 %

Prskani beton za 1 m³ suve mešavine daje sledeću količinu materijala na zidu:

Ubrzano, korišćenjem proizvoda Sigunit® - L50 AFS (Odbitak od podloge 16 – 20 %)	0.58 – 0.61 m ³
Ubrzano, korišćenjem proizvoda Sigunit® - L62 (Odbitak od podloge 20 – 25 %)	0.55 – 0.58 m ³
Sadržaj cementa u prskanom betonu na zidu	~ 450 – 460 kg/m ³

Proces mokrog prskanja

Postoje dva različita procesa mokrog prskanja, nazvanih „prореđenim (tankim)” i „gustim” tokom pumpanja. Kod prореđenog postupka pumpanja, osnovni beton se pomoću pumpe za beton u gustom mlazu pumpa u mlaznicu, te se pomoću komprimovanog vazduha raspršuje u pretvaraču i menja u tanak mlaz. Ubrzivač se po pravilu dodaje u komprimovani vazduh neposredno pre pretvarača. Na taj se način ubrzivač ravnomerno raspoređuje u prskanom betonu.

Kod prореđenog pumpanja, ista osnovna mešavina se pumpa kroz rotorsku pumpu, kao kod suvog postupka prskanja, pomoću komprimovanog vazduha (isporučuje se izduvavanjem). Ubrzivač se pomoću komprimovanog vazduha dodaje u mlaznicu. Ako su za prskani beton propisani isti uslovi za oba procesa, tj. za gust i prореđen postupak mokrog pumpanja, potrebna je ista osnovna mešavina što uključuje granulometriju, vodocementni odnos, hemijske dodatke, mineralne dodatke i količinu cementa.

Proračun granulometrijske krive mešavine za pojedinačne frakcije agregata

Sadržaj	Komponenta	0.125	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
	SIA-A	7.0	10.4	15.6	23.9	37.5	60.4	100
	SIA-B	12.5	17.7	25.0	35.4	50.0	70.7	100
	SIA-C	12.5	17.7	30.0	40.4	55.0	75.7	100
100 %	0 – 8 mm	5.8	12.5	19.0	28.0	40.5	62.2	100

Primer recepture za 1 m³ betona za postupak mokrog prskanja

Mokri prskani beton 0 – 8mm, klasa prskanog mlaznog betona C 30/37, CEM I 42.5, 425 kg, silikatna prašina 20 kg, čelična vlakna 40 kg

Cement	425 kg	135 l
SikaFume® - TU	20 kg	9 l
Agregati:		
0 – 4 mm uz 4 % prisutne vlage (55 %)	967 kg	358 l
4 – 8 mm uz 2 % prisutne vlage (45 %)	791 kg	293 l
Voda za mešanje (vodocementni odnos = 0.48)	155 kg	155 l
Uvučeni vazduh (4.5 %)		45 l
Čelična vlakna	40 kg	5 l
Prskani beton		1000 l
Zapreminska masa po m³	2398 kg	

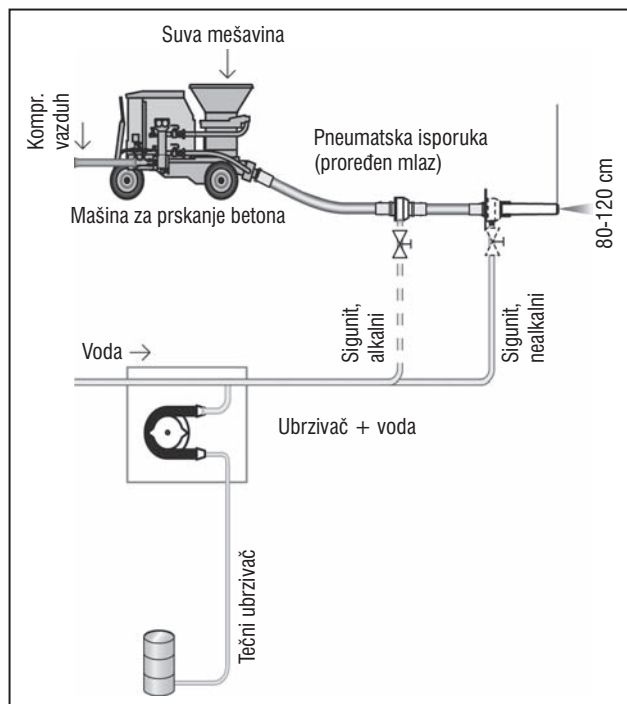
Hemijski dodaci

Umanjivač vode/ usporivač: **Sika® ViscoCrete®/SikaTard®**
 Ubrzivač koji ne sadrži alkalije: **Sigunit® - L53 AF / L 72AF, Sigunit® - 49 AFS**, doziranje 3 – 8 %
 Alternativa, alkalni: **Sigunit® - L62/ L20/ L22**, doziranje 3.5 – 5.5%

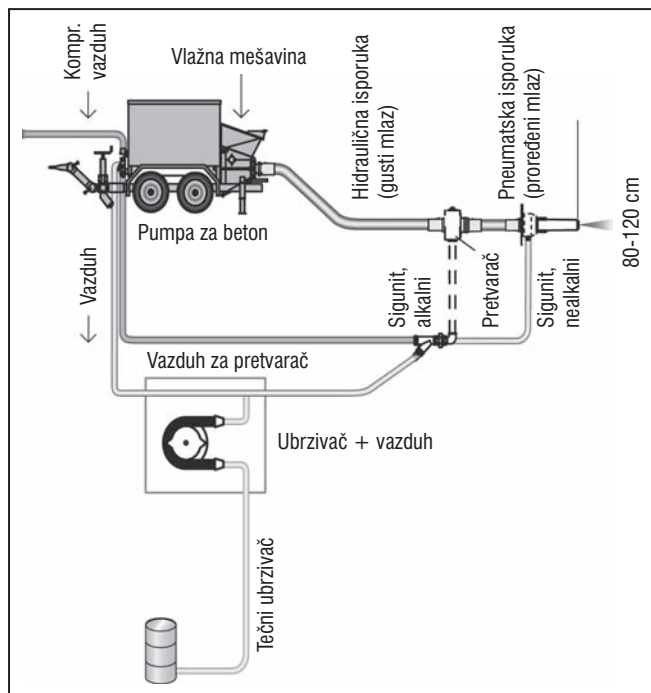
1 m³ prskanog betona daje sledeću količinu materijala na zidu:

Ubrzano, korišćenjem proizvoda Sigunit® - L53 AFS	0.90 – 0.94 m ³
Ubrzano, korišćenjem proizvoda Sigunit® - L20 (Odbitak od podloge 10 – 15 %)	0.85 – 0.90 m ³
Količina cementa u prskanom betonu na zidu	450 – 470 kg/m ³
Količina čeličnih vlakana u prskanom betonu na zidu	30 – 36 kg/m ³

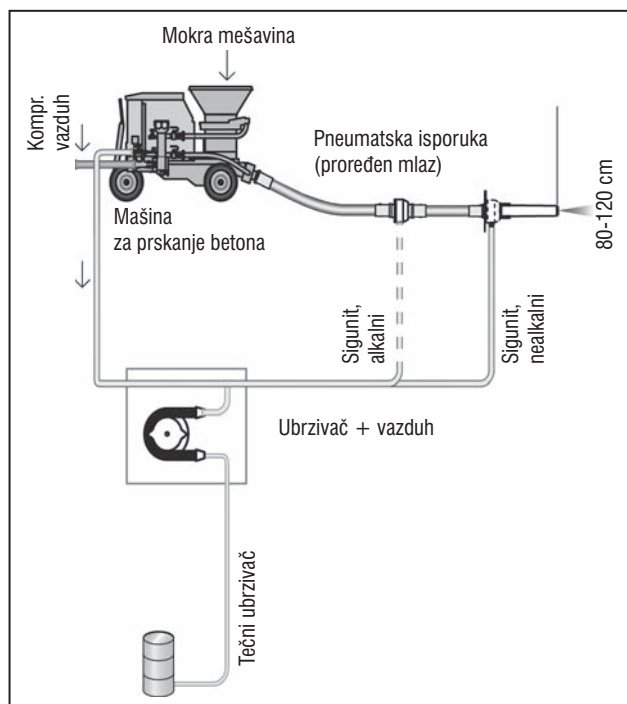
Suvi postupak



Mokri postupak prskanja sa gustim tokom pumpanja (mlazom)



Mokri postupak sa proređenim (tankim) tokom pumpanja (mlazom)



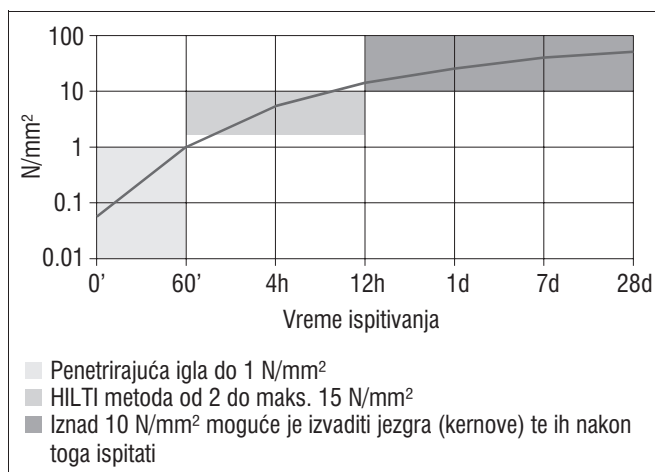
6.5 Metode ispitivanja/metode merenja

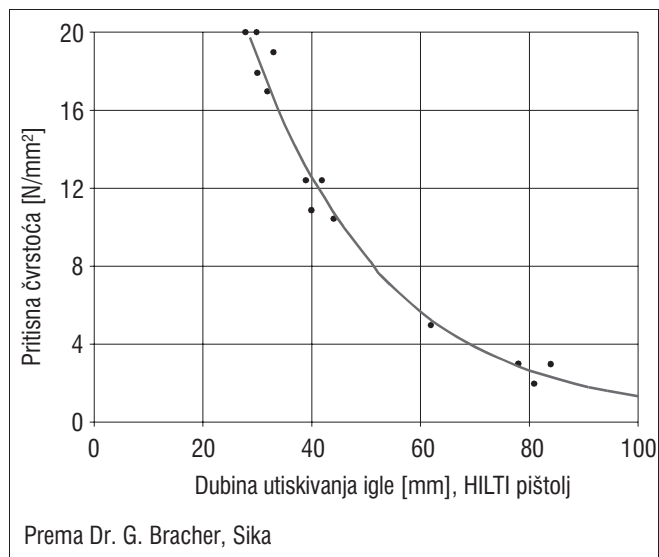
Određivanje ranih čvrstoća

Za određivanje izuzetno ranih početnih čvrstoća (u rasponu od 0 do 1 N/mm²), koristi se Proktor ili penetrirajuća igla.

Sledeće metode su uobičajene za ispitivanje pritisnih čvrstoća u rasponu od 2 do 10 N/mm²:

- **Kaindl/Meyco:** Utvrđivanje na osnovu sile čupanja ankerisanih zavrtanja.
- **HILTI (Dr. Kusterle):** Utvrđivanje dubine utiskivanja (I) i sile čupanja (P) eksera ukucanih pomoću uređaja HILTI DX 450L (koriste se standardne veličine opterećenja i eksera).
- **Pojednostavljena HILTI metoda (Dr. G. Bracher, Sika):** Utvrđivanje dubine utiskivanja (I) eksera ukucanih pomoću uređaja HILTI DX 450L (koriste se standardne veličine opterećenja i eksera). Prilikom utvrđivanja rane čvrstoće ovom metodom moguća su odstupanja od ± 2 N/mm².





Razvoj čvrstoće od dana 1 do dana x

Iznad 10 N/mm² mogu se uzimati jezgra iz ispitnih uzoraka. Prečnik i visina jezgara iznosi 50 mm. Prosek se izračunava na osnovu serije od 5 jezgara.

6.6 Sika sistem za mokri postupak prskanja

		Preporučeni prosečni raspon doziranja
Superplastifikator s produženim otvorenim vremenom	SikaTard® Sika® ViscoCrete®	0.8 % – 1.6 %
Ubrzivač koji ne sadrži alkalije i koji nije otrovan	Sigunit®-L50 AFS Sigunit®-L53 AFS	4.0 % – 8.0 % 3.0 % – 6.0 %
Silikatna prašina	SikaFume®	4 % – 10 %

Umanjivač vode sa stabilizatorom

Usporeno vezivanje i stabilizovani prskani beton sa optimalnom obradivošću uz korišćenje proizvoda **SikaTard®**.

Umanjivač vode

■ **SikaTard®**

■ **Sika® ViscoCrete®**

Umanjivači vode za prskani beton razlikuju se od tradicionalnih umanjivača vode. Za njih važe sledeći zahtevi:

- Dobra pumpabilnost uz nizak vodocementni odnos
- Produžena obradivost/otvoreno vreme
- Kompatibilnost s odabranim ubrzivačem kako bi se ubrzao razvoj čvrstoće.

Ubrzivač vezivanja

Sigunit®- L50 AFS	Ubrzivač koji ne sadrži alkalije
Sigunit®- L53 AFS	Ubrzivač koji ne sadrži alkalije za postizanje maksimalne početne čvrstoće
Sigunit®-L20	Alkalni ubrzivač

Silikatna prašina

SiO₂ iz silikatne prašine reaguje sa kalcijum-hidroksidom te nastaju dodatni hidrati kalcijum silikata. Zbog toga je cementna matrica gušća, čvršća i otpornija. Uslove za prskani beton koji se danas postavljaju kao što su vodonepropusnost i otpornost na sulfate nije lako zadovoljiti bez korišćenja silikatne prašine.

6.7 Prskani beton armiran čeličnim vlaknima

Definicija

Prskani beton armiran čeličnim vlaknima se poput tradicionalnog armiranog prskanog betona sastoji od cementa, agregata, vode i dodatka čelika. Korišćenjem i dodavanjem čeličnih vlakana, prskani beton postaje **homogeno armiran**.

Razlozi za korišćenje prskanog betona armiranog čeličnim vlaknima:

- Ušteda na troškovima ugradnje čelične mrežaste armature
- Smanjenje sleganja zbog visokih ranih čvrstoća
- Uklanjanje „senke prskanja” kada se prska preko armaturne mreže
- Zbog svoje homogenosti prskani beton armiran čeličnim vlaknima može izdržati različite vrste sila iz različitih smerova u bilo kojoj tački svog poprečnog profila.

Preporučena Sika receptura za mokar postupak prskanja, za beton armiran čeličnim vlaknima:

■ Granulometrija	0 – 8 mm
■ Količina cementa	425 – 450 kg/m ³
■ SikaFume®	Minimum 15 kg/m ³
■ SikaTard®	1.2 %
■ Sika® ViscoCrete®	1 %
■ SikaPump®	0.5 %
■ Sigunit®-L53 AFS	3 – 6 %
■ Čelična vlakna	40 – 50 kg/m ³

Dodatne napomene:

- Potrebno je povećati količinu cementa jer količina finih čestica kod prskanog betona armiranog čeličnim vlaknima mora biti veća nego kod standardnog betona prskanog mokrim postupkom kako bi se vlakna mogla sidriti.
- Dodavanjem silikatne prašine omogućava se dostizanje ciljanih vrednosti kvaliteta prskanog betona jer se na taj način takođe poboljšava sidrenje vlakana.
- **SikaPump®** značajno poboljšava pumpabilnost.
- Minimalni prečnik cevi mora biti barem dvostruko veći od maksimalne dužine vlakana.
- Preporučeni prečnik gumenog creva pumpe iznosi min. 65 mm.
- Gubitak vlakana u prskanom betonu kod mokrog prskanja je 10 – 20%.
- Kod suvog postupka prskanja, gubitak vlakana iznosi do 50 %. Kapacitet uređaja za pumpanje može biti manji što rezultuje manjim izlaznim kapacitetom i većom potrošnjom ubrzivača.
- Ispitni uzorci za ispitivanje obradivosti prskanog betona armiranog čeličnim vlaknima su ploče debljine 10 cm veličine 60 × 60 cm.

6.8 Prskani beton otporan na sulfate

Prskani beton sa standardnom količinom cementa od 400 –450 kg/m³ ima visoku otpornost na sulfate ako se koristi:

- HS (sulfatno otporan) cement kombinovan sa umanjivačem vode i proizvodom **SikaPump**[®] ili
- standardni Portland cement kombinovan s umanjivačem vode i proizvodom **SikaFume**[®] koji se dodaje > 5 % ili
- CEM III-S.

Uslov: vodocementni odnos < 0.50

Preporučena Sika receptura za beton prskan mokrim postupkom:

■ Granulometrija	0 – 8 mm
■ Količina cementa	425 kg/m ³
■ SikaFume [®]	30 kg/m ³
■ SikaTard [®] Sika[®] ViscoCrete [®]	1.6 % 1.2 %
■ SikaPump [®]	0.5 %
■ Sigunit[®]-L53 AFS	3 – 5 %

6.9 Prskani beton s povećanom vatrootpornošću

Prskani beton ima povećanu vatrootpornost ako mu se dodaju polipropilenska vlakna. U slučaju požara polipropilenska vlakna se rastapaju i ostavljaju slobodan prolaz za početnu difuziju pare, što sprečava uništenje cementne matrice delovanjem unutrašnjeg pritiska pare. Za povećanje vatrootpornosti ključni su odgovarajući pogodni agregati. Njihova pogodnost mora se proveriti prethodnim ispitivanjima.

■ Granulometrija	0 – 8 mm
■ Vrsta cementa	CEM III / A-S
■ Količina cementa	425 kg/m ³
■ SikaTard [®] Sika[®] ViscoCrete [®]	1.5 % 1.2 %
■ SikaPump [®]	0.5 %
■ Sigunit[®]-L53 AFS	3 – 6 %
■ Polipropilenska vlakna	2.7 kg/m ³ , zavisno od vrste

7. Premazi za odvajanje oplata od betona



Na kvalitet završne obrade betona utiču mnogi faktori, što uključuje sastav betona, sirovine i oplate koje se koriste, način zbijanja betona, temperaturu, negu i premaze za odvajanje oplata od betona. Učinak premaza za odvajanje i saveti za pravilan odabir i pravilno korišćenje opisani su u daljem tekstu.

7.1 Sastav premaza za odvajanje

Do tri različite grupe materijala mogu sačinjavati premaze za odvajanje oplata od betona.

Stvaranje filma za odvajanje

To su materijali čije su osnovne supstance u velikoj meri odgovorne za efekat odvajanja, kao što su na primer različita prirodna i sintetička ulja i parafinski vosak.

Aditivi

Korišćenjem ovih materijala postižu se dodatni ili pojačani efekti. Ovi materijali obuhvataju poboljšivače odvajanja, premaze za „vlaženje”, antikorozivne dodatke, zaštitna sredstva i emulgatore koji su potrebni za nastanak emulzija. Većina premaza za odvajanje koji se danas koriste sadrže i druge komponente, od kojih neki hemijski reaguju sa betonom što dovodi do ciljanog prekida vezivanja. Tada je mnogo lakše odvojiti oplatu od betona te se na taj način dobija proizvod sa širokom paletom mogućih primena.

Razređivači

Ovi proizvodi se koriste za smanjenje viskoziteta premaza koji stvaraju film za odvajanje i smanjenje viskoziteta aditiva. Njihova svrha je prilagođavanje obradivosti, debljine slojeva, vremena sušenja itd. Razređivači su u principu organski rastvarači ili vodene emulzije.

7.2 Uslovi za premaze za odvajanje

Sledeći uslovi su određeni za delovanje premaza za odvajanje, te se odnose na gradilišni beton i na prefabrikovane elemente:

- Jednostavno i čisto odvajanje betona od oplata (bez prijanjanja betona, bez oštećenja oplata)
- Vizuelno savršene betonske površine (vodonepropusna površina, ujednačena boja, sprečavanje nastanka mehurića)
- Bez negativnog uticaja na kvalitet površine betona (ne utiče značajno na vezivanje, ne stvara probleme prilikom naknadnog nanošenja premaza ili boje – ili su potrebna jasna uputstva za dodatnu pripremu)
- Zaštita oplata od korozije i preranog starenja
- Jednostavna primena

Jedan od važnih uslova koji se posebno odnosi na prefabrikovane elemente je otpornost na visoke temperature u slučajevima kada se koriste zagrejjane oplata ili topao beton. Nepoželjno je pojavljivanje neugodnih mirisa posebno u fabrikama prefabrikovanih elemenata. Za upotrebu na gradilištu važna je odgovarajuća otpornost na kišu i mogućnost gaženja nakon nanošenja premaza za odvajanje.

7.3 Izbor odgovarajućih premaza za odvajanje

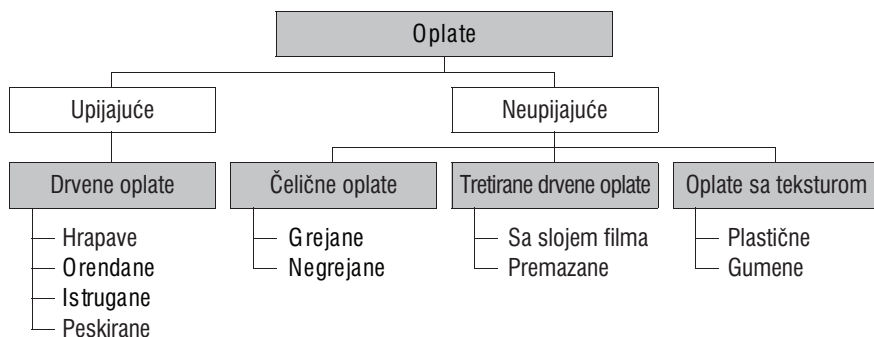
Vrsta oplata je glavni kriterijum za izbor najprikladnijeg premaza za odvajanje oplata do betona. Tabela o oplatama sadrži popis različitih tipova premaza i data je u poglavlju 7.3.1.

7.3.1 Premazi za odvajanje upijajućih oplata

Nove prethodno neupotrebljavane drvene oplata imaju izrazito visoku moć upijanja. Ukoliko oplata nije pravilno pripremljena postoji mogućnost izvlačenja vode iz betonske površine, tj. iz cementne paste. Zbog toga može doći do prijanjanja betona na oplatu, te u budućnosti do prašenja površine očvrslog betona zbog nedovoljne hidratacije cementa. Može doći do oštećenja betonskih slojeva blizu površine usled uticaja sastojaka iz oplata (npr. drvenih šećera). To se manifestuje prašenjem, smanjenom čvrstoćom ili neujednačenom bojom, te je posebno izraženo ako se drvene oplata skladište napolju bez odgovarajuće zaštite ili ako su neko vreme izložene direktnom uticaju sunca. Opisani efekti su izraženiji kod oplata koje se koriste po prvi put, ali se oni svakom daljom upotrebom oplata smanjuju.

Razvijen je vrlo jednostavan način za sprečavanje navedenih problema prilikom korišćenja novih oplata. Taj se način pokazao vrlo efikasnim u praksi. Pre prvog korišćenja drvene oplata se tretiraju premazom za odvajanje te se nakon toga premazuju cementnom pastom ili gustim cementnim mlekom. Posle očvršćavanja, cementna pasta se očetka. Nakon tog veštačkog procesa starenja potrebno je pre sledećih nekoliko betoniranja koristiti premaz za odvajanje koji ujedno ima i efekat zaptivanja. Za to je po pravilu potrebno koristiti slabo hemijski reaktivna ulja za odvajanje koja sadrže malu količinu rastvarača ili koja uopšte ne sadrže rastvarače.

Nakon nekoliko korišćenja, moć upijanja oplata postepeno opada zbog povećanog zaptivanja površine budući da su cementna pasta i ostaci premaza za odvajanje popunili pore i praznine na površini. Zbog toga je na stare drvene oplata potrebno nanositi samo tanak sloj premaza za odvajanje oplata od betona. Za stare oplata se takođe mogu koristiti premazi za odvajanje koji sadrže rastvarače ili emulzije.



7.3.2 Premazi za odvajanje neupijajućih oplata

Drvene oplata koje su modifikovane sintetičkim smolama, te plastične i čelične oplata su neupijajuće te zbog toga ne upijaju premaze za odvajanje, vodu ili cementnu pastu. Kod takvih oplata izuzetno je važno premaze za odvajanje naneti u tankom sloju, ravnomerno i u malim količinama. Potrebno je izbegavati „lokve“. One ne samo da dovode do nastanka mehurića, već mogu dovesti do neujednačene boje i/ili prašenja betonske površine.

Za dobijanje tankog i ravnomernog filma na površini oplata, po pravilu se koriste nisko viskozna ulja sa aditivima za odvajanje, a često se koriste i ulja sa rastvaračima za natur beton. Premazi za odvajanje poboljšavaju proces odvajanja (npr. masne kiseline ili posebni dodaci „za vlaženje“), daju bolje prianjanje filma za odvajanje na glatke, vertikalne površine oplata.

To je posebno važno kod visokih oplata, kod ugradnje betona sa velikih visina, što izaziva mehaničko habanje površine i u slučajevima delovanja klimatskih i vremenskih prilika kao i dugih perioda čekanja između nanošenja premaza za odvajanje i ugradnje betona.

Za grejane čelične oplata primjenjuje se posebna metoda. Ne sme doći do isparavanja filma na oplati usled uticaja toplote te sastav premaza za odvajanje mora sprečavati nastanak jake hemijske reakcije (naslage krečnog sapuna ili sapunifikacije) između betona i sastojaka premaza za odvajanje tokom zagrevanja.

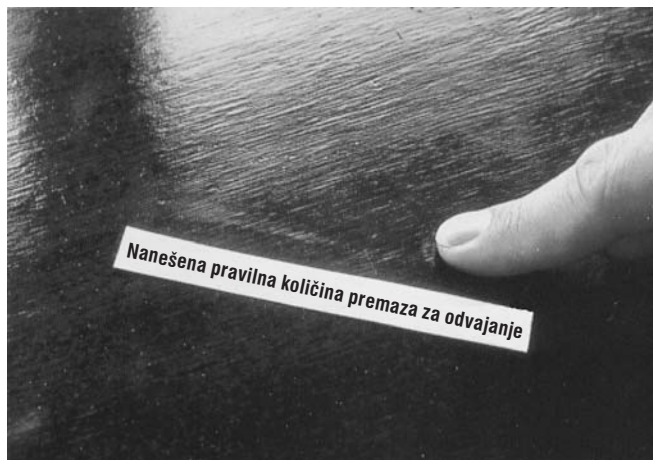
Za oplata s teksturom koje su izrađene od posebne ili silikonske gume nije uvek potrebno koristiti premaze za odvajanje, posebno kada su nove jer se beton ne lepi na glatku, hidrofobnu površinu oplata. Ukoliko zbog vrste teksture ili starosti postoji potreba za korišćenje premaza za odvajanje potrebno je koristiti proizvode koji sadrže rastvarače ili posebne emulzije, zavisno od vrste teksture. Potrebno je nanositi tanak premaz kako bi se sprečilo nakupljanje viška premaza za odvajanje u donjim delovima oplata. Potrebno je provesti ispitivanje kompatibilnosti kako premazi za odvajanje ne bi uzrokovali bubrenje ili delimično rastvaranje oplata.

7.4 Uputstva za upotrebu

Pored posebnih uputstava navedenih u sigurnosnim listovima premaza za odvajanje postoji još nekoliko opštih smernica.

7.4.1 Nanošenje premaza za odvajanje

Osnovno pravilo je nanošenje minimalne količine što je ravnomernije moguće. Način nanošenja premaza za odvajanje uglavnom zavisi od konzistencije proizvoda. Poželjno je proizvode niskog viskoziteta (tečne) nanositi pomoću prskalica sa niskim pritiskom (4 – 5 bara). Koristiti ravnu mlaznicu – njegova finoća zavisi od količine rastvarača u premazu za odvajanje – po mogućnosti u kombinaciji s kontrolnim ventilom ili filterom kako bi se sprečilo preterano nanošenje, tj. curenje ili kapanje.



Ispravna ravnomerna gustina premaza za odvajanje na glatkoj oplati može se proveriti pomoću „testa prstom”. Ne bi se smeli videti otisci prstiju ili naslage premaza za odvajanje. Višak premaza za odvajanje mora se ukloniti sa horizontalne oplata gumenim ili sunđerastim zogerom, a površinu treba obrisati. Ukoliko se na vertikalnu ili kosu oplatu nanese previše materijala, na površini će biti vidljivo curenje, a na dnu oplata će biti vidljive naslage premaza za odvajanje. Njih je potrebno ukloniti sunđerom ili krpom.

Premazi za odvajanje vrlo visokog viskoziteta (npr. pasta od voska) nanose se krpom, sunđerom, četkom, gumenim zogerom itd. i u tom slučaju nanosi se apsolutno minimalna količina što je ravnomernije moguće.

Vremenski uslovi važni su za korišćenje premaza za odvajanje. Zbog mogućnosti neodgovarajuće adhezije i pojavljivanja vode na oplati, premazi za odvajanje ne nanose se po kišnom vremenu. Za upijajuće oplatae potrebno je pri jakom suncu ili promaji koristiti veću količinu premaza za odvajanje. U uslovima mraza postoji rizik od pucanja emulzija premaza za odvajanje usled odmrzavanja pre ugradnje betona.

7.4.2 Vreme čekanja pre betoniranja

Nije moguće odrediti tačno minimalno vreme čekanja između nanošenja premaza za odvajanje i betoniranja jer to zavisi od mnogo faktora, kao što su na primer vrsta oplatae, temperatura, vremenski uslovi i vrsta premaza za odvajanje. Uvek je potrebno pridržavati se uputstava za vreme sušenja proizvoda koji sadrže rastvarače ili emulzije na bazi vode. U protivnom neće doći do očekivanog efekta odvajanja. Kvalitet završne obrade betona može biti lošiji jer zarobljeni ostaci rastvarača mogu uzrokovati nastanak sitnih rupica.

Brzina isparavanja zavisi od vrste rastvarača. Vreme čekanja za svaki proizvod navedeno je u tehničkim listovima odgovarajućih proizvoda.

U određenim okolnostima izloženost ili naprezanje (hodanje, vremenski uslovi itd.) filma premaza za odvajanje ili predugo vreme čekanja između nanošenja i betoniranja može smanjiti efekat odvajanja. Kod upijajućih oplata to se može dogoditi nakon nekoliko dana. Kod neupijajućih oplata to nije takav problem i efekat odvajanja po pravilu traje nekoliko nedelja, zavisno od vremenskih i klimatskih prilika.

7.4.3 Postupak betoniranja

Po pravilu je prilikom betoniranja važno da su premazi za odvajanje što manje izloženi mehaničkom naprezanju. Ukoliko je moguće beton se ne sme puniti dijagonalno u vertikalne oplatae kako bi se predupredilo lokalno habanje filma za odvajanje. Ukoliko je moguće potrebno je tokom punjenja betona koristiti cevi i slično kako beton ne bi padao direktno na oplatae. Prilikom zbijanja potrebno je paziti da vibratori ne dodiruju oplatu, tj. da ne budu preblizu oplatae. Ukoliko dođe do toga, površina oplatae je izložena visokom stepenu mehaničkog naprezanja što može uzrokovati habanje premaza za odvajanje i kasnije delimično prianjanje, tj. „ne-odvajanje” betona.

Ukratko

Danas je u betonskoj industriji potrebno koristiti premaze za odvajanje. Premazi za odvajanje doprinose vizuelno ujednačenim i trajnim betonskim površinama ukoliko se koriste na odgovarajući način sa odgovarajućom oplatom i odgovarajućim kvalitetom betona. Neodgovarajući premazi za odvajanje te neodgovarajući sastojci ili sastav betona mogu uzrokovati oštećenja u i na betonskoj površini.

Spektar proizvoda Sika® Separol® nudi idealna rešenja za većinu situacija u kojima je potrebno koristiti premaze za odvajanje.

8. Nega



8.1 Uopšteno

Za dugu trajnost, beton ne samo da mora biti „čvrst“, već mora biti i vodonepropusan, pogotovo u područjima blizu površine. Što je manja poroznost i što je cementna pasta gušća to beton ima veću otpornost na spoljne uticaje, naprezanje i štetna delovanja. Kako bi se to postiglo kod očvrslog betona potrebno je preduzeti mere zaštite svežeg betona, posebno mere zaštite od

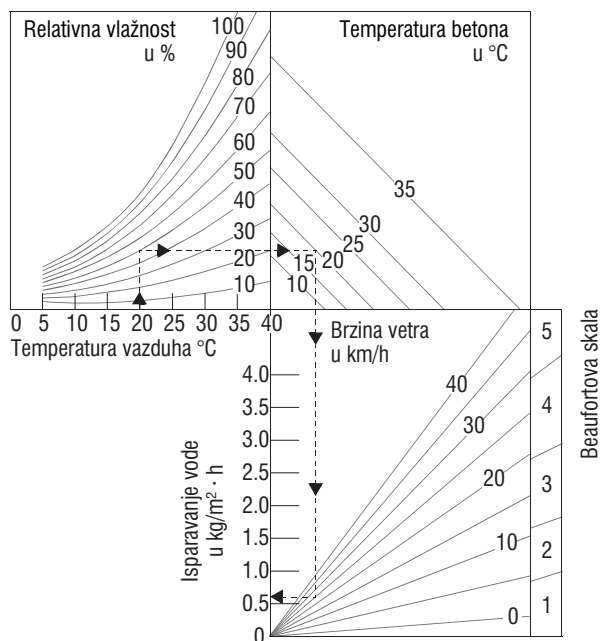
- preuranjenog sušenja zbog uticaja vetra, sunca, niskog nivoa vlage itd.
- ekstremnih temperatura (hladnoća, vrućina) i štetnog dejstva naglih temperaturnih promena
- kiše
- termičkih i fizičkih udara
- štetnih hemijskih agresija
- mehaničkog naprezanja

Zaštita od *preuranjenog sušenja* potrebna je kako gubitak vode ne bi uticao na razvoj čvrstoće betona. Posledice preuranjenog gubitka vode su:

- Niske čvrstoće u područjima blizu površine
- Prašenje
- Veća vodopropusnost
- Smanjena otpornost na atmosferske uticaje
- Mala otpornost na štetne hemijske agresije
- Pojavljivanje prslina usled skupljanja u ranoj fazi
- Povećan rizik od nastanka svih vrsta prslina usled skupljanja

Donja slika prikazuje količinu isparavanja vode po m^2 površine betona u različitim uslovima. Kao što je vidljivo na slici (strelice), pri temperaturama vazduha i betona od 20°C , relativnoj vlažnosti vazduha od 50% i prosečnoj brzini vetra od 20 km/h , 0.6 litara vode može ispariti sa 1 m^2 betonske površine za sat vremena. Brzina isparavanja vode se značajno povećava u slučajevima kada je temperatura betona veća od temperature vazduha kao i povećanjem razlike između temperature vazduha i betona. U istim uslovima pri temperaturi betona od 25°C došlo bi do 50% većeg isparavanja, tj. do isparavanja 0.9 litara po m^2 po satu.

Uticaj relativne vlažnosti vazduha, temperature vazduha i betona, kao i brzine vetra na isparavanje (prema Nemačkom udruženju proizvođača cementa [VDZ])



Primer:

Svež beton sa količinom vode od 180 litara po m^3 sadrži 1.8 litara vode po m^2 u sloju debljine 1 cm. Brzina isparavanja od 0.6 litara po m^2 za 1 sat znači da beton gubi količinu vode jednaku ukupnoj količini vode u sloju betona debelom 1 cm za 3 sata i količinu vode u sloju debelom 3 cm za 9 sati. Ta debljina prelazi minimalan potreban zaštitni sloj za spoljne konstrukcije prema DIN 1045. Dolazi samo do delimičnog „nadoknađivanja“ isparene vode iz dubljih područja betona. Postoji znatan negativan uticaj na čvrstoću, otpornost na habanje i vodonepropusnost betonskih slojeva blizu površine.

Ekstremne temperature uzrokuju deformacije betona; beton se širi pri visokim i skuplja pri niskim temperaturama. Te deformacije uzrokuju naprezanja, što može dovesti do nastanka prslina, kao što je slučaj kod skupljanja gde postoje ograničenja. Zbog toga je važno sprečiti velike temperaturne razlike (>15 K) između jezgra i površine svežeg i novog betona te izloženost naglim temperaturnim promenama delimično očvrslag betona.

Mehaničko naprezanje poput snažnih potresa i udara tokom vezivanja i u početnoj fazi očvršćavanja, može oštetiti beton ako je struktura oslabljena. Kiša i voda često uzrokuju trajna oštećenja svežeg ili novog betona. Šteta tokom naknadnih radova može se sprečiti zaštitom ivica, korišćenjem zaštitnih prekrivača za „neformirane betonske površine” kao i kasnijim uklanjanjem oplata.

Štetna hemijska agresija supstanci iz podzemnih voda, zemlje ili vazduha može delimično ili čak potpuno oštetiti beton, čak uz korišćenje odgovarajuće recepture i uz pravilnu ugradnju, pod uslovom da do naprezanja dođe prerano. Beton je potrebno što duže zaštititi od takvih supstanci, npr. korišćenjem štitova, drenažom ili prekrivanjem.

8.2 Metode nege

Zaštitne mere od preranog sušenja su:

Nanošenje tečnih premaza za negu (npr. **Sika® Antisol®-E ili -S**)

- Ostavljanje u oplatama
- Prekrivanje folijama
- Postavljanje prekrivača koji zadržavaju vodu
- Kontinuirano prskanje vodom, kako bi površina betona uvek bila prekrivena vodom i
- kombinacija svih navedenih metoda

Tečni premazi za negu poput proizvoda **Sika® Antisol® -E ili -S** mogu se prskanjem naneti na betonsku površinu jednostavnim alatom (npr. baštenska prskalica niskog pritiska). Potrebno ih je što pre naneti na čitavu površinu: na izložene delove površine odmah nakon što početna „sjajna” površina postane „mat”, te na oblikovane delove površine odmah posle uklanjanja oplata. Uvek je važno stvoriti gustu membranu i naneti pravilno potrebnu količinu (g/m^2), kao što je određeno te u skladu s uputstvima za upotrebu. Na vertikalnim betonskim površinama potrebno je naneti nekoliko premaza.

Sika® Antisol®-E je mlečno bele boje kad je svež, što omogućava jednostavno otkrivanje nepravilnosti kod nanošenja. Posle sušenja formira prozirnu zaštitnu membranu.

Ostavljanje u oplati znači da upijajuće drvene oplata moraju biti održavane vlažnim, te da je čelične oplata potrebno zaštititi od zagrevanja (tj. od direktnog sunca), kao i od brzog ili preteranog hlađenja pri niskim temperaturama.

Pažljivo prekrivanje nepropusnim *plastičnim folijama* je najčešća metoda koja se koristi za neoblikovane površine posle uklanjanja delova oplata. Folije je potrebno postaviti na svež beton na način da se međusobno preklapaju, te je potrebno učvrstiti njihove spojeve (npr. pločama ili kamenjem) kako bi se sprečilo isparavanje vode iz betona.

Korišćenje plastičnih folija posebno je preporučljivo za natur beton iz razloga što one u velikoj meri sprečavaju neželjenu pojavu iscvetavanja. Folije se ne smeju postavljati direktno na svež beton. Potrebno je izbeći tzv. „efekat dimnjaka”.

Ako se za prekrivanje betonskih površina koriste *materijali koji zadržavaju vodu*, kao što su na primer jutene prekrivke, slamene asure itd. Prekrivači moraju stalno biti vlažni te se, ukoliko je potrebno, moraju plastičnim folijama dodatno zaštititi od naglog gubitka vlage.

Preuranjeno sušenje moguće je sprečiti *stalnim vlaženjem betonske površine*. Ciklusi vlaženja i sušenja mogu uzrokovati naprezanja i prslinice kod novog betona. Potrebno je izbegavati direktno vlaženje betona mlazom vode jer postoji opasnost nastanka prslina ukoliko dođe do hlađenja betonske površine zbog niže temperature vode i latentnog razvoja toplote betona posebno kod masivnih betonskih konstrukcija. Prskalice ili perforirane savitljive cevi su pogodne za vlaženje betona. Ukoliko je moguće, horizontalne površine se mogu ostaviti pod vodom dok beton ne očvrstne.

8.3 Mere nege betona

Metoda	Mere	Spoljna temperatura u °C				
		Ispod -3 °C	-3 do +5 °C	5 do 10 °C	10 do 25 °C	Iznad 25 °C
Folija / membrana za negu	Prekrivanje i/ili prskanje membranom za negu i vlaženje. Vlažna drvena oplata; potrebno je čelične oplate zaštititi od sunca					X
	Prekrivanje i/ili prskanje membranom za negu			X	X	
	Prekrivanje i/ili prskanje membranom za negu i termoizolacija; preporučuje se korišćenje termoizolacionih oplate – npr. drvenih oplate		X*			
	Prekrivanje i termička izolacija; zatvaranje radnog prostora (šator) ili zagrevanje (npr. grejanje zračenjem); potrebno je održavati temperaturu betona na +10°C barem 3 dana	X*	X*			
Voda	Stalno vlaženje				X	

* Broj dana mraza produžuje vreme nege i uklanjanja oplate; beton je potrebno zaštititi od padavina bar 7 dana

Pri niskim temperaturama nije dovoljno samo sprečiti gubitak vode sa betonske površine. Za sprečavanje prekomernog hlađenja potrebno je pripremiti, te u pravom trenutku primeniti dodatne zaštitne termoizolacione mere. Te mere uglavnom zavise od vremenskih uslova, vrsta komponenti, njihovih dimenzija i oplate.

Nega vodom nije dozvoljena pri temperaturama mržnjenja. Termički prekrivači kao što su ploče, prostirke od slame ili trske, lake građevinske ploče i plastični prekrivači pogodni su za kratke periode mraza. Poželjno je prekrivače s obe strane folijama zaštititi od vlage. Najprikladnije i najjednostavnije za upotrebu su plastične prostirke koje su prekrivene folijom s jedne strane. Za vreme jakog mraza ili za vreme dugih perioda niskih temperatura tokom mrazeva potrebno je zagrejati vazduh oko svežeg betona, te betonske površine moraju stalno biti vlažne. Pravilno zaptivanje je važno (npr. potrebno je zatvoriti otvore za vrata i prozore ili koristiti zatvorene šatore).

8.4 Trajanje nege

Vreme trajanja nege je potrebno odrediti na način da područja blizu površine dostignu čvrstoću i vodonepropusnost potrebnu za trajnost betona i antikorozivnu zaštitu armature.

Razvoj čvrstoće usko je povezan sa sastavom betona, temperaturom svežeg betona, klimatskim i vremenskim prilikama i dimenzijama betona. Isti faktori utiču i na potrebno vreme trajanja nege betona.

U okviru evropskog procesa standardizacije trenutno se pripremaju standardizovana pravila za negu betona.

E DIN 1045-3 sadrži načela evropske radne verzije. Osnova radne verzije je da se beton mora negovati sve dok betonski element ne dostigne 50 % vrednosti karakteristične čvrstoće f_{ck} . Proizvođači betona u obavezi su da navedu informacije o razvoju čvrstoće betona kako bi se mogao odrediti potreban vremenski period nege. Ti podaci temelje se na prosečnoj čvrstoći pri pritisku u periodu od 2 do 28 dana pri temperaturi od 20 °C. Na tome se temelji podela na brz, srednji, spor ili vrlo spor prirast čvrstoće. Minimalni period nege propisan u E DIN 1045-3 temelji se na toj podeli. Donja tabela prikazuje minimalan period nege kao faktor razvoja čvrstoće betona i temperature površine.

Nega prema DIN 1045-3 Jul 2001.

Metode nege

DIN 10453	– Relativna vlažnost vazduha $\geq 85\%$ – Ostavljanje u oplati – Prekrivanje vodonepropusnim folijama – Korišćenje prekrivača koji zadržavaju vodu – Prekrivanje površine betona tankim slojem vode – Premaz za negu
-----------	--

Vreme negovanja

Klase izloženosti: videti poglavlje 2.2

Pravilo	DIN 10453			ZTV-ING Treći deo	
Klase izloženosti (prema DIN 10452)	X0 XC1	XC2 – XC4 XS XD XF XA	XM	XC2 XS	XC3 – XC4 XM XD XF XA
Minimalan potreban period za negu	12 h	Dok čvrstoća betona blizu površine ne dostigne minimum			
		50 %	70%	50 %	70 %
		karakteristične čvrstoće f_{ck}			
Pojednostavljena definicija minimalnog perioda nege	Ukoliko se vreme navedeno u <i>Tabeli 2</i> DIN 1045-3 primenjuje				
	tačno	dvostruko	tačno	dvostruko	
		smatra se da je postignuta potrebna čvrstoća			

Tabela 2 DIN 10453

Temperatura površine i/ili vazduha	Minimalni period nege u danima kao faktor prirasta čvrstoće r^1 betona			
	$r \geq 0.50$	$r \geq 0.30$	$r \geq 0.15$	$r < 0.15$
$T \geq 25^\circ\text{C}$	1	2	2	3
$25 > T \geq 15^\circ\text{C}$	1	2	4	5
$15 > T \geq 10^\circ\text{C}$	2	4	7	10
$10 > T \geq 5^\circ\text{C}$	3	6	10	15

¹Međuvrednosti se mogu interpolirati.

Vrednost r ($r = f_{CM,2}/f_{CM,28}$ – odnos prosečne čvrstoće betona nakon 2 i 28 dana) određuje prirast čvrstoće betona, pa ga je potrebno utvrditi pogodnim ispitivanjem.

Tačna definicija minimalnog perioda nege	Dopustiva je precizna evidencija kao dokaz dovoljnog prirasta čvrstoće konstrukcije (npr. zrelost)		
Opšte primenjivi uslovi	Konzistencija nakon 5h	→	U slučaju potrebe može se odrediti odgovarajuće produženje perioda nege
	Temperatura $< 5^\circ\text{C}$	→	Periodi temperatura $T < 5^\circ\text{C}$ ne mogu se oduzeti od vremena nege
	Temperatura $< 0^\circ\text{C}$ (ZTVING)	→	Potrebno je primeniti mere zaštite od mraza dok beton ne postigne minimalnu čvrstoću pri pritisku od 10 N/mm^2

Hemijski dodaci betonu i sredina

Hemijski dodaci betonu su aditivi u tečnom ili praškastom obliku. Oni se dodaju u betonsku mešavinu u malim količinama kako bi se zadovoljili određeni uslovi:

- Povećanje trajnosti betona
- Pобољшanje obradivosti betona
- Promena reakcije vezivanja ili očvršćavanja cementa

Hemijski dodaci uvek poboljšavaju svojstva betona. Superplastifikatori (znatno smanjuju količinu vode) i plastifikatori (smanjuju količinu vode) zajedno čine otprilike 80 % svih hemijskih dodataka koji se danas koriste.

U kojoj meri su dodaci betonu biorazgradivi, te u kojoj meri ispuštaju gasove?

Superplastifikatori moraju biti neotrovni, rastvorljivi u vodi i biorazgradivi.

Ispitivanja mlevenih uzoraka betona pokazuju da su male količine superplastifikatora kao i proizvodi njihovog raspada u principu rastvorljivi. U svakom slučaju, ti materijali se dobro razgrađuju, te ne uzrokuju značajno zagađenje podzemnih voda. Čak i u najekstremnijim uslovima u vodu ističu samo male količine organskog ugljenika.

- Zaključak ispitivanja: Superplastifikatori ne zagađuju vazduh.

Ukratko: U kojoj meri superplastifikatori ekološki prihvatljivi?

Hemijski dodaci betonu su pogodni za korišćenje, te nisu štetni za ljude, životinje i sredinu ukoliko se pravilno koriste.

Tehničke prednosti superplastifikatora za klijente i građevinske radnike su znatno bitnije od malog, kontrolisanog nivoa štetnosti tokom korišćenja. Opravdano je hemijske dodatke betonu klasifikovati kao ekološki prihvatljive jer oni uzrokuju zanemarljiva zagađenja tla, zemljišta i podzemnih voda.

Videti sledeće publikacije:

- „Kompatibilnost hemijskih dodataka betonu i sredine”
Izveštaj Švajcarskog udruženja proizvođača hemijskih dodataka betonu (FSHBZ)
Jul 1995.
- Projekat EU-a ANACAD
Analize i rezultati hemijskih dodataka betonu u otpadnim vodama
Završni izveštaj BMG Engineering AG Zürich
Februar 2000.

Članstvo u EFCA-i

Sika je član EFCA-e, Evropske federacije udruženja proizvođača hemijskih dodataka betonu.

Hemijski dodaci betonu koje proizvodi kompanija Sika su u skladu sa Normom kvaliteta za životnu sredinu, propisanom od strane EFCA-e.



Indeks

A

Agregati	
Agregati otporni na mraz	11, 98
Agregat za beton	8
– Drobljeni	11, 38
– Otporni na mraz i so	98
– U standardu EN 12620	9
– Zaobljeni	11, 38
Aeranti	12

B

Beton	
– Obojeni	59
Beton armiran vlaknima	54
Beton otporan na mraz i so	43
Beton projektovanog sastava	20
Beton projektovanih svojstava	20
Beton sa izloženim površinama	51, 99
Beton sa povećanom vatrootpornošću	67
Beton za košuljice („Teraco” beton)	71
Beton za hladne vremenske prilike	77
Beton za tunnelske segmente	68
Beton za tople vremenske prilike	73
Beton za saobraćajne površine	40
Beton visoke početne čvrstoće	93
Beton visoke čvrstoće	46
Beton za klizne oplate	47
Beton ugrađen na gradilištu	34
Brzina nanošenja	132

C

Cementni bacil	100
Cementno mleko	80
Cementi prema EN 197-1	6
Ciljane vrednosti konzistencije	79

Č

Čekić za ispitivanje čvrstoće	94
Čelična vlakna	54, 126
Čvrstoća pri pritisku	91, 107
Čvrstoća pri zatezanju cepanjem	111
Čvrstoća pri zatezanju savijanjem	102, 109
Čvrstoća pri zatezanju kod prijanjanja	115
Čvrstoća smrzavanja	78
Čuvanje uzoraka	106

D

Doziranje dodataka	13
Drobljeni agregati	11
Drveni šećer	51
Dry shakes – proizvodi	70
Dubina prodora vode	112
Dubina utiskivanja	123

E

Efektivna količina vode	83
-------------------------	----

F

Faze hidratacije	103
------------------	-----

G		Klase rane čvrstoće prskanog betona	116
		Kocke	105
Gelske pore	81	Kohezija	82
Glavni sastojci betona	5	Kontrola saglasnosti	31
Granulometrijska kriva	10	Konzistencija	79, 89
Gubitak toplote	78	Kontraktorska (izvođačka) metoda	56
		Krečnjački filer	13
		Kritična temperatura	73, 74
		Krvarenje	80
		„Kulije” – beton sa izloženim agregatom	99
H			
Habanje, smanjeno	82		
Habanje	101		
Hemijski dodaci betonu	13		
Hemijski dodaci betonu i sredina	141		
Hemijska otpornost	101		
Hemijsko skupljanje	99		
HILTI metoda	123		
I			
Iscvetavanje	80		
Isparavanje	135		
Ispitivanje	84, 86		
Ispitivanje konzistencije	84		
Isporučeni beton	33		
Ivičnjaci	60–67		
K			
<i>k</i> -vrednost	27		
Kapilarne pore	81		
Kapilarna poroznost	49		
Klase betona prema čvrstoći pri pritisku	26, 91		
Klase izloženosti usled uticaja sredine	22		
Klase izloženosti	21, 22		
Klase konzistencije	25, 79		
		L	
		L-kutija	89
		Laki agregati	8
		Laki beton	5, 57
		Leteći pepeo	14, 27
		M	
		Masivan beton	52
		Mehurići vazduha	44
		Mere nege betona	138
		Mešavina agregata	10
		Mešavine za podmazivanje	39
		Metoda sleganje-rasprostiranje	89
		Mikropore	98
		Mineralni dodaci	27
		Mineralni dodaci betonu	12
		Minimalna količina cementa	28
		Minimalna temperatura	78
		Mokri postupak prskanja	118
		Mokro na mokro	71
		Monolitni beton	70

N		Plastično skupljanje	100
		Početno vezivanje	75
Naprezanje zbog mraza	98	Podvodni beton	56
Natur beton	50	Podzemne vode	16
Neaktivni materijali	13	Polipropilenska vlakna	68, 127
Nega	106	Ponovno zbijanje	52
Nega betona	134	Pore zbog zbijanja	81
Nepropusnost	95	Pore usled vibriranja	51
Ne sadrži alkaliје	125	Portland cement	6
Noćno usporavanje	76	Postupak pumpanja tankim mlazom	118

O

Obojeni betoni	59	Površinske pukotine	52
Obrađivost	83	Prečnik rasprostiranja	79
Očvršli beton	91	Prefabrikovani elementi	36
Određivanje sadržaja vazdušnih pora	88	Prefabrikovane konstrukcije	36
Odskok od podloge	115	Premazi za odvajanje	128
Odskočni čekić	79	Premazi za negu	136
Oplata, upijajuća	129	Premaz za vezu	102
Otpornost na kasniju pojavu prslina	54	Prenos opterećenja: 1 tačka/ 2 tačke	110
Otpornost na mraz	43, 98, 113	Prethodna ispitivanja usporavanja	76
Otpornost na sulfate	100, 127	Pritisak u oplati	43
Otpornost na mraz i so	43, 98	Prizme	105
Otporan na cikluse smrzavanja/odmrzavanja	43, 98, 113	Proces prskanja	117
Otpornost, hemijska	101	Proces zagrevanja u autoklavu	69
Otpornost na habanje	101	Prolaz na situ	10
Oznake za vrste betona	31	Promene temperature	136

P

Pad temperature betona	79	Proračun količine materijala	18
Para	68	Prostorni faktor	44
Pesak	9	Provera konzistencije	80
Ploče za popločavanje	60–67	Prskani beton	114
Plastifikator	12	Prskani beton armiran čeličnim vlaknima	126
		Prskani beton otporan na sulfate	127
		Pucolani	14
		Premaz za negu	69
		Provera nanošenja količine premaza	132
		Pumpabilnost	82
		Pumpani beton	37
		Pumpanje sa gustim mlazom	118

R		Standardni uzorci loma	108
		Stepen kompaktnosti	79
Raspored čestica po veličini	9	Sveži beton	72
Razdvajanje	80	Suva mešavina	117
Razvoj čvrstoće	91	Suvi postupak prskanja	117
Receptura za postupak mokrog prskanja	125	Superplastifikator	12
Reakcija između alkalija i agregata	104		
Redovna kontrola svežeg betona	84		

T

Tabela doziranja dodataka za usporavanje	74
Temperatura, kritična	73, 74
Temperatura betona, smanjenje	79
Temperatura svežeg betona	82
Teški agregati	8
Teški beton	55
Toplota hidratacije	103
Trajanje nege	139

U

Ubrzivač	118
Ubrzivač vezivanja	12
Ubrzivač koji ne sadrži alkalije	125
Učvršćivanje svodova tunela	114
Udar	101
Umanjivač vode	12
Uslovi	72
Usporivač	12
Usporivač vezivanja površine	99
Uređaji za ispitivanje	109
Uzimanje uzoraka	84
Uzorci	105
Uzorci za ispitivanje	105

S	
Sadržaj hlorida	29
Sadržaj finih čestica	15
Sadržaj vazdušnih pora	81
Samozbijajući beton	41, 89
Saobraćajne površine	40
SCC	41, 89
Segregacija	82
Silikatna prašina	14, 27, 28
Sindrom belih zglobova	41
Skupljanje	99
Skupljanje, hemijsko	99
Skupljanje zbog sušenja	100
Sleganje	79
Sortiranje klasa	22
Specifikacija betona	31
Specifična površina	14
Specifična sposobnost zbijanja	41
Sporodne komponente cementa	6
Sredina	141
Stabilizator	12
Stabilizator za mešavinu	80
Stabilizator za prskani beton	125
Standard EN 934-2	12
Standardni agregati	8
Standardni beton	5
Standard EN 206 -1: 2000	20
Standard EN 934-2	12

V

V-kanal	90
Valjanje	101
Valjani beton	59
Valjci	105
Vatrootpornost	54, 67, 127
Veličina sita	10
Veličina vibratora	51
Veziva	6
Visoka početna čvrstoća	93
Voda od ispiranja	16
Voda za mešanje	16
Voda za piće	16
Vodocementni odnos	49, 83
Vodonepropusan beton	49
Vodonepropusnost	95, 96

Vodonepropusnost betona	49
Vreme mešanja	44
Vreme rada	73
Vreme uklanjanja oplata	93
Vremena usporavanja	74
Vrste cementa	7

Z

Zaglađivanje	80
Zapreminska masa očvrslog betona	111
Zapreminska masa, rastresito stanje	14
Zapreminska masa svežeg betona	81
Zaštitne mere zimi	78
Završna obrada	80
Zrnasta struktura	8



Sika – prava sistemska rešenja

Proizvodnja betona i maltera

Hidroizolacije

Sanacija betona, zaštita i strukturalna ojačanja

Lepljenje i zaptivanje

Industrijski podovi

Zaštita čelika od korozije i vatre

Hidroizolacija krovova sintetičkim membranama

Tunelogradnja

Odgovarajuće mašine i oprema

Sika hemijski dodaci za betone

Sika mašine za prskane betone i specijalni sistemi

Sika hidroizolacioni sistemi



Sika – Vaš lokalni partner sa globalnim prisustvom

Sika je globalno aktivna kompanija u području specijalnih hemijskih proizvoda za građevinu i industriju. Njene ćerke kompanije proizvode, prodaju i daju tehničku podršku u preko 70 zemalja sveta.

Sika je vodeća kompanija na svetskom tržištu i lider u tehnologiji u područjima vodonepropusnosti, zaptivanja, lepljenja,

izolacije, ojačanja i zaštite konstrukcija i građevinskih objekata. Sika ima više od 10.000 zaposlenih širom sveta što je čini dobro pozicioniranom za uspešnu podršku svojim poslovnim partnerima i spremnom za odgovor na mnoga zahtevna tehnička rešenja tokom građenja.



Sika d.o.o. Beograd

Autoput za Novi Sad 244b

11273 Zemun - Batajnica

Tel. +381 11 377 43 37

Fax. +381 11 377 47 31

www.sika.co.rs

Kod izdavanja robe važe naši „Opšti uslovi prodaje i isporuke”

Pre upotrebe proizvoda obavezno dobro proučiti najnoviji tehnički list proizvoda

