

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski strokovni študij
gradbeništva, Konstrukcijska smer

Kandidat:

Igor Birk

**ODPORNOST PROTI PRODORU VODE ZA
LAHKOVGRADLJIV BETON IZ
DROBLJENEGA APNENČEVEGA
AGREGATA**

Diplomska naloga št.: 369

Mentor:

izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

Somentor:

Franci Čepon

Ljubljana, 2010

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 961.32(043.2)

Avtor: Igor Birk

Mentor: izr. prof.dr. Violeta Bokan Bosiljkov

Naslov: Odpornost proti prodoru vode za lahko vgradljiv beton iz drobljenega apnenčevega agregata

Obseg in oprema: 65 str., 20 pregl., 43 sl.

Ključne besede: struktura betona, odpornost betona, vodotesnost betona

Izvleček:

V diplomski nalogi smo najprej ugotavljali odpornost betona izdelanega iz drobljenega apnenčevega agregata in cementa CEM II/A-M (LL-S) 42,5R (beton L2) na njegovo odpornost proti prodoru vode pod pritiskom. Poleg tega smo preskušali tudi njegove lastnosti v svežem stanju ter njegovo tlačno in cepilno natezno trdnost v strjenem stanju. Zanimal nas je vpliv nizkih in povišanih temperatur v času vezanja in strjevanja betona na obravnavane lastnosti. Poleg tega pa smo študirali tudi vpliv razpok, ki so se oblikovale pri enaki obtežbi upogibnega elementa z izbranim deležem armature, armiranega z armaturnimi palicami različnih prerezov, ter vpliv gnezd, zračnih žepov in hladnih stikov v strukturi betona na njegovo odpornost proti prodoru vode. Na koncu smo naredili primerjavo med obravnavanimi lastnostmi betona L2 in betona izdelanega iz savskega proda in cementa CEM I 42,5R

BIBLIOGRAPHY AND DOCUMENTARY PAGE WITH EXTRACT

UDC: 961.32(043.2)
Author: Igor Birk
Mentor: Violeta Bokan Bosiljkov, PhD, Associate Professor
Title: Resistance of highly flowable concrete made from crushed limestone aggregate
Volume and equipment: 65 pages, 20 inspections, 43 pictures
Key words: concrete structure, concrete resistance, water penetration resistance of concrete

Abstract:

The diploma thesis deals with the resistance of concrete made by crushed limestone aggregate, tap water and cement CEM II/A-M (LL-S) 42,5R (concrete L2) against penetration of water under pressure. Beside this, fresh concrete properties were determined and compressive and splitting tensile tests were carried on hardened concrete. We studied influence of low and increased temperatures during setting and hardening of the concrete on the hardened concrete properties under consideration. Influence of reinforcing bars with larger and smaller diameter used for reinforcement of flexural element with selected reinforcement rate was also studied, through penetration of water under pressure into cracked concrete. Further on, study of influence of honeycombs, bug holes and cold joints on the resistance of the concrete against penetration of water under pressure was carried out. At the end comparison between properties of concrete L2 and the same properties of concrete made by gravel from river Sava and cement CEM I 42,5R was carried out.

ZAHVALA

Zahvaljujem se izr. prof. dr. Violeti Bokan Bosiljkov, univ. dipl. ing. grad. za strokovno pomoč pri nastajanju diplomske naloge. Zahvala velja tudi somentorju g. Franciju Čeponu dipl. ing. grad. in kolektivu Katedre za preizkušanje materiala in konstrukcij, ker so mi omogočili in pomagali s svojimi izkušnjami pri moji nalogi.

Izredna zahvala gre moji družini za vso podporo, pomoč in razumevanje skozi vsa leta študija.

KAZALO:

1	UVOD.....	1
2	OSNOVNE SESTAVINE ZA IZDELAVO BETONOV.....	2
2.1	AGREGAT.....	2
2.2	VODA.....	4
2.3	CEMENT.....	6
2.3.1	GLAVNE SESTAVINE.....	8
2.3.2	HIDRATACIJA CEMENTA.....	10
2.3.3	VRSTE CEMENTA.....	13
2.3.4	MEHANSKE ZAHTEVE.....	14
2.4	KEMIJSKI DODATKI BETONU.....	15
2.4.1	SUPERPLASTIFIKATORJI.....	15
3	BETON.....	16
3.1	LASTNOSTI BETONSKIH MEŠANIC.....	16
3.2	MEŠANJE BETONA.....	16
3.3	KONSISTENCA BETONSKE MEŠANICE.....	17
3.4	VGRADLJIVOST.....	18
3.5	IZCEJANJE VODE.....	19
3.6	ZGOŠČEVANJE BETONA.....	19
3.7	VEZANJE IN STRJEVANJE BETONA.....	20
3.8	STRJEN BETON.....	21
3.8.1	NEGA BETONA.....	21
4	METODE PREISKAV SVEŽE BETONSKE MEŠANICE IN ZAHTEVE STANDARDA SIST EN 206-1.....	22
4.1	METODA S POSEDOM; SIST EN 12350-2.....	22
4.2	METODA Z RAZLEZOM; SIST EN 21350-5.....	24
4.3	METODA Z ZGOŠČEVANJEM PRI VIBRIRANJU; SIST EN 12350- 4 25	
4.4	DOLOČANJE VSEBNOSTI ZRAKA V SVEŽEM BETONU; SIST EN 12350-7 27	
5	METODE PREISKAV STRJENEGA BETONA IN ZAHTEVE STANDARDA SIST EN 2006-1.....	29
5.1	TLAČNA TRDNOST; SIST EN 12390-3.....	29

5.2	RAZRED TLAČNE TRDNOSTI BETONA	30
5.3	RAZCEPNA NATEZNA TRDNOST; SIST EN 12390-6.....	31
5.4	GLOBINA PRODORA VODE POD PRITISKOM; SIST EN 12390-8	32
5.5	MODUL ELASTIČNOSTI; JUS U.M1.025	33
6	LASTNE PREISKAVE.....	36
6.1	UVOD.....	36
6.2	OSNOVNI MATERIALI	37
6.2.1	AGREGAT	37
6.2.2	VODA.....	38
6.2.3	CEMENT.....	38
6.2.4	KEMIJSKI DODATEK – SUPERPLASTIFIKATOR	39
6.3	SESTAVA BETONSKE MEŠANICE L2	40
6.4	PREISKAVE SVEŽIH BETONSKIH MEŠANIC	41
6.4.1	PRESKUS Z RAZLEZOM; SIST EN 12350-5	42
6.4.2	PREIZKUS POSEDA Z RAZLEZOM	43
6.4.3	PREIZKUS VSEBNOSTI ZRAKA; SIST EN 12350-7	45
6.4.4	POVZETEK REZULTATOV NA SVEŽIH MEŠANICAH	46
6.5	PREISKAVE STRJENEGA BETONA	47
6.5.1	NEGA PREIZKUŠANCEV	47
6.5.2	TLAČNA TRDNOST BETONA	47
6.5.3	CEPILNA NATEZNA TRDNOST	50
6.5.4	GLOBINA PRODORA VODE POD PRITISKOM; SIST EN 12390-8	51
7	SKLEP.....	64
	VIRI.....	65

KAZALO SLIK:

<i>Slika 1 : Shematski prikaz sejanja agregata in pojasnilo pojmov</i>	3
<i>Slika 2: Mejne krivulje območja primernosti agregata po SIST 1026:2008</i>	3
<i>Slika 3: Stopnje količine vlage v agregatu: a) osušen v peči, (b) zračno suh, (c) zasičen z vlago, (d) moker</i>	4
<i>Slika 4: Shema proizvodnje cementa</i>	7
<i>Slika 5: Faze hidratacije cementnega kamna</i>	12
<i>Slika 6: Vibrator za beton</i>	20
<i>Slika 7: Vibriranje betona</i>	20
<i>Slika 8: Vpliv vlažnosti okolja na pridobivanje trdnosti betona</i>	22
<i>Slika 9: Posed betonskega stožca</i>	23
<i>Slika 10: Razlezna miza</i>	23
<i>Slika 11 : Pravilen in nepravilen posed stožca</i>	24
<i>Slika 12: Postopek določanja konsistence betona z metodo z razlezom</i>	25
<i>Slika 13: Kalup za zgoščevanje po SIST EN 12350-4</i>	27
<i>Slika 14: Shema Porozimetra</i>	28
<i>Slika 15: Porozimeter za beton</i>	28
<i>Slika 16: Shematski prikaz cepljenja valja in kocke</i>	31
<i>Slika 17: Shema naprave za preskus vodotesnosti po SIST EN 12390-8</i>	33
<i>Slika 18: Določanje statičnega modula elastičnosti</i>	34
<i>Slika 19: Grafični prikaz cikličnega obremenjevanja in razbremenjevanja</i>	35
<i>Slika 20: Graf primerjave konsistence mešanic s preskusom razleza</i>	42
<i>Slika 21: Merjenje poseda na lahkovgradljivi betonski mešanici</i>	43
<i>Slika 22: Graf primerjave konsistence mešanic s preizkusom poseda</i>	44
<i>Slika 23: Graf primerjave časa razleza mešanic s preizkusom razleza s posedom</i>	45
<i>Slika 24: Porozimeter</i>	46
<i>Slika 25: Preizkus tlačne trdnosti betona</i>	48
<i>Slika 26: Povprečna tlačna trdnost betonov pri starosti 28 dni (nizke temperature)</i>	48
<i>Slika 27: Povprečna tlačna trdnost betonov pri starosti 28 dni (sušilnica)</i>	49
<i>Slika 28: Povprečna tlačna trdnost betonov pri starosti 28 dni (28 dni v vodi)</i>	50
<i>Slika 29: Povprečna cepilna natezna trdnost betona pri starosti 28 dni (100% R.V., $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$)</i>	51

<i>Slika 30: Naprava za vodotesnost</i>	<i>52</i>
<i>Slika 31: Globina prodora vode v strjen beton L2 in P1</i>	<i>53</i>
<i>Slika 32: Prodor vode skozi preizkušanece</i>	<i>55</i>
<i>Slika 33: Globina prodora vode v beton z vgrajenimi gnezdi</i>	<i>55</i>
<i>Slika 34: Hladni stik dveh plasti betona</i>	<i>56</i>
<i>Slika 35: Globina prodora vode v beton z zračnimi žepi</i>	<i>57</i>
<i>Slika 36: Opaž za betonsko ploščo z armaturo premera 8mm</i>	<i>59</i>
<i>Slika 37: Opaž za betonsko ploščo z armaturo premera 20 mm</i>	<i>59</i>
<i>Slika 38: Vrtanje valjev</i>	<i>60</i>
<i>Slika 39: Globina prodora vode v beton z vgrajeno armaturo premera 8 mm</i>	<i>60</i>
<i>Slika 40: Globina prodora vode v beton z vgrajeno armaturo premera 20 mm</i>	<i>61</i>
<i>Slika 41 : Primerjava globine prodora vode v odvisnosti od nege (nizke temperature)</i>	<i>62</i>
<i>Slika 42: Primerjava globine prodora vode v odvisnosti od nege (28 dni visoke temperature)</i>	<i>62</i>
<i>Slika 43 : Primerjava globine prodora vode v odvisnosti od nege (14 dni voda+14 dni sušilnica).....</i>	<i>63</i>

KAZALO PREGLEDNIC:

<i>Preglednica 1: Kemijska sestava čistega portland cementa CEM I</i>	7
<i>Preglednica 2: Klinkerski minerali v portland cementu in njihove lastnosti</i>	8
<i>Preglednica 3: Razvrščanje cementov po standardu SIST EN 197-1</i>	13
<i>Preglednica 4: Trdnostni razredi cementov po standardu SIST EN 197-1</i>	14
<i>Preglednica 5: Klasifikacija konsistence po DIN standardih, z opisom konsistence</i>	18
<i>Preglednica 6: Stopnje konsistence za metodo preskusa s posedom stožca po SIST EN 206-123</i>	
<i>Preglednica 7: Stopnje konsistence v odvisnosti od razleza po standardu SIST EN 206-1</i>	24
<i>Preglednica 8: Stopnje konsistence v odvisnosti od mere zgoščenosti po standardu SIST EN 206-1</i>	26
<i>Preglednica 9: Razredi tlačne trdnosti za normalno težek in težak beton po standardu SIST EN 206-1</i>	29
<i>Preglednica 10: Dovoljene vrednosti prodora vode po standardu SIST EN 206-1 pri starosti betona najmanj 28 dni</i>	32
<i>Preglednica 11: Lastnosti uporabljenega drobljenega apnenčevega agregata</i>	37
<i>Preglednica 12: Izbrana zrnavostna sestava drobljenega apnenčevega agregata (Laže)</i>	38
<i>Preglednica 13: Lastnosti CEM II/A-M (LL-S) 42,5 R v primerjavi s standardom SIST EN 197-1</i>	39
<i>Preglednica 14: Sestava mešanice L2</i>	40
<i>Preglednica 15: Prikaz povprečnega razleza betonskih mešanic L2 in P1</i>	42
<i>Preglednica 16: Prikaz rezultatov poseda betonskih mešanic L2 in P1</i>	43
<i>Preglednica 17: Čas potreben za končen razlez betonskih mešanic</i>	44
<i>Preglednica 18: Prikaz rezultatov razleza betonskih mešanic s posedom</i>	45
<i>Preglednica 19: Povprečna poroznost betonov L2 in P1</i>	46
<i>Preglednica 20: Količina absorbirane vode preizkušancev mešanic L2 in P1</i>	53

1 UVOD

Odpornost betona proti prodoru vode je ena izmed najpomembnejših lastnosti betona, ki jo največkrat povezujemo z betonskimi konstrukcijami, pri katerih se zahteva vodotesnost. Praviloma so to betonski objekti oziroma njegovi deli, pri katerih bi prodor vode ali drugih tekočin pustil posledice na objektu ali v njihovi okolici. V to skupino konstrukcijskih elementov ali konstrukcij spadajo temelji in temeljne plošče, čistilne naprave, bazeni za shranjevanje tekočin, skladišča plinov, odlagališča jedrskih odpadkov, itd. Obstojnost betona in posledično tudi konstrukcije je močno povezana z njegovo odpornostjo proti prodoru vode. Zato Slovenski nacionalni standard SIST 1026:2008 podaja zahteve glede dovoljenih vrednosti prodora vode s preizkusom po SIST EN 12390-8 za različne stopnje izpostavljenosti po SIST EN 206-1, saj se ravno v agresivnih okoljih zahteva visoka kakovost zaščitne plasti betona nad armaturo.

Na odpornost betona proti prodoru vode imajo največji vpliv osnovni materiali v betonski mešanici, vodocementno razmerje, dodatki in postopek vgrajevanja v opaže ter nenazadnje tudi nega betona. Nepravilna nega betona lahko povzroči nastanek površinskih razpok, ki poslabšajo vodotesnost betona.

Zato smo v diplomski nalogi analizirali različne vplive na vodotesnost betona. Betonske mešanice smo izpostavljali različnim zunanjim vplivom (nizke/visoke temperature, visoka/nizka vlažnost), študirali smo vpliv gnezd iz zračnih žepov ter hladnih stikov in velikost armaturnih palic pri predpisanem odstotku armiranja konstrukcijskega elementa.. Poleg tega smo na svežih betonskih mešanicah preizkušali razlez, posed, razlez s posedom, stopnjo zgoščenosti in vsebnost zraka, na strjenem betonu pa tlačno ter cepilno natezno trdnost.

2 OSNOVNE SESTAVINE ZA IZDELAVO BETONOV

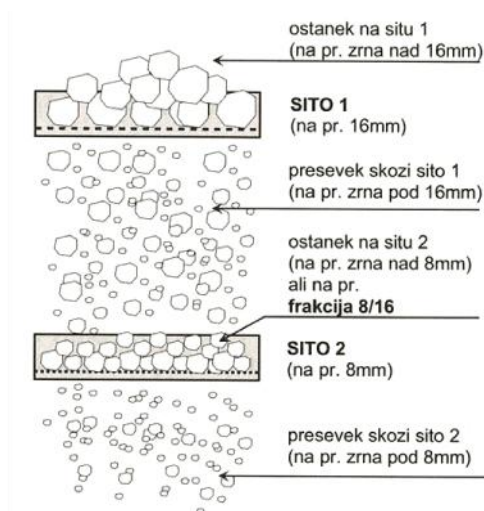
2.1 AGREGAT

Agregat predstavlja največji delež materiala v eni prostorninski enoti betona. V običajnih betonih tvori okoli 75% njihove prostornine, pri betonih nizke trdnosti pa tudi do 85% prostornine. Agregate razvrščamo v dve skupini, in sicer po načinu njihovega pridobivanja: na drobljence (lomljen agregat) in gramoze aluvialnega izvora (prod). Drobljenec pridobivamo v kamnolomih z drobljenjem večjih kamnitih blokov, njegova značilnost pa je, da ima ostre robove in bolj homogeno mineralno sestavo. Zaradi ostrorobih zrn se le-ta pri vgrajevanju medsebojno zaklinijo, kar rezultira v izboljšanju mehanskih karakteristik, še posebej je povečana natezna trdnost betona. Gramoz pa pridobivamo iz rečnih nanosov, zato ima lepo zaobljena zrna in je raznolike mineralne sestave. Prednost gramoznih agregatov je prav v zaobljenih zrnih, kar nam omogoča boljšo oziroma lažjo vgradljivost betonov.

Agregat delimo na droben in grob. Droben agregat ima premer zrn do 4mm, grob agregat pa ima premer zrn večji od 4mm. Droben agregat se uporablja predvsem za izdelavo različnih vrst malt, kombinacija drobnega in grobega agregata pa za izdelavo betonov.

Agregat zapolni velik del prostornine malt in betonov. Votline med posameznimi zrnji se tako le pri ustrezni zrnjavostni sestavi agregata optimalno zapolnijo. Pri izbiri zrnjavostne sestave smo omejeni tudi z največjim premerom zrna oziroma z velikostjo maksimalnega zrna. Ta ne sme presegati 25% minimalne izmere konstrukcije in mora biti manjša od najmanjše svetle razdalje med vzporednimi armaturnimi palicami. Zato moramo biti izredno pazljivi pri močno armiranih konstrukcijskih elementih.

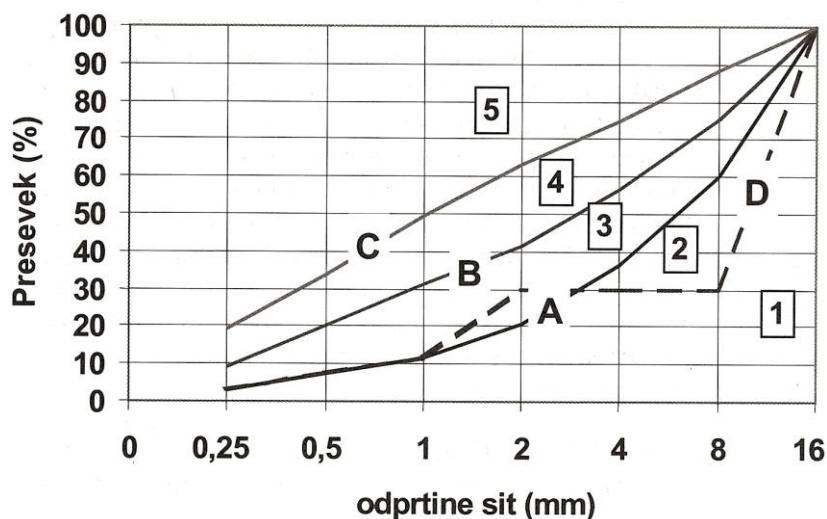
S kombinacijo različnih frakcij agregata dobimo ustrezno zrnjavostno sestavo agregata, ki jo kasneje uporabimo za pripravo sveže betonske mešanice. Posamezne frakcije agregata dobimo s sejanjem na sitih kvadratnih odprtih (sito z največjo odprtino na vrhu ter z najmanjšo odprtino na dnu sistema sit).



Slika 1 : Shematski prikaz sejanja agregata in pojasnilo pojmov [R. Žarnić, 2005]

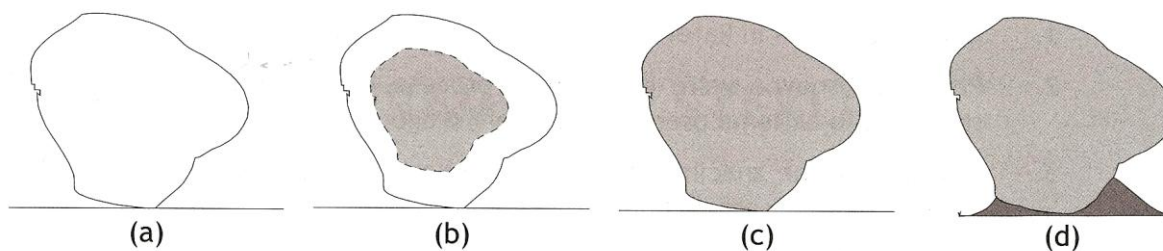
Zrnovostno sestavo agregata preverjamo s sejanjem na laboratorijskih sitih v skladu z zahtevami standarda SIST EN 933-1.

Pri sestavljanju agregata ustrezne zrnovostne sestave so nam lahko v pomoč priporočene mejne krivulje zrnivosti agregata, ki jih podaja SIST 1026:2008. V splošnem velja za primerno zrnovostno sestavo agregata območje med krivuljama A in B.



Slika 2: Mejne krivulje območja primernosti agregata po SIST 1026:2008.

Agregati, ki se nahajajo v naravi, vsebujejo določeno količino vlage. Pri vsaki uporabi agregata za betonske mešanice je potrebno ugotoviti, v kolikšni meri ta vlaga vpliva na masno razmerje med vodo in cementom (v/c razmerje). Glede na količino vlage v agregatu ločimo štiri stanja, ki so shematsko prikazana na sliki 3.



Slika 3: Stopnje količine vlage v agregatu: a) osušen v peči, (b) zračno suh, (c) zasičen z vlago, (d) moker [R. Žarnić, 2005]

2.2 VODA

Voda predstavlja pomembno komponento vsake mešanice s cementnim vezivom, saj povzroči, da se cement spremeni v vezivo in povzroči hidratacijo (vezavo) cementa. Voda v svežem betonu deluje kot komponenta za doseganje potrebne obdelovalnosti betonske mešanice. Za izdelavo betonske mešanice je na splošno primerna pitna voda, saj ni potrebna dodatna analiza vode. Če uporabljamo vodo iz drugih virov (površinske vode, industrijske vode, itd), moramo opraviti dodatne analize po SIST EN 1008, da se dokaže njena primernost, saj so v vodi lahko škodljive snovi, ki bi škodovale betonu. Posebno škodljive snovi, ki jih voda ne sme vsebovati so:

- organske primesi (zemlja, humus, masti, itd),
- sulfati (soli, ki med kristalizacijo povečajo volumen),
- kloridi (soli, ki povzročijo korozijo armature),
- mulj.

Za nearmirane betone smemo uporabiti tudi vode iz drugih virov, vendar moramo njihovo primernost preveriti s pomočjo primerjalnih preizkusov:

- čas vezanja in
- tlačno trdnost betona.

Za primerjalno analizo najprej naredimo betonsko mešanico z destilirano vodo in nato še s predvideno vodo. Če se izkaže, da časovna razlika med začetkom in koncem vezanja ni večja od 30 minut in da je razlika med tlačnimi trdnostmi manjša kot 10%, se predvidena voda lahko uporabi za izdelavo betona. Za nearmirane betone se lahko uporabi tudi morska voda, vendar pa vsebnost soli v vodi ne sme presegati meje 5g soli na liter vode.

V betonu moramo zagotoviti vsaj toliko vode, kolikor je potrebno za hidratacijo cementa.

V primeru, da je vode premalo, bo del cementa ostal nehidratiziran, če pa je vode preveč, bo začela odvečna voda izhlapevati in se bodo v betonu začele izoblikovati kapilarne pore.

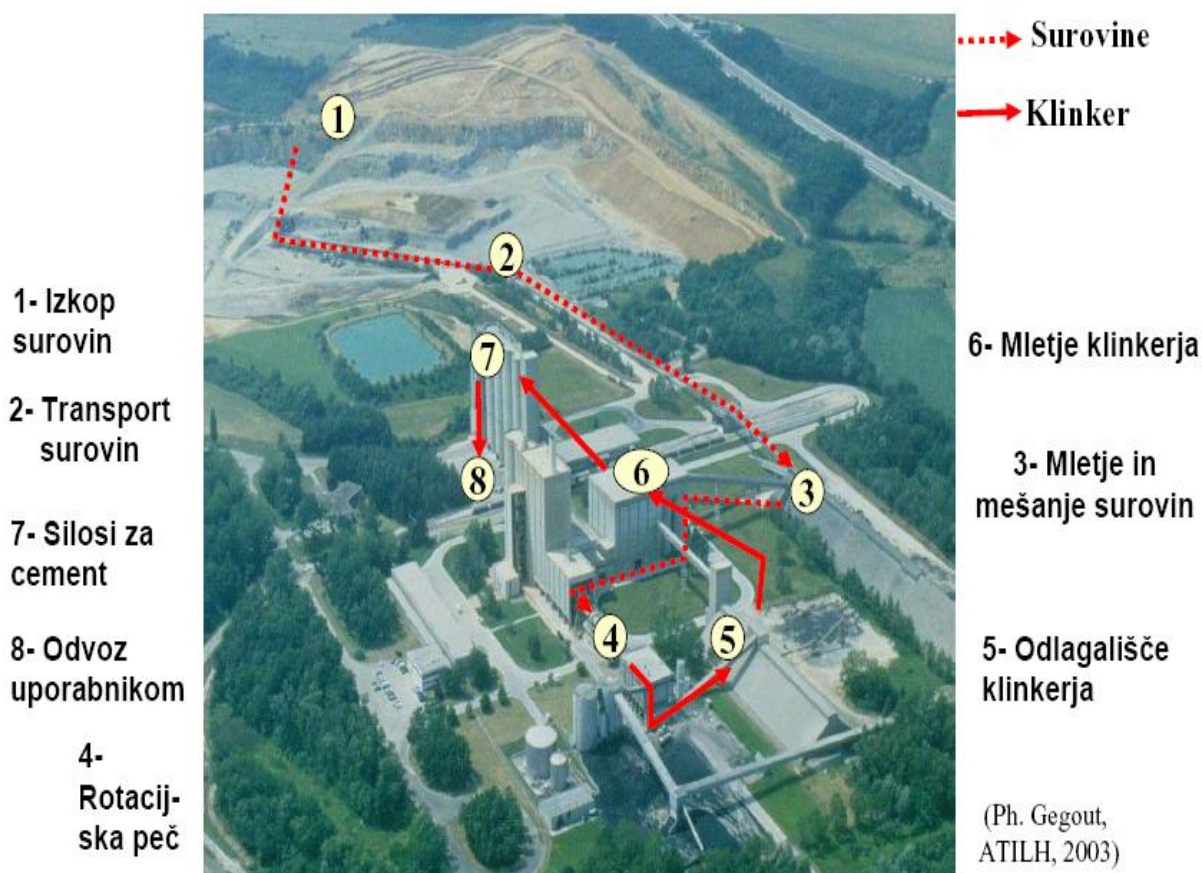
Neprimernost uporabljene vode se kasneje lahko pokaže s pojavi kot so:

- eflorescenca,
- prostorninska nestabilnost cementnega kamna,
- sprememba časovnega poteka hidratacije cementa,
- barvna sprememba veziva,
- različne vrste korozije.

2.3 CEMENT

Cement je silikatno hidravlično vezivo, ki, ko dodamo vodo, veže in se strdi v trden cementi kamen, ki lahko prenaša visoke tlačne obremenitve. Hidravlična veziva so veziva, ki vežejo in strjujejo na zraku in v vodi.

Osnovne surovine za proizvodnjo cementa so apnenec, lapor in glina. Ker v Sloveniji primanjkuje laporja, se mešanice, ki morajo vsebovati od 75 do 78% kalcijevega karbonata (CaCO_3), pripravljajo iz apnenca in gline. Mešanice apnenca in gline se zmeljejo v vertikalnih mlinih, da nastane moka, ki se žge v rotacijski peči. Minerali, ki so v apnencih in glinah, pri 100°C oddajajo prosto vodo in pri 600°C se izloča kristalno vezana voda. Pri 800°C se stali 30-40% CaO in SiO_2 , pri 900°C se stali še 90-95% CaO in SiO_2 . Med 1200°C in 1300°C nastane talina, v kateri se tvori mineral C_2S in pri temperaturi 1450°C (temperatura sintriranja) se tvori mineral C_3S . Tako dobimo zmes, ki je podobna pepelu in ima granule, ki v premer merijo 3cm, in je močno porozna. To zmes imenujemo cementni klinker. Klinker nato zelo hitro ohladimo, da ohranimo ustrezno mineraloško sestavo in v krogelnih mlinih zmeljemo v fini prah – portland cement. Klinkerju se lahko med mletjem dodaja tudi različne snovi (sadra, pucolan, žlindro, elektrofiltrski pepel, itd.), kar daje končne lastnosti različnim vrstam cementa.



Slika 4: Shema proizvodnje cementa

Osnovne spojine, ki tvorijo cementni klinker so:

Preglednica 1: Kemijska sestava čistega portland cementa CEM I [Kuzmanović S., 2009]

SPOJINA	DELEŽ
CaO (komponenta C)	62 - 67%
SiO ₂ (komponenta S)	19 - 25%
Al ₂ O ₃ (komponenta A)	2 - 8%
Fe ₂ O ₃ (komponenta F)	1 - 5%
SO ₃ (komponenta S)II	max. 3,5 - 4,5%
CaO (nevezan)	max. 2%
MgO	max. 5%
Na ₂ in K ₂ O	0,5 - 1,3%

Preglednica 2: *Klinkerski minerali v portland cementu in njihove lastnosti* [Kuzmanović S., 2009]

OZNAKA	IME	DELEŽ	LASTNOSTI
C ₃ S	Trikalcijev silikat – alit	45 – 60 %	Najpomembnejši, pospešuje proces hidratacije, povzroča visoke trdnosti
C ₂ S	Dikalcijski silikat – belit	20 – 30 %	Zavira in podaljšuje proces hidratacije in strjevanja
C ₃ A	Trikalcijev aluminat	4 – 12 %	Pospešuje strjevanje in razvijanje hidratacijske toplote
C ₄ AF	Tetrakalcijev aluminoforit	10 – 20 %	Zavira strjevanje, odporen na sulfatno korozijo

2.3.1 GLAVNE SESTAVINE

Portland cementni klinker

Portland cementni klinker je proizveden s sintranjem predpisane mešanice surovin, ki vsebujejo elemente, običajno izražene v obliki oksidov CaO, SiO₂, Al₂O₃, F₂O₃ in majhne količine drugih snovi. Je hidravlični material, ki mora vsebovati najmanj 66% mase kalcijevih silikatov, ostanek pa sestoji iz klinkerjevih faz, ki vsebujejo aluminij in železo, ter druge spojine. Masno razmerje CaO/SiO₂ ne sme biti manjše od 2,0.

Žindra

Granulirana plavžna žindra se pridobiva s hitrim ohlajevanjem žlindre taline, ki nastaja ob taljenju železove rude. Je latentno hidravlično vezivo. Da sprožimo hidravlične lastnosti, ji moramo dodati alkalije. Kot delna zamenjava čistega portland cementa se uporablja že več kot sto let.

Pucolani

Pucolani so naravne snovi, silikatne ali silikatno-aluminatne sestave. Standard SIST EN 197 loči naravne pucolane, ki so vulkanskega izvora ali pa sedimentne kamnine, s primerno kemično in mineraloško sestavo, in naravne kalcinirane pucolane, ki so snovi vulkanskega izvora, gline, skrilavci ali sedimentne kamnine, aktivirani s termično obdelavo.

Elektrofiltrski pepel

Elektrofiltrski pepel se pridobiva z elektrostatičnim ali mehanskim izločanjem prašnih delcev iz dimnih plinov peči, ki so kurjene z uprašenim premogom. Njegova sestava je odvisna od uporabljenega premoga in temperaturnega režima, ki mu je izpostavljen. Elektrofiltrski pepel, ki se uporablja kot zamenjava cementnega klinkerja, mora izpolnjevati zahteve standarda SIST EN 450.

Žgani skrilavci

Žgani skrilavci se proizvajajo v posebnih pečeh pri temperaturi 800°C. Zaradi sestave naravnega materiala in proizvodnega procesa vsebuje faze klinkerja in večji delež pucolansko aktivnih oksidov. Zato ima v primeru, ko je fino mlet, hidravlične lastnosti kot portland cement in poleg teh tudi pucolanske lastnosti.

Apnenec

Apnenec, ki se uporablja kot mineralni dodatek v cementih mora izpolnjevati zahteve podane v SIST EN 197-1.

Mikrosilika

Mikrosilika nastane v proizvodnji silicijevih in ferosilicijevih zlitin v elektropečeh pri redukciji zelo čistega kremenca s premogom. Običajno mikrosilika vsebuje več kot 90% SiO₂ v steklasti obliki. Premer zrn je izjemno majhen, saj je manjši od 1 nm. Ker pa ima mikrosilika zelo veliko specifično površino (200.000 cm²/g po Blain-u), je zelo reaktivna. Z mikrosiliko lahko praviloma zamenjamo do 10% cementnega klinkerja.

Dodatki cementu

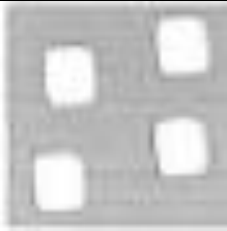
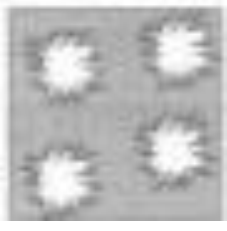
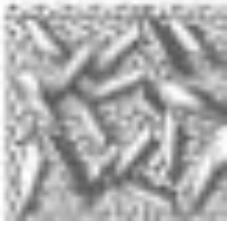

Razne dodatke cementu dodajamo zato, da bi izboljšali proces proizvodnje ali pa lastnosti cementa. Praviloma količina dodatkov ne sme presegati 1% mase celotnega cementa (razen v primeru pigmentov). Če pa so dodatki organskega izvora, količina ne sme presegati 0,5% mase cementa. Dodatki, ki jih dodajamo cementu, ne smejo pospeševati korozije armature ali poslabšati lastnosti cementa, betona ali malte.

2.3.2 HIDRATACIJA CEMENTA

Hidratacija cementa je kemijsko-fizikalen proces vezanja cementa in vode. To je kompleksna serija reakcij med posameznimi minerali klinkerja, kalcijevega sulfata in vode. Na samem začetku je proces hidratacije odvisen od hitrosti raztapljanja klinkerjevih mineralov in kalcijevega sulfata. Nato postane proces bolj kontroliran s kontrolo rasti kristalov hidrationskih produktov, na koncu pa s hitrostjo difuzije vode in z raztapljanjem ionov. Spreminjanje cementne paste v cementni kamen, povezano z naraščanjem trdnosti veziva

imenujemo proces strjevanja, ki lahko traja več let. Če opazujemo proces hidratacije glede na razvoj trdnosti cementnega kamna, ga lahko razdelimo na tri faze:

- faza vezanja cementa (začetna faza po 1 uri),
- faza intenzivnega strjevanja (po 6 urah),
- faza stabilizacije silikatne strukture (po 24 urah).

Faza	Shema	Opis dogajanja
1.		<p>Pred-indukcijsko obdobje (traja nekaj minut).</p> <p>Po mešanju cementa in vode se v vodi hitro raztapljajo spojine in začne se hidratacija mineralov klinkerja. Proces sta ekzotermna in ju zato spremlja velik toplotni tok. Na tej stopnji reagira le 2 do 10% C₃S. Mineral C₃A se v deležu med 5 in 25% raztaplja in reagira s sulfatnimi ioni. Ob tem nastaja etringit, ki se izloča v obliki igličastih kosmičev na cementnih delcih. Mineral C₄AF reagira podobno kot C₃A, delež reagiranega C₃S pa je zelo majhen.</p>
2.		<p>Indukcijsko obdobje-relativno mirovanje (traja nekaj ur)</p> <p>Po začetni hitri hidrataciji se reakcijska hitrost zelo zmanjša. To zmanjšanje se razlaga na dva načina:</p> <ul style="list-style-type: none"> • po teoriji začetne plasti se hidratacijski produkti obdajo z zaščitno plastjo že v pred-indukcijskem obdobju. Zaradi tega se hidratacija upočasni. Zaščitna plast se počasi spreminja in postane propustna, kar omogoči nadaljevanje procesa hidratacije • po teoriji kristalizacijskih jeder, nadaljevanje hidratacije ovirajo nastale nasičene raztopine kalcijevega hidroksida. S pojavom hidratacijskih jeder se iz raztopine izločajo mineralni kosmiči, koncentracija kalcijevih ionov se zniža in hidratacijski proces ponovno steče.
3.		<p>Obdobje pospešene hidratacije (tretja do dvanajste ure procesa)</p> <p>Nasičena otopine z novo nastalimi kristali preide iz faze sola v fazo cementnega gela, ki je gosto tekoča masa z enakomerno razporejenimi zrnji. Hitrost hidratacije C₃S in C₂S narašča in doseže maksimalne vrednosti.</p>
4.		<p>Obdobje pojemajoče hidratacije (do konca hidratacije)</p> <p>Hitrost reakcij se zmanjšuje in je odvisna od difuzije ionov skozi plasti hidratacijskih produktov, ki tvorijo opno okoli nehidratiziranih jeder cementnih delcev. Nastaja C-S-H gel kot posledica hidratacije C₃S in C₂S. Na začetku nastali etringit reagira s nehidratiziranim C₃A in C₄AF in nastane monosulfat. V nadaljevanju hidratizirani material zori. Nastajajo nove spojine, iz gela se tvori cementni kamen, gel se prepleta z novo nastajajočimi kristali, ti rastejo in tvorijo mrežo.</p>

Slika 5: Faze hidratacije cementnega kamna [R. Žarnić, 2005]

Bistven vpliv na stopnjo hidratacije ima masno razmerje med vodo in cementom (t.i. vodocementno razmerje v/c). Hidratacija poteka optimalno pri vrednostih vodocementnega razmerja od 0,38 do 0,42. V tem območju naj bi teoretično hidratizirala celotna količina cementa, vendar pa so raziskave pokazale, da v praksi hidratizira od 80 do 90% cementa, kar pa nima bistvenega vpliva na lastnosti cementnega kamna. Če pa je vodocementno razmerje preveliko, se oblikujejo pore večjega premera, ki znižujejo trdnost betona in zmanjšujejo njegovo vodoneprepnost.

2.3.3 VRSTE CEMENTA

Poznamo 27 proizvodov iz vrst običajnih cementov. Standard SIST EN 197-1 običajne cimente razvršča v pet glavnih vrst cementov:

- CEM I portlandski cement,
- CEM II mešani portlandski cement,
- CEM III žlindrin cement,
- CEM IV pucolanski cement,
- CEM V mešani cement.

Razvrščanje cementov po standardu SIST EN 197-1:

Preglednica 3: Razvrščanje cementov po standardu SIST EN 197-1

Vrsta cementa	Opis	Glavne sestavine in njihove oznake	Delež mineralnih dodatkov
CEM I	čisti portlandski cement	klinker	0%
CEM II	portlandski cement z mineralnimi dodatki	klinker, granulirana plavžna žindra (S), pucolan (P, Q), elektrofiltrski pepel (V, W), žgani skrilavec (T), apnenec (L), mešani mineralni dodatek (M)	II/A (S,,P,Q,V,W,T,L) 6-20%
			II/B (S,,P,Q,V,W,T,L) 21-35%
CEM III	žlindrin cement	klinker, granulirana plavžna žindra (S)	III/A (S) 36-65%
			III/B (S) 66-80%

			III/B (S) 66-80%
			III/C (S) 81-95%
CEM IV	pucolanski cement	klinker, mikrosilika (D), ko je mineralni dodatek mikrosilika (D) je lahko njen delež v cementu največ 10%, pucolan (P, Q)	IV/A (D,P,Q,V) 11-35%
		elektrofiltrski pepel (V)	IV/B (D,P,Q,V) 36-55%
CEM V	mešani cement	klinker, granulirana plavžna žindra (S), pucolan (P, Q), elektrofiltrski pepel (V)	V/A (S, P,Q,V) 36-60%
			V/B (S, P,Q,V) 61-80%

2.3.4 MEHANSKE ZAHTEVE

Po SIST EN 197-1 je standardna trdnost cementa tlačna trdnost standardne cementne malte po 28-ih dneh. Vključeni so trije razredi standardne trdnosti, in sicer 32.5, 42.5 in 52.5. Zgodnja trdnost cementa je tlačna trdnost po dveh ali sedmih dneh. Za vsak razred standardne trdnosti cementa obstajata dva razreda zgodnjih trdnosti, in sicer razred z običajno zgodnjo trdnostjo, ki se označuje z N (normal), in razred z visoko zgodnjo trdnostjo, ki se označuje z R (rapid). Trdnostni razredi cementov in pripadajoče zahteve so podani v preglednici 4.

Preglednica 4: Trdnostni razredi cementov po standardu SIST EN 197-1

Tlačna trdnost (MPa)				
Oznaka trdnosti	Zgodnja trdnost		Standardna trdnost	
	2 dni	7 dni	28 dni	
32,5 N	-	≥16	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10			
42,5 N	≥ 10		≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20			
52,5 N	≥ 20		≥ 52,5	-
52,5 R	≥ 30			

2.4 KEMIJSKI DODATKI BETONU

Kemijski dodatki betonom so snovi, ki s svojim kemijskim delovanjem vplivajo na nekatere lastnosti sveže ali strjene betonske mešanice. Ti kemijski dodatki so lahko v tekočem ali praškastem stanju. Dodajajo se betonskim mešanicom pred mešanjem ali med mešanjem v majhnih količinah. Te količine so izražene v odstotkih in se nanašajo na maso cementa v mešanici. Osnovne skupine kemijskih dodatkov so:

- plastifikatorji,
- superplastifikatorji (povečajo plastičnost sveže betonske mešanice),
- aeranti (izboljšajo odpornost na zmrzovanje oz. tajanje),
- pospeševalci vezanja (pospešijo hidratacijo cementa),
- zaviralci vezanja (zavirajo hidratacijo cementa),
- gostilci (povečajo vodotesnost betona),
- dodatki za betoniranje pri nizkih temperaturah,
- sredstva za kontrolo viskoznosti.

2.4.1 SUPERPLASTIFIKATORJI

Superplastifikator kot kemijski dodatek sveži betonski mešanici pomembno vpliva na reološke lastnosti mešanice, kot sta razlez in posed. Razlike v delovanju različnih superplastifikatorjev so posledica njihove kemične sestave. Superplastifikator nam omogoča:

- zmanjšanje količine zamesne vode,
- izboljšanje obdelovalnosti mešanice,
- počasnejši padec obdelovalnosti mešanice,
- izboljšanje zmrzinske odpornosti in
- izboljšanje vodotesnosti

ob nespremenjeni količini zamesne vode.

Glede na kemijsko sestavo superplastifikatorje razvrščamo v štiri skupine:

- sufonirani melamin-formaldehidni kondenzati (SMF),
- sufonirani naftalen-formaldehidni kondenzat (SNF),
- modificirani lignin-sulfonati (MLS),
- modificirani polikarboksilati.

3 BETON

3.1 LASTNOSTI BETONSKIH MEŠANIC

Beton je eden od temeljnih materialov v gradbeništvu. Sestavljen je iz mešanice agregata (drobljenca ali proda), vode in cementa, ki deluje kot vezivo. Izbira teh materialov je bistvenega pomena, saj mora beton zadostiti strogim zahtevam glede trdnosti in obstojnosti. Posebno pozornost je potrebno posvetiti tudi sami proizvodnji in tehnološkim operacijam, ki jim je beton izpostavljen pri zgodnji starosti. Zgodnja starost je definirana kot obdobje prvih treh dni po proizvodnji betona, saj se beton v teh dneh meša, transportira na gradbišče, vgrajuje v opaže, zaključno obdeluje in neguje.

3.2 MEŠANJE BETONA

Osnovne sestavine betona, kot so agregat, voda, cement, zrak in dodatki, se morajo pazljivo zmešati v homogeno celoto. Odločilno pri tem je zaporedje dodajanja posameznih sestavin. Najprej dodamo v mešalec potrebno količino suhega agregata ter cementa in šele čez čas, ko se agregat in cement dobro premešata dodamo vodo. Pomembno je, da dodamo vodo v suho mešanico ob pravem času in ob primerni hitrosti obračanja bobna mešalca. Pomembna je tudi količina mešanice glede na kapaciteto mešalca, čas polnjenja glede na čas mešanja, oblika bobna in njegovih lopatic. Bobni dobrih mešalcev omogočajo izmenjavo materiala z enega

konca na drugega s kotaljenjem, pregibanjem in gnetenjem. Dodatki betonu se v večini primerov dodajajo v obliki vodne raztopine (npr. superplastifikator).

3.3 KONSISTENCA BETONSKE MEŠANICE

Parameter, ki določa plastičnost betona, imenujemo konsistenca betona. Konsistenca je skupek lastnosti sveže betonske mešanice, ki vplivajo na njegovo:

- obdelovalnost,
- vgradljivost in
- zgostitev.

Standardi, ki predpisujejo metode določevanja konsistence sveže betonske mešanice, so:

- SIST EN 12350-2 (s postopkom poseda),
- SIST EN 12350-3 (z aparatom Vebe),
- SIST EN 12350-4 (s postopkom zgoščevanja pri vibriranju),
- SIST EN 12350-5 (s postopkom razleza).

Izbira konsistence sveže betonske mešanice je odvisna od pomembnosti konstrukcije, sredstev za vgrajevanje in zgoščevanje ter od odstotka armature v armiranobetonskih elementih. V splošnem pa velja, da naj bo mešanica betona takšna, da se jo lahko obdeluje z rokami.

Glede na posamezne kriterije ločimo štiri opisne stopnje konsistence:

- trdoplastična,
- srednjeplastična,
- mehkoplastična,
- tekoča.

Izbrana konsistenca betona se ne sme spreminjati od betonarne do gradbišča (do vgradnje betonske mešanice). Sicer se lahko dopusti omejen padec konsistence, vendar pa mora biti v naprej znan.

Preglednica 5: *Klasifikacija konsistence po DIN standardih, z opisom konsistence [R. Žarnić, V. 2010]*

OPIS (MEJE) KONSISTENCE	POSED [mm]	RAZLEZ [mm]	POSED PRI VIBRIRANJU [mm]
Zemeljsko vlažna	-	-	≥ 1,46
Trdoplastična	10 – 40	≤ 340	1,45 – 1,26
Srednjeplastična	50 – 90	350 – 410	1,25 – 1,11
Mehkoplastična	100 - 150	420 – 480	1,10 – 1,04
Zelo mehkoplastična	-	490 – 550	-
Tekoča	160 - 210	560 – 620	-
Zelo tekoča	≥ 220	≥ 630	-

3.4 VGRADLJIVOST

Stopnjo vgradljivosti betona določajo enostavnost vgrajevanja, zgoščevanje sveže betonske mešanice in zaključna obdelava. Pri transportu in vgradnji morajo biti zrna v plastični mešanici enakomerno razporejena, tako da ne pride do pojava segregacije (posedanje večjih zrn) in prekomernega izcejanja vode. Homogenost je lastnost, ki jo mora beton ohraniti ves čas vgrajevanja in strjevanja, saj le tako beton doseže zahtevane karakteristike (tlačna trdnost, natezna trdnost, vodoneprepustnost, itd). Beton je potrebno pripravljati kar se da blizu mesta vgradnje, saj se mu hitro spreminja konsistenca. Zrak, ki je vnešen v beton z aeranti, zmanjšuje pojav segregacije in zmanjša izcejanje vode.

3.5 IZCEJANJE VODE

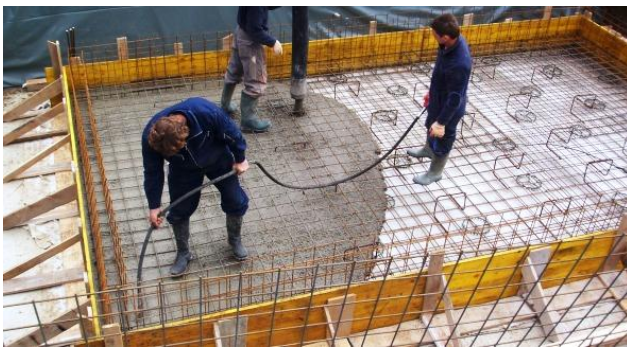
Izcejanje vode je pojav, pri katerem na vrhu sveže betonske mešanice nastane plast vode. Pojav je posledica sedimentacije trdnih delcev in potovanja vode znotraj mešanice proti površju. Pri tem nastaja vrhnja plast betona z višjim vodocementnim razmerjem. Ta plast ima slabe mehanske lastnosti, je neobstojna in ima nizko odpornost na zunanje vplive. V najslabšem primeru se lahko na površini ustvarijo žepi in večje odprte pore kraterske oblike. Vpliv in obseg izcejanja vode je možno zmanjšati z ustrezno zrnastostno sestavo agregata, različnimi kemijskimi dodatki, aeriranjem in z izbiro bolj fino mletih cementov. Zmanjševanje izcejanja je pomembno pri betonih, ki jih uporabljamo za zalivanje votlin, podpor in izdelavo neprepustnih plasti.

3.6 ZGOŠČEVANJE BETONA

Pri vgradnji betona z delovanjem energije (vibratorji, nabijala, vibracijske mize) se delci svežega betona spravijo v gibanje, s čimer se zmanjša trenje med delci, mešanica pa pri tem prehaja v stanje gostega fluida. Zato nam vibriranje omogoča uporabo mešanice, ki vsebuje večja zrna, pri kateri je potrebna manjša količina cementne paste ter posledično tudi manjša količina vode. Na splošno velja, da vibriramo betone, ki jih ne moremo kvalitetno ročno vgraditi. Pri ročno vgradljivem betonu vibriranje lahko povzroči segregacijo. Za zgoščevanje betona navadno uporabljamo vibratorje, ki so pritrjeni na opaž in pa vibracijske igle. Slednje uporabljamo za vibriranje betonov, ki jih neposredno vgrajujemo v konstrukcijo.



Slika 6: Vibrator za beton



Slika 7: Vibriranje betona

3.7 VEZANJE IN STRJEVANJE BETONA

Proces spreminjanja sveže betonske mešanice v strjen beton je posledica prehoda cementne paste v trd cementni kamen. Poroznost sveže betonske mešanice ima velik vpliv na mehanske in tehnološke lastnosti. Trdnejši betoni imajo manj odprtih in zaprtih por. Posebno pozornost moramo posvetiti hidratacijski toploti. Pri nizkih temperaturah hidratacijska toplota delno ščiti beton pred zmrzovanjem. Pri masivnih konstrukcijah pa hidratacijska toplota povzroča notranje lokalne obremenitve, saj se ne more enakomerno odvajati. Cementi za vsakdanjo uporabo razvijejo v treh dneh približno polovico hidratacijske toplote.

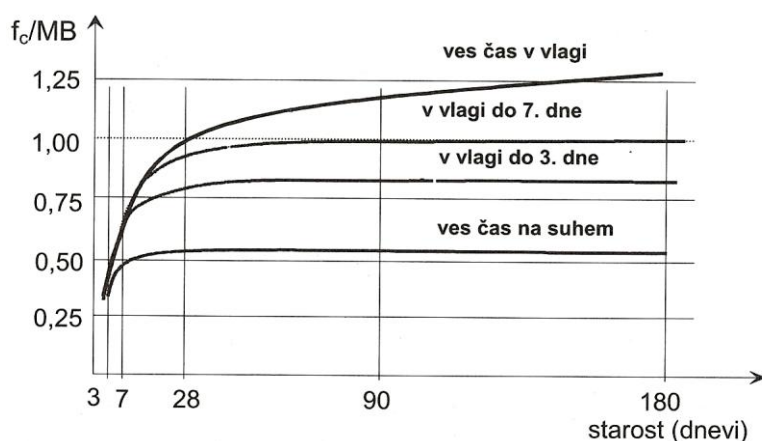
3.8 STRJEN BETON

3.8.1 NEGA BETONA

Končna trdnost betona je odvisna od nege betona v času strjevanja in od vlažnosti okolja, v katerem se beton nahaja. Trdnost betona narašča, dokler so v cementni pasti še nehidratizirana zrnca cementa. Tako proces strjevanja poteka nemoteno, če je relativna vlažnost okolja nad 80 % in če je temperatura okolja dovolj visoka. Zato je nujna nega betona z zagotavljanjem ustrezne vlažnosti okolja, vsaj v prvem mesecu starosti betona.

Sušenje betona ne prispeva k njegovi trdnosti, ker proces hidratizacije, za katerega smo prej omenili, da zagotavlja trdnost betona, potrebuje vlago. Zato osušeni beton nima vedno ustrezne in predvidene stopnje trdnosti, saj so določeni delci cementa lahko ostali nehidratizirani. Prehitro sušenje betona povzroča razlike med lastnostmi zunanjega betona in betona v notranjosti in lahko povzroči njegovo krčenje in pikanje. Ploskovni betonski elementi, ki imajo razmeroma veliko odprto površino, kot so npr. stene in plošče, se sušijo veliko hitreje kot linijski betonski elementi kot so npr. stebri. Beton lahko negujemo na različne načine:

- ga polivamo z vodo,
- pokrijemo z mokrimi tkaninami,
- prekrijemo s plastično folijo,
- vlažimo z razprševanjem vode
- na površino razpršimo kemijska sredstva za nego.



Slika 8: Vpliv vlažnosti okolja na pridobivanje trdnosti betona [R. Žarnić, 2005]

4 METODE PREISKAV SVEŽE BETONSKE MEŠANICE IN ZAHTEVE STANDARDA SIST EN 206-1

4.1 METODA S POSEDOM; SIST EN 12350-2

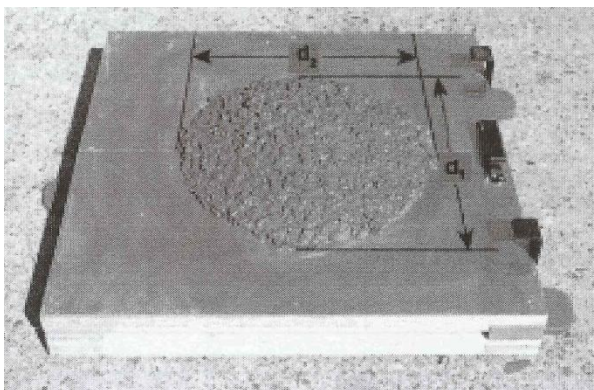
Metoda s posedom je najbolj preprosta metoda za določanje konsistence tekočih in srednje ter mehko plastičnih svežih betonskih mešanic in je zasnovana na merjenju deformacije zgoščenega betonskega prisekanega stožca, ki se posede zaradi lastne teže. Rezultat preiskave je razlika med prvotno višino stožca v kalupu in višino stožca po posedu. Kovinski stožec višine 300mm ter zgornjega premera $\Phi 100\text{mm}$ in spodnjega premera $\Phi 200\text{mm}$ polnimo z zidarsko žlico. Vsakič napolnimo tretjino stožca. Nato vsako plast zgostimo s 25 udarci s standardno kovinsko palico, ki je na koncu zaobljena. Prvo plast prebadamo po celoti, medtem ko vsako nadaljnjo plast prebadamo samo do spodaj ležeče plasti. Po koncu zgostitve zadnje plasti presežek betona odstranimo in ga poravnamo z vrhom stožca. Nato počasi dvignemo stožec in ga postavimo ob betonski stožec. Standardno palico postavimo na vrh stožca tako, da seže nad betonski stožec in nato izmerimo razliko v višinah, ki je lahko minimalno 10mm.

Preglednica 6: Stopnje konsistence za metodo preskusa s posedom stožca po SIST EN 206-1

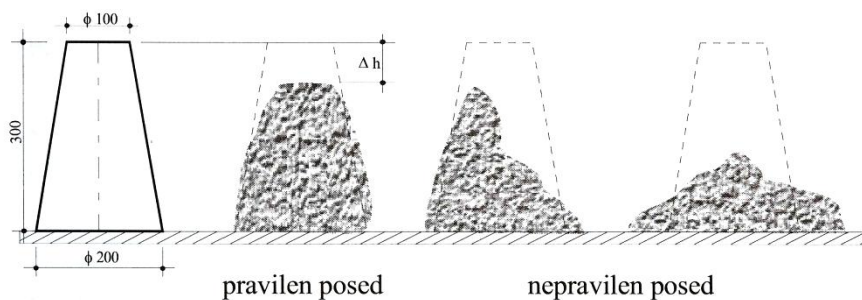
STOPNJA	POSED [mm]
S1	10 – 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5	≥ 220



Slika 9: Posed betonskega stožca.



Slika 10: Razlezna miza.



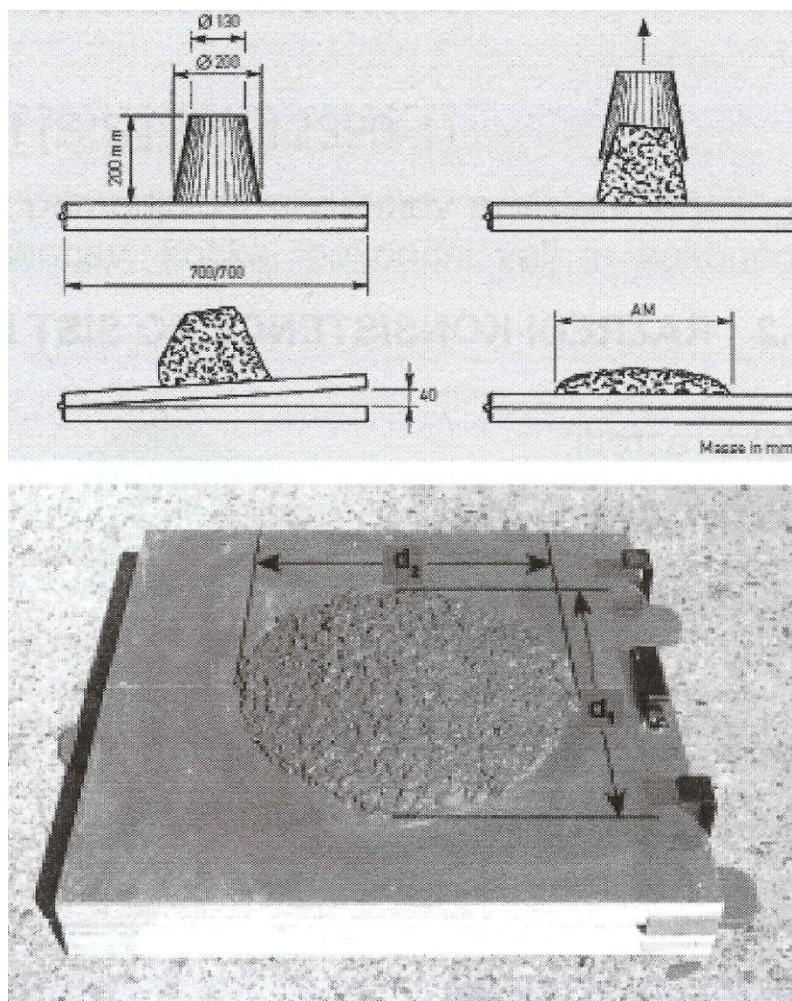
Slika 11 : Pravilen in nepravilen posed stožca. [R. Žarnić, 2005]

4.2 METODA Z RAZLEZOM; SIST EN 21350-5

Metoda z razlezom je zasnovana na merjenju deformacij zbitega betonskega konusa. Je enostavna metoda, ki se uporablja za plastične in tekoče mešanice. Na stresalno mizico postavimo kovinski konus višine 200mm in ga napolnimo v dveh približno enakih plasteh. Nato vsako plast posebej nabijemo z desetimi udarci z lesenim nabijačem prereza 40 x 40mm. Po nabijanju odstranimo presežek betona z vrha konusa s pomočjo zidarske žlice. Po 30-ih sekundah odstranimo kovinski konus. Stopimo na nožico spodnje plošče stresalne mizice, dvignemo zgornjo ploščo za 4cm in jo spustimo, da prosto pade. Postopek moramo ponoviti 15-krat. V tem času se betonska mešanica razleze po stresalni mizici in izmerimo dva medsebojno pravokotna premera razlezene betonske mešanice. Mera konsistence je povprečje dveh premerov razlezene betonske mešanice (d) zaokroženo na 10mm.

Preglednica 7: Stopnje konsistence v odvisnosti od razleza po standardu SIST EN 206-1.

STOPNJA	PREMER v (mm)
F1	≤ 340
F2	350 do 410
F3	420 do 480
F4	490 do 550
F5	560 do 620
F6	≥ 630



Slika 12: Postopek določanja konsistence betona z metodo z razlezom.

4.3 METODA Z ZGOŠČEVANJEM PRI VIBRIRANJU; SIST EN 12350-4

Metoda z zgoščevanjem daje dobre kvantitativne rezultate pri definiranju konsistence trdih in srednjeplastičnih mešanic. Stopnjo zgoščenosti določimo z razmerjem višin pred in po vibriranju v kovinskem kalupu standardnih dimenzij (20 x 20 x 40cm). Standardni kalup napolnimo s svežo betonsko mešanico do vrha. Ko napolnimo kalup z zidarsko žlico, odstranimo presežek betona ter poravnamo z zgornjo površino. Betonsko mešanico vibriramo ravno tako, kot pri vgrajevanju betona na gradbišču. Za vibriranje uporabimo vibracijsko iglo

ali vibracijsko mizo. Po končanem vibriranju izmerimo višino od površine zgoščenega betona do vrha kalupa v vseh štirih vogalih kalupa in izračunamo merodajno višino.

Indeks ali mera zgoščenosti C:

$$C = \frac{h_1}{h_2} = \frac{h_1}{h_1 - s}$$

kjer je;

h_1 ...notranja višina kalupa

h_2 ... višina zgoščenega betona

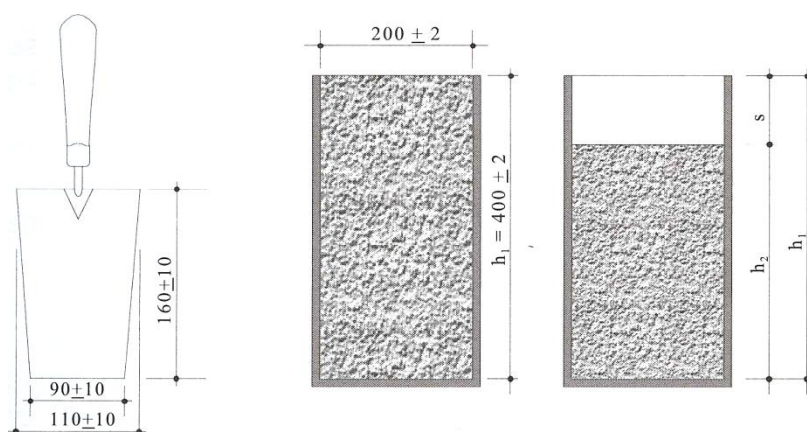
s ... povprečna oddaljenost površine zgoščenega betona od zgornjega roba kalupa

C... mera zgoščenosti

Po metodi zgoščevanja pri vibriranju je mera konsistence razmerje med začetno višino betona in višino betona po vibriranju.

Preglednica 8: Stopnje konsistence v odvisnosti od mere zgoščenosti po standardu SIST EN 206-1.

STOPNJA	MERA ZGOŠČENOSTI
C0	$\geq 1,46$
C1	1,45 do 1,26
C2	1,25 do 1,11
C3	1,10 do 1,04



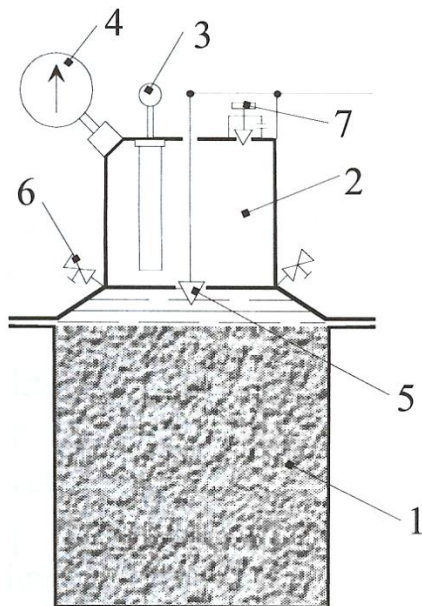
Slika 13: Kalup za zgoščevanje po SIST EN 12350-4.

4.4 DOLOČANJE VSEBNOSTI ZRAKA V SVEŽEM BETONU; SIST EN 12350-7

Vsebnost zraka v svežih betonskih mešanicah določimo po standardu SIST EN 12350-7. Naprava, s katero določimo vsebnost zraka v svežem betonu, se imenuje porozimeter. Porozimeter ima kapaciteto vsaj 5l in mora zdržati pritisk 0,2 MPa. Porozimeter mora določati delež zraka od 0% do 10%. Skala prikazovanja pa mora biti natančna minimalno na 0,1% v intervalu od 0% do 3%, 0,2% v intervalu od 3% do 6% ter 0,5% v intervalu od 6% do 10%.

Osnovno posodo porozimetra napolnimo s svežo betonsko mešanico. Napolnimo ga v treh slojih, pri tem se poslužujemo enakega postopka kot pri vgrajevanju svežega betona v kalupe. Beton lahko zgostimo z vibracijsko iglo, vendar moramo paziti, da se igla ne dotika sten posode. Višek materiala odstranimo, tako da ostane površina betona gladka. Nalegajoče površine osnovne posode ter pokrova očistimo in posodo s pokrovom hermetično zapremo. Skozi odprtino v pokrovu vlivamo vodo toliko časa, da se zapolni ves prostor med površino betona in pokrovom (da iz nasprotne odprtine začne uhajati voda). Nato oba ventila zapremo, in z ročno črpalko vnesemo toliko zraka v predkomoro, da kazalec na manometru pokaže nič (takrat je zračni tlak v predkomori 98,066 kPa). V primeru, da je pritisk v predkomori previsok, odvečni zrak spustimo skozi izpustni ventil. Nato odpremo ventil med predkomoro in prostorom nad betonom, ki je zapolnjen z vodo, in na manometru odčitamo porozimetrijski

indeks. Hkrati nam porozimetrijski indeks predstavlja tudi delež zraka v odstotkih glede na celotno prostornino sveže betonske mešanice v betonu.



Slika 14: Shema Porozimetra



Slika 15: Porozimeter za beton

5 METODE PREISKAV STRJENEGA BETONA IN ZAHTEVE STANDARDA SIST EN 2006-1

5.1 TLAČNA TRDNOST; SIST EN 12390-3

Tlačna trdnost betona je definirana kot maksimalna izmerjena odpornost betona na osno tlačno obremenitev. Določamo jo na standardiziranih preizkušancih v obliki valjev ali kock. Preizkušanci naj bi bili pred preiskavo ves čas v vodi ali pa v okolju z najmanj 95% vlažnostjo in pri temperaturi 20 ± 3 °C. Na osnovi znanih dimenzij in ugotovljene porušne sile določimo tlačno trdnost preizkušanca.

V preglednici so podani razredi tlačne trdnosti za betone po standardu SIST EN 206-1:2003.

Preglednica 9: Razredi tlačne trdnosti za normalno težek in težak beton po standardu SIST EN 206-1

Trdnostni razredi	Minimalna karakteristična trdnost valja $f_{ck, cyl}$ (N/mm ²)	Minimalna karakteristična trdnost 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

Karakteristična tlačna trdnost betona je vrednost pod katero je za obravnavani beton je možno pričakovati največ predpisan odstotek vseh rezultatov preiskav tlačne trdnosti. Predpisan odstotek imenujemo fraktila, njegovo vrednost pa predpisuje ustrezen nacionalni ali mednarodni standard. Standard SIST EN 206-1 predpisuje 5% fraktilo.

Tlačna trdnost betona je podana z enačbo:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

kjer je:

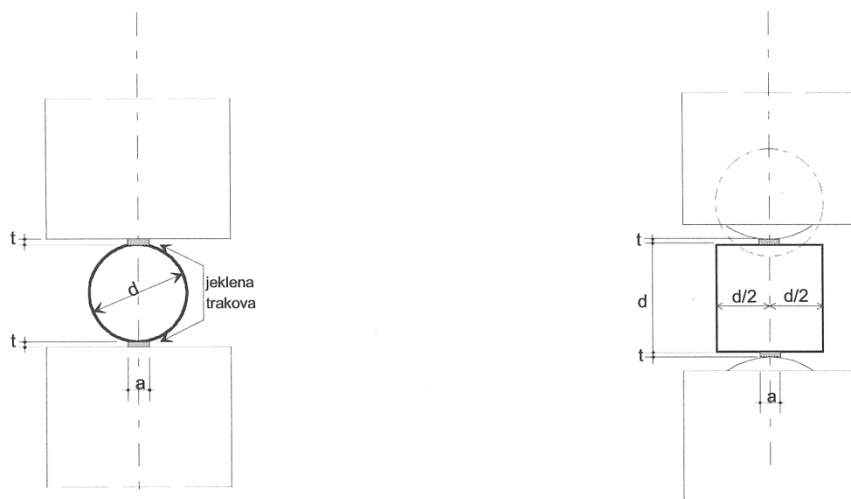
- f_c tlačna trdnost v [N/mm²],
- F maksimalna porušna sila [N],
- A_c površina vodoravnega prereza preizkušanca [mm].

5.2 RAZRED TLAČNE TRDNOSTI BETONA

Razred tlačne trdnosti betona je normirana tlačna trdnost betona izražena v [MPa], ki izhaja iz karakteristične tlačne trdnosti pri starosti betona 28 dni. Ponavadi se za nearmirane konstrukcije uporabljajo betoni tlačnih trdnosti, ki so manjše od 15 MPa, za armiranobetonske konstrukcije pa se uporabljajo betoni višjih tlačnih trdnosti (večje od 15 MPa). Običajno so to betoni, ki imajo tlačne trdnosti od 25 do 35 MPa.

5.3 RAZCEPNA NATEZNA TRDNOST; SIST EN 12390-6

Razcepna natezna trdnost (cepilna natezna trdnost) je pomembna pri oceni obremenitve, pri kateri nastanejo razpoke v betonu. Postopek določanja razcepne natezne trdnosti betona je opisan v standardu SIST EN 12390-6. Preizkuša se z zvezno linearno obremenitvijo po sredini nasprotnih ploskev kocke ali po tvorilkah valjastih prizkušancev. Njena velikost znaša približno 7% tlačne trdnosti betona ugotovljene s preizkusom kock, oz. 10% tlačne trdnosti betona ugotovljene s preizkusom valja. Rezultat merjenj razcepne natezne trdnosti betona je odvisen od oblike in dimenzije prizkušanca. Betonske kocke in prizme cepimo s pomočjo ukrivljenih jeklenih plošč, medtem ko valjaste prizkušance cepimo z ravnimi ploščami.



Slika 16: Shematski prikaz cepljenja valja in kocke

Cepilna natezna trdnost je podana z enačbo:

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

kjer je:

- f_{ct} cepilna natezna trdnost [MPa],
- F največja sila [N],
- L dolžina raznosa sile [mm],
- d nazivna dimenzija prečnega prereza [mm].

5.4 GLOBINA PRODORA VODE POD PRITISKOM; SIST EN 12390-8

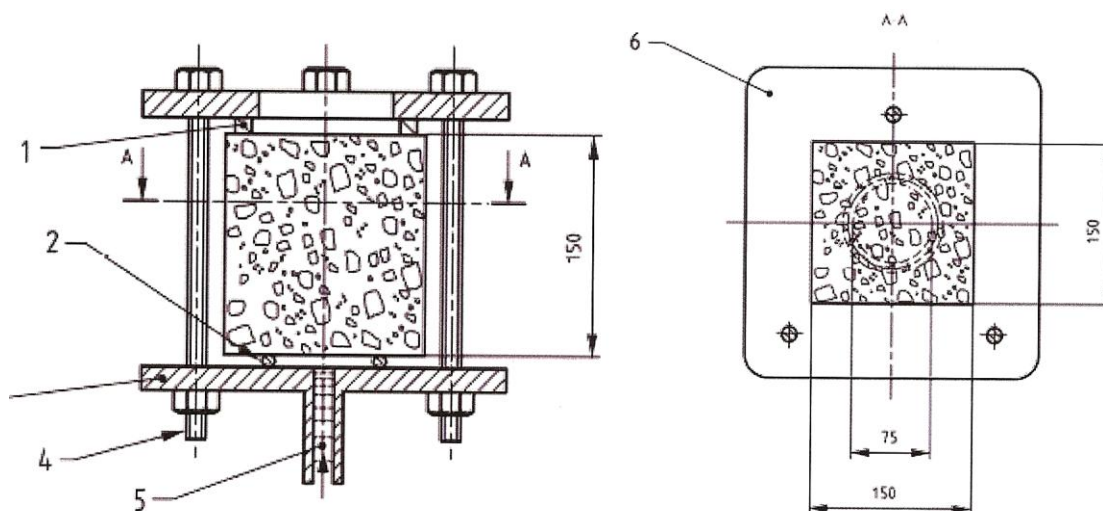
Takšen preizkus opravljamo, kadar nas zanima odpornost betona proti prodoru vode, ki se uporablja za konstrukcije, na katere lahko deluje podzemna voda ali druge tekočine. Največji problem lahko nastane pri konstrukcijah kot so: inženirske pregrade, vodotesne betonske konstrukcije, odlagališča radioaktivnih odpadkov, skladišča plinov, idr., kjer prehitel prodor tekočine s škodljivimi snovmi lahko negativno vpliva na okolico in sam objekt.

Standard SIST EN 12390-8 predpisuje, da se odpornost betona proti prodoru vode določa pri starosti betona najmanj 28 dni in največ 35 dni, na treh preizkušancih izdelanih iz svežega ali strjenega betona (izvrtani valji) iste vrste in enake starosti.

***Preglednica 10:** Dovoljene vrednosti prodora vode po standardu SIST EN 206-1 pri starosti betona najmanj 28 dni*

Stopnja odpornosti proti prodoru vode	Največji dovoljeni prodor vode (mm)	Največji dovoljeni odklon (mm)
PV-I	50	+15
PV-II	30	+10
PV-III	20	+5

Preizkus poteka tako, da voda pod konstantnim pritiskom deluje oziroma prodira v strjen beton. Preizkušane določenih dimenzij postavimo na napravo tako, da lahko voda pod zahtevanim pritiskom deluje na površino preizkušanca in da je pritisk nanj konstanten. Preizkušanci so lahko betonske kocke, valji ali prizme, pri katerih najmanjša dimenzija površine, ki bo izpostavljena vodi pod pritiskom, ne sme biti manjša od 150mm, preostali dve dimenziji pa ne smeta biti manjši od 100mm. Takoj po razkalupljanju preizkušancev moramo površino, ki bo izpostavljena vodi pod pritiskom, obrusiti z brusnim papirjem, zato da odstranimo cementno mleko s površine. Preizkušance sicer negujemo v skladu s standardom SIST EN 12390-2.

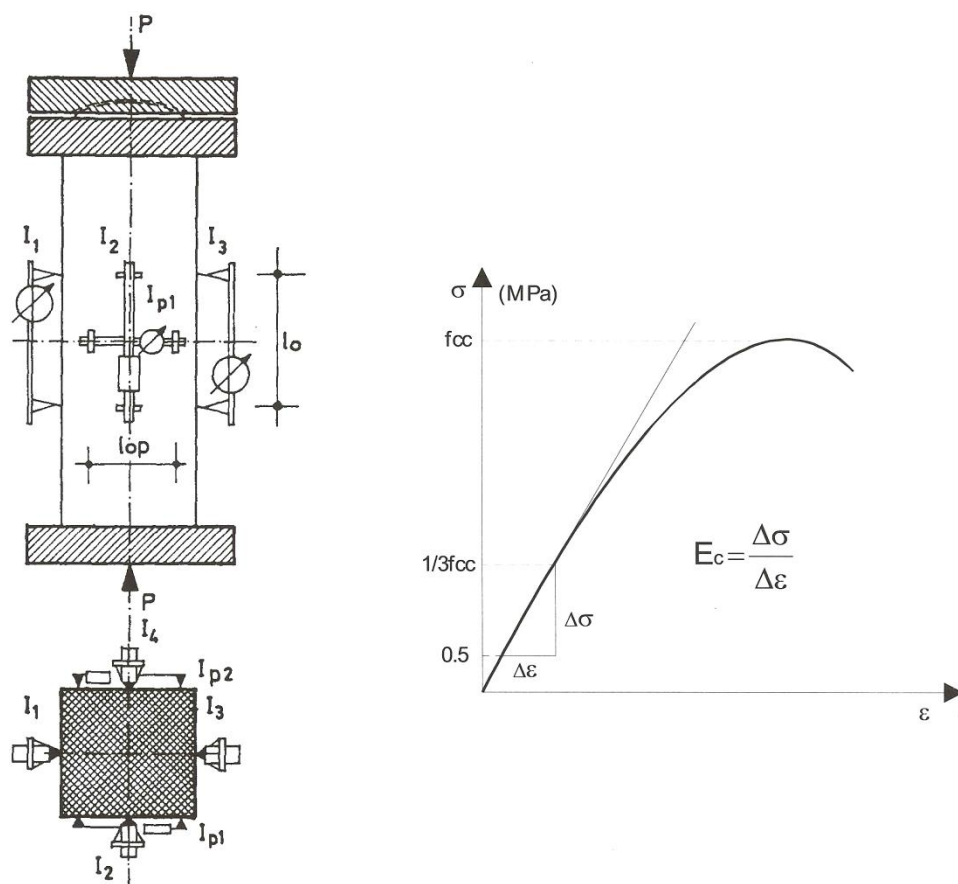


Slika 17: Shema naprave za preskus vodotesnosti po SIST EN 12390-8.

Ko preizkušanec namestimo v napravo, dovedemo vodo nanj pod tlakom 500 ± 50 kPa za časovno obdobje 72 ± 2 uri. Med preiskavo izvajamo stalne vizualne preglede v primeru, če tesnilo prepušča vodo in če je preizkušanec pravilno nameščen. Vse morebitne napake med preiskavo zabeležimo ter jih tudi smiselno upoštevamo pri obdelavi podatkov. Po končani preiskavi preizkušanec odstranimo iz naprave, ga razcepimo pravokotno na površino, ki je bila izpostavljena vodi in odčitamo maksimalno globino vode v preizkušancu v mm.

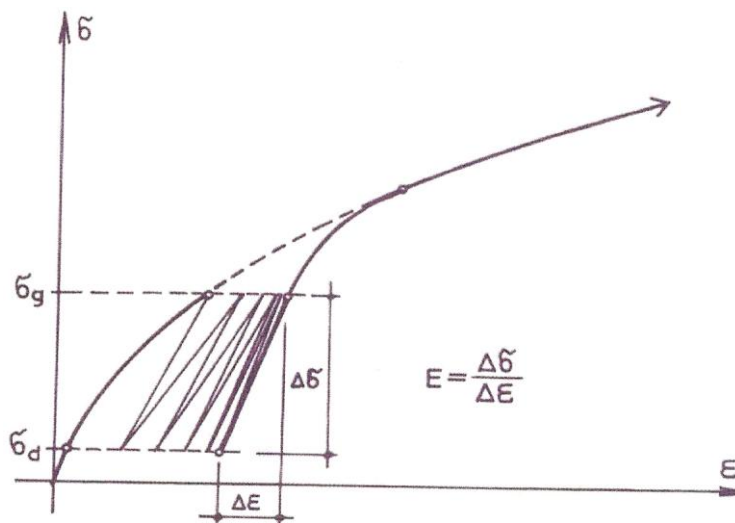
5.5 MODUL ELASTIČNOSTI; JUS U.M1.025

Modul elastičnosti betona določamo s preiskavami na betonskih prizmah dimenzije 400/100/100 mm ali valjih dimenzije $h = 300$ mm, $d = 100-150$ mm. Vzorci morajo biti stari 28 dni in negovani v vodi ali pa v prostoru s 95 % relativno vlažnostjo. Pomembno je tudi to, da mora biti dimenzija krajše stranice minimalno štirikrat večja od največjega zrna agregata v betonu. Na preizkušancih potrebujemo dve merilni mesti za prečne deformacije in dve merilni mesti za vzdolžne deformacije. Za preizkušanje potrebujemo 6 preizkušancev in sicer 3 za preizkus tlačne trdnosti in 3 za ciklično obremenjevanje.



Slika 18: Določanje statičnega modula elastičnosti

Pri preiskavah modula elastičnosti uporabljamo postopek večkratnega tlačnega obremenjevanja in razbremenjevanja preizkušancev. Začnemo z obremenjevanjem pri majhni vrednosti σ_d (0,5 MPa), nadaljujemo s postopnim obremenjevanjem s hitrostjo $0,6 \pm 0,4$ MPa/s do σ_g ($1/3 f_{cc}$) in nato razbremenimo do σ_d . Cikle ponavljamo, dokler se krivulji dveh zaporednih ciklov ne prekrijeta. Ponavadi zadostuje pet ciklov obremenjevanja in razbremenjevanja, pri šestem ciklu pa se preizkušanec obremeni do porušitve.



Slika 19: Grafični prikaz cikličnega obremenjevanja in razbremenjevanja

Elastični modul je določen z enačbo:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$$

kjer je:

- E modul elastičnosti [MPa],
- $\Delta\sigma$ razlika napetosti σ_g - σ_d [MPa],
- $\Delta\epsilon$ razlika pripadajočih deformacij [‰].

6 LASTNE PREISKAVE

6.1 UVOD

V eksperimentalnem delu naloge smo opravili preiskave lastnosti betonov, izdelanih iz drobljenega apnenčevega agregata in cementa CEM II / A-M (LL-S) 42,5 R v svežem in strjenem stanju. Osnovni namen preiskav je bil ugotoviti vpliv različnih parametrov in napak v strukturi betona na njegovo odpornost proti prodoru vode. Vplivni parametri, ki smo jih študirali so bili: prisotnost gnezd (ponovitev preiskav v okviru diplomskega dela Kuzmanović S.), vplivi nizkih in visokih temperatur okolja, vpliv velikosti razpok, vpliv zračnih žepov (ponovitev preiskav v okviru diplomskega dela Kuzmanović S.). Na koncu smo opravili primerjavo z rezultati preiskav na betonu iz savskega proda in cementa CEM I 42,5 R. Eksperimentalne preiskave so potekale v Konstrukcijsko – prometnem laboratoriju Fakultete za gradbeništvo in geodezijo.

V okviru preiskav smo preizkušali lastnosti sveže betonske mešanice po standardih skupine SIST EN 12350. Konsistenco betona smo določali s preizkusi poseda, razleza, razleza s posedom (nestandardna metoda) in stopnje zgoščenosti. Za zahtevne inženirske objekte se uporabljajo lahkogradljivi betoni, zato so betonske mešanice morale izpolniti zahtevo za tekočo konsistenco po DIN klasifikaciji. Nadaljnje preiskave so potekale na strjenih betonih. Preiskave so obsegale tlačno trdnost preizkušancev, cepilno natezno trdnost preizkušancev in preizkušanje vodotesnosti. Pri preizkušanju tlačne trdnosti betonov smo primerjali vpliv temperature nege (nizke in povišane temperature). Nadaljevali smo s preizkušanjem cepilne natezne trdnosti betonov. Ti preizkusi so bili najbolj obsežni, saj smo z njihovo pomočjo določali globino prodora vode v beton. Nadaljevali smo še z ugotavljanjem vpliva napak v betonih in šibkih mest v strukturi betona na odpornost betona proti prodoru vode.

Odpornost proti prodoru vode nas zanima pri gradnji objektov, kjer je prisotna podzemna voda ali tam, kjer hranimo več različnih tekočin v sosednjih prekatih. Največji problem nam predstavlja prodor vode skozi ali v konstrukcijo pri inženirskih pregradah, vodotesnih betonskih konstrukcijah, čistilnih napravah, odlagališčih jedrskih odpadkov ali tam, kjer

pronicanje vode čez konstrukcijo negativno vpliva na okolico oziroma na sam objekt. Pri tovrstnih objektih je vodotesnost betona zelo pomemben parameter za obstojnost in uporabnost objekta.

6.2 OSNOVNI MATERIALI

6.2.1 AGREGAT

Za izdelavo betonskih mešanic sem uporabil drobljen apnenčev agregat, ki spada med najkvalitetnejše agregate v Sloveniji. Njegove lastnosti so podane v preglednici 11.

Preglednica 11: Lastnosti uporabljenega drobljenega apnenčevega agregata.

Frakcija	Prostorninska masa zrn [kg/m ³]	Prostorninska masa agregata v zbitem stanju [kg/m ³]	Vodovpojnost zrn [%]
Drobnozrnat apnenčast agregat frakcije 0/2	2703	1840	1,1
Drobnozrnat apnenčast agregat frakcije 0/4	2714	1815	1,3
Grobozrnat apnenčast agregat frakcije 4/8	2716	1485	0,4
Grobozrnat apnenčast agregat frakcije 8/16	2710	1510	0,3

Zrnavostna sestava naših mešanic se skozi celotne laboratorijske preiskave ni spreminjala in je bila takšna, kot je navedeno v preglednici 12.

Preglednica 12: Izbrana zrnavostna sestava drobljenega apnenčevega agregata (Laže)

Frakcije	Delež [%]
0/2	25
0/4	25
4/8	15
8/16	35

6.2.2 VODA

Za betonske mešanice sem uporabil vodo iz ljubljanskega vodovodnega omrežja.

6.2.3 CEMENT

Uporabili smo cement CEM II/A-M (LL-S) 42,5R. To je portlandski mešani cement z dvema mineralnima dodatkom. Oznaka dodatka (LL) pomeni, da je v cementu apnenec, oznaka (S) pa pomeni žlindro. Cement je trdnostnega razreda 42,5 z visoko zgodnjo trdnostjo, kar označuje oznaka R. Prostorninska masa cementa brez por in votlin je $\gamma_c = 3,01 \text{ g/cm}^3$, specifična površina cementa po Blainu pa je $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$. Namenjen je za najzahtevnejše konstrukcije, pri katerih se zahtevajo visoke začetne trdnosti.

Cement CEM II/A-M (LL-S) 42,5R je sestavljen iz:

- minimalno 80% portland cementnega klinkerja,
- 6-20% mešanega dodatka (apnenec, žindra),
- do 5% manj pomembnih sestavin, kamor spada tudi regulator vezenja (sadra),

Preglednica 13: Lastnosti CEM II/A-M (LL-S) 42,5 R v primerjavi z zahtevami SIST EN 197-1

Kemijske zahteve	Zahteve standarda	Dosežene vrednosti CEM II/A-M (LL-S) 42,5 R
Vsebina sulfata (kot SO ₃)	≤ 4,0%	2,7 %
Vsebnost klorida	≤ 0,1%	0,02 %
Mehanske in fizikalne zahteve	Zahteve standarda	Dosežene vrednosti CEM II/A-M (LL-S) 42,5 R
Zgodnja Trdnost, 2 dneva	≥ 20,0 MPa	27,5 MPa
Standardna trdnost, 28 dni	42,5 – 62,5 MPa	52 MPa
Čas začetka vezanja	≥ 60 min.	200 min.
Prostorninska obstojnost	≤ 10 mm	0,4 mm

6.2.4 KEMIJSKI DODATEK – SUPERPLASTIFIKATOR

Uporabili smo superplastifikator nove generacije švicarskega proizvajalca na modificirani polikarboksilatni bazi, ki se uporablja za pripravo transportnih betonov. Odlikujeta ga zelo visoka začetna in končna trdnost, odlično zgoščevanje betona ter visoka redukcija vode. Superplastifikator se adsorbira na cementne delce, zaradi svoje prostorske strukture polimerne molekule omrežijo cementne delce in preprečijo njihovo združevanje. Adsorpcija poteka postopno in dalj časa, zato je učinkovitost večja oz. čas obdelovalnosti betonov pripravljenih z uporabljenim superplastifikatorjem daljši kot pri običajnih superplastifikatorjih.

Gostota znaša 1,09 g/cm³, pH vrednost je 5,5±0,5, doziramo pa ga 0,2 -1,5% na maso cementa: odvisno od v/c razmerja in želene obdelovalnosti betona, vrste in količine cementa in vrste betona. Superplastifikator lahko dodajamo betonski mešanici razredčenega z zamesno vodo ali še bolje, koncentriranega v že pripravljeno svežo betonsko mešanico manjše

obdelavnosti. Optimalne rezultate dosežemo, če dodatek dodamo betonski mešanici potem, ko smo najprej dodali 50-70 % zamesne vode. Za optimalni izkoristek zmanjšanja potrebe po vodi se priporoča čas mokrega (ko dodamo vodo) mešanja eno minuto pri optimalnem mešanju. Končni učinek plastificiranja se doseže po 2 minutah mešanja, zato naknadno dodajanje vode lahko povzroči močno razmešanje betona.

Uporabljen superplastifikator pripomore k:

- daljšemu času obdelavnosti betona – tudi pri višjih temperaturah,
- prihranku energije,
- lažjemu in hitrejšemu vgrajevanju in črpanju betona,
- visokim zgodnjim in visokim končnim trdnostim,
- počasnejši karbonatizaciji.

6.3 SESTAVA BETONSKE MEŠANICE L2

Preiskave smo izvajali na betonu sestave, ki smo jo poimenovali L2.

Mešanica L2 je sestavljena iz drobljenega apnenčevega agregata, cementa CEM II/A-M (LL-S) 42,5 R, vode iz ljubljanskega vodovodnega omrežja in superplastifikatorja nove generacije švicarskega proizvajalca.

Sestavina betonske mešanice je podana v preglednici 14:

Preglednica 14: Sestava mešanice L2

Mešanica L2	1m ³ betona [kg]	Prostorninska masa [kg/m ³]	Volumen	43l betona [kg]
Cement	400	3010	0,13	17,20
Voda	160	1000	0,16	6,88
v/c	0,4			
Superplastifikator	6,616		Min	0,378 (2,2%)
Zrak	2,2%		2%	
Agregat	1854	2700	0,69	79,72

γ_{proj} [kg/m³]	2420		100%	
Frakcija 0/2 – 25%	464	2700	0,17	19,95
Frakcija 0/4 – 25%	463	2700	0,17	19,91
Frakcija 4/8 – 15%	278	2700	0,10	11,95
Frakcija 8/16 – 35%	649	2700	0,24	27,91

Vodocementno razmerje mešanice L2 je 0,4, prostorninska masa sveže betonske mešanice pa 2420 kg/m³.

Za mešanico L2 smo skupno zamešali 206 l betona v protitočnem laboratorijskem mešalniku, ki ima kapaciteto 50 l. Posamezna betonska mešanica je vsebovala 43 l betona. Najprej smo agregat in cement zmešali na suho, nato dodali polovico izračunane vode, nato pa še preostalo vodo s superplastifikatorjem. Čas mešanja je bil 120s. Po končanem mešanju smo začeli s preiskavami svežega betona in vgrajevanjem sveže betonske mešanice v kalupe.

V nadaljevanju so podani rezultati preiskav svežega in strjenega betona sestave L2. Rezultate smo primerjali z rezultati enakih preiskav na mešanici iz savskega proda in cementa CEM I 42,5 R sestave P1. Podatki o uporabljenih materialih in sestavi betonov z oznako P1 so podani v diplomski nalogi Gašperja Koželja.

6.4 PREISKAVE SVEŽIH BETONSKIH MEŠANIC

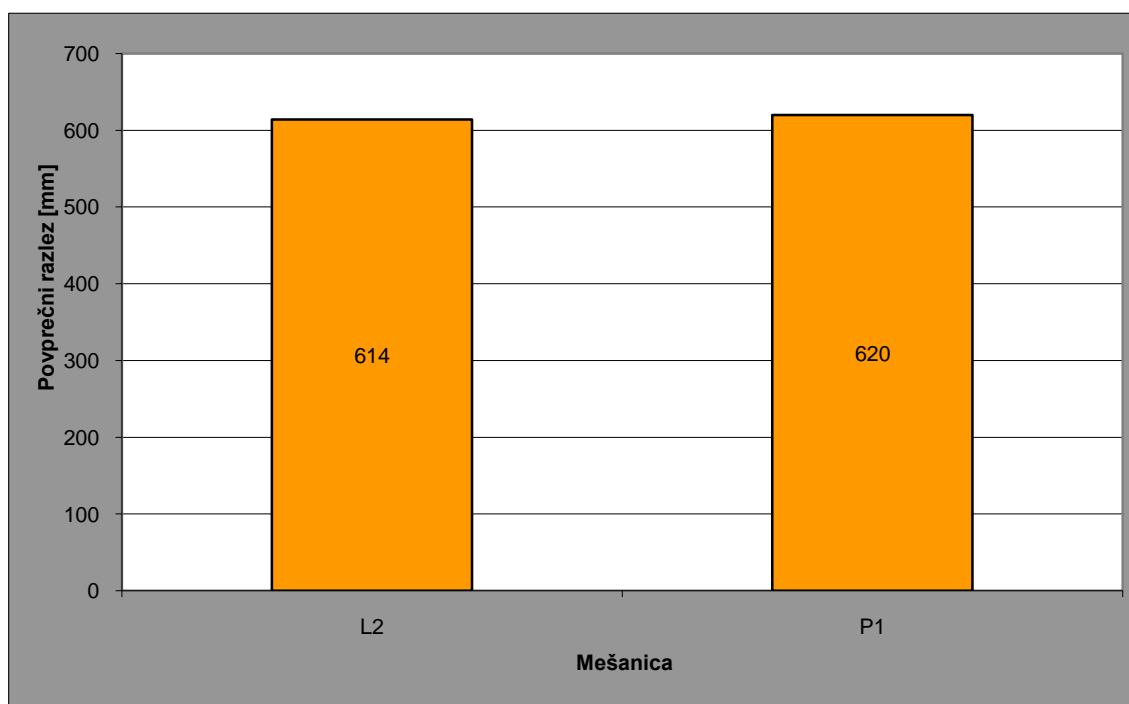
Preiskave na svežih mešanicah so temeljile predvsem na določevanju konsistence. Konsistenca je parameter, ki določa plastičnost betona. V splošnem velja, da naj bo beton take konsistence, da se ga lahko oblikuje z rokami. Konsistenco se določa s standardnimi metodami (standardi skupine SIST EN 12350) kot so metoda s posedom, metoda z razlezom in metoda z zgoščevanjem pri vibriranju., s katerimi ugotovimo stopnjo konsistence.

6.4.1 PRESKUS Z RAZLEZOM; SIST EN 12350-5

Konsistenca betona L2 mora biti tekoča ali tudi zelo tekoča, kar pomeni, da se po standardu SIST EN 206-1 giblje v stopnjah F5 in F6..

Preglednica 15: Prikaz povprečnega razleza betonskih mešanic L2 in P1.

MEŠANICA	DOSEŽEN POVPREČNI RAZLEZ (mm)	DOSEŽENA STOPNJA KONSISTENCE
L2	614	F5 (tekoča)
P1	620	F5 (tekoča)



Slika 20: Graf primerjave konsistence mešanic s preskusom razleza.

Mešanici L2 in P1 z enakim vodocementnim razmerjem imata enaki konsistenci. Obe spadata v razred konsistence F5 (tekoča konsistenca). Enaka stopnja konsistence obeh mešanic je bila dosežena z izbiro ustreznega deleža superplastifikatorja.

6.4.2 PREIZKUS POSEDA Z RAZLEZOM

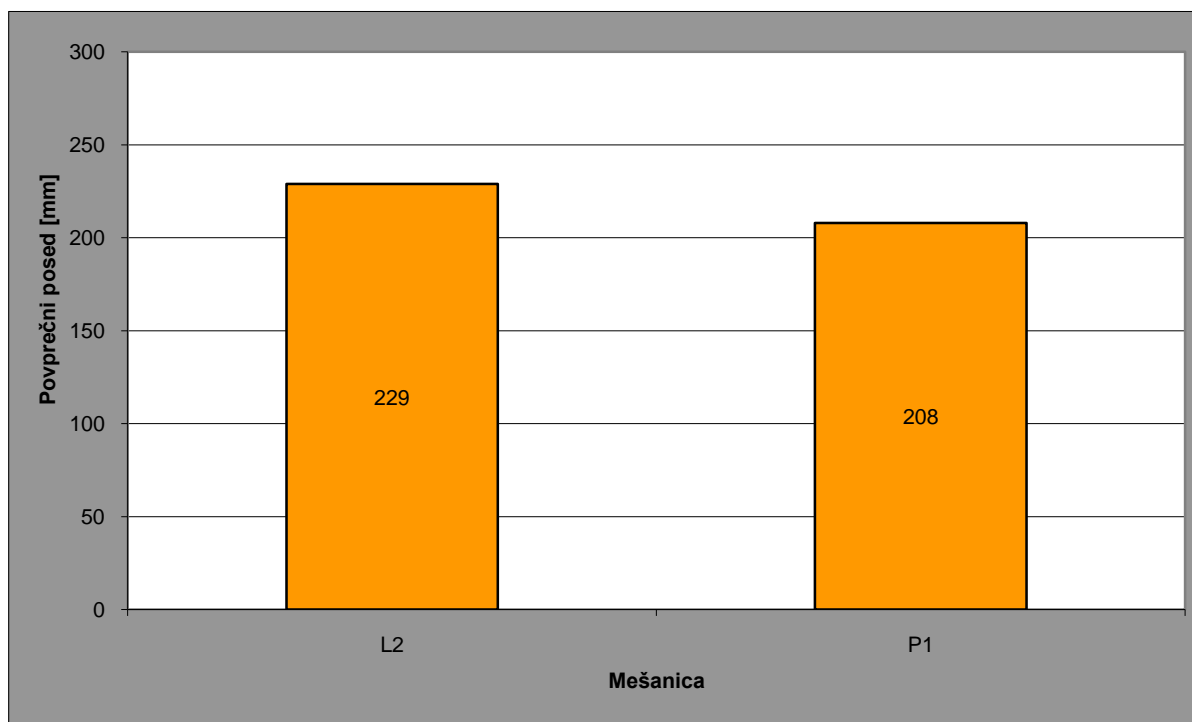
Preizkus je uporaben pri lahkovgradljivih betonih. Kriteriji za preizkus poseda z razlezom še niso točno določeni. V okviru naših preiskav smo najprej merili čas od dviga Abramsovega stožca do umiritve betonskega preizkušanca, nato pa smo izmerili posed betonskega stožca in njegov razlez.



Slika 21: Merjenje poseda na lahkovgradljivi betonski mešanici.

Preglednica 16: *Prikaz rezultatov poseda betonskih mešanic L2 in P1.*

MEŠANICA	DOSEŽEN POVPREČNI POSED (MM)
L2	229
P1	208

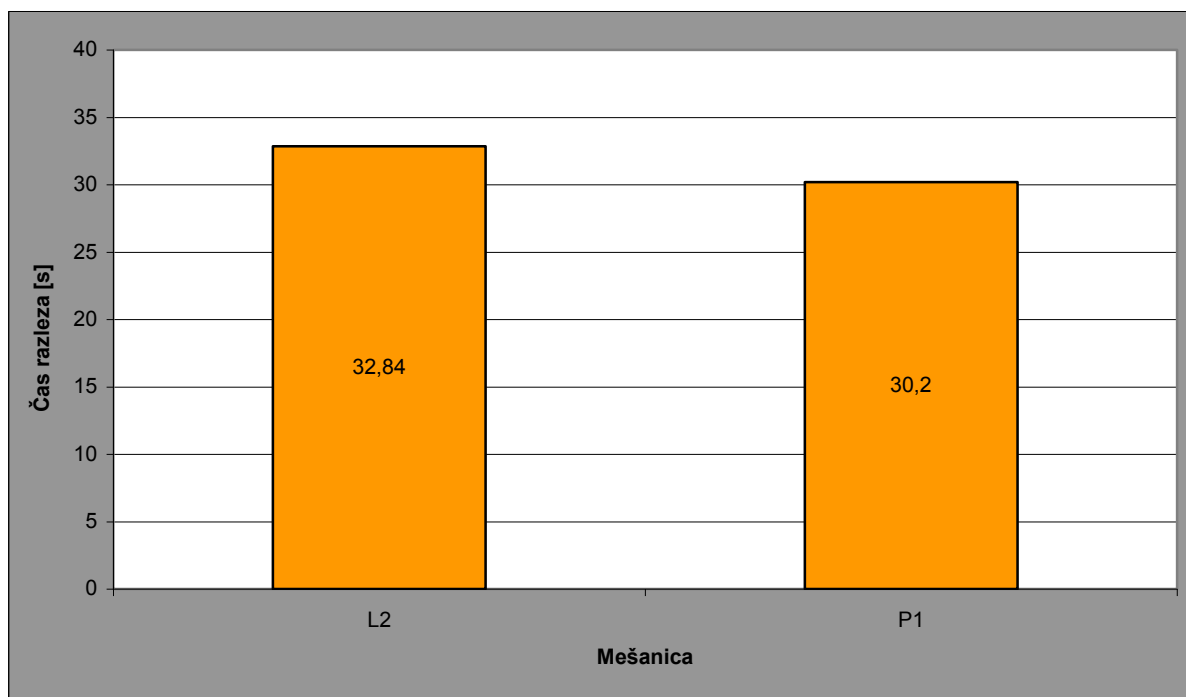


Slika 22: Graf primerjave konsistence mešanic s preizkusom poseda.

Zgornji graf prikazuje rezultate poseda za mešanici L2 in P1. Ker je posed večji (L2) ali enak (P1) posedu 210 mm, smo pri preizkusu poseda merili še čas do končnega razleza betonskega vzorca in razlez s posedom. Čas razleza je za sestavi L2 in P1 podan v preglednici 17, razlez s posedom pa na grafu 23 in preglednici 18.

Preglednica 17: Čas potreben za končen razlez betonskih mešanic

MEŠANICA	DOSEŽEN POVPREČNI ČAS (s)
L2	32,84
P1	30,20



Slika 23: Graf primerjave časa razleza mešanic s preizkusom razleza s posedom.

Preglednica 18: Prikaz rezultatov razleza betonskih mešanic s posedom

MEŠANICA	DOSEŽEN POVPREČNI RAZLEZ POSEDOM (mm) S
L2	557
P1	497

6.4.3 PREIZKUS VSEBNOSTI ZRAKA; SIST EN 12350-7

Vsaka betonska mešanica oziroma cementna pasta vsebuje določen delež zračnih por. Zračne pore v sveži betonski mešanici, katerih delež ocenjujemo s porozimetrom, so zajete zračne pore, ki jih z zgoščevanjem nismo izločili ali vnesene zračne pore, ki se oblikujejo zaradi dodatnega aeranta ali nekompatibilnosti uporabljenega superplastifikatorja in cementa ali agregata. Beton z večjim deležem zraka ima manjšo trdnost.



Slika 24: Porozimeter

V naših preiskavah smo najprej predpostavili poroznost betona (2%), da smo lahko določili njegovo sestavo. Na koncu smo dejansko poroznost svežega betona tudi izmerili.

Dobljeni rezultati so prikazani v preglednici 19.

Preglednica 19: *Povprečna poroznost betonov L2 in P1.*

MEŠANICA	PREDVIDENA POROZNOST (%)	DEJANSKA POVPREČNA POROZNOST (%)
L2	2	1,8
P1	2	1,7

6.4.4 POVZETEK REZULTATOV NA SVEŽIH MEŠANICAH

Primerjava rezultatov preiskav svežih betonov L2 in P1 pokaže, da pri enaki količini cementa in v/c razmerja ter primerljivem deležu superplastifikatorja dosega mešanica P1 nekoliko večji razlez, manjši posed, manjši čas do razleza s posedom in manjši razlez s posedom kot mešanica L2. delež zraka v obeh mešanicah je bil enak. Kljub temu so dobljene karakteristike betonov L2 in P1 dovolj blizu, da lahko izhajamo iz približno enake konsistence obeh betonskih mešanic. To pomeni, da imata oba betona poleg enake količine cementa in v/c

razmerja tudi primerljivo konsistenco, zato bodo rezultati preiskav na strjenih betonih direktno primerljivi.

6.5 PREISKAVE STRJENEGA BETONA

6.5.1 NEGA PREIZKUŠANCEV

6.5.1.1 NEGA ZA PREIZKUS TLAČNE TRDNOSTI

Preizkušance za preizkus tlačne trdnosti smo negovali na tri različne načine. Prvi sklop preizkušancev smo 28 dni izpostavili nizkim temperaturam (hranili smo jih pod stopniščem glavne stavbe FGG). Izmerjene temperature so se gibale okrog 0°C in povprečna relativna vlažnost je bila 70%. Drugi sklop preizkušancev smo za 28 dni dali v sušilnico na temperaturo 40°C, tretji sklop preizkušancev pa smo izpostavili 100% vlažnosti (voda) in temperaturi 20±2°C za 28 dni.

6.5.1.2 NEGA ZA PREIZKUS CEPILNE TRDNOSTI

Nega preizkušancev je potekala enako kot nega preizkušancev za tlačno trdnost. Preizkušance smo razdelili v tri sklope. Prvi sklop je bil izpostavljen nizkim temperaturam, drugi sklop visokim temperaturam, tretji pa visoki vlagi in temperaturi 20±2°C.

6.5.1.3 NEGA PREIZKUŠANCEV ZA PREIZKUS VODOTESNOSTI

Nega preizkušancev za preizkus vodotesnosti je potekala na identičen način kot nega preizkušancev za preizkus cepilne trdnosti, saj smo rezultate prodora vode lahko dobili le s cepilnim nateznim preizkusom.

6.5.2 TLAČNA TRDNOST BETONA

Tlačna trdnost betona je definirana kot maksimalna izmerjena odpornost betona na osno tlačno obremenitev. Za njeno klasifikacijo se uporabi karakteristična tlačna trdnost ($f_{c,k}$)

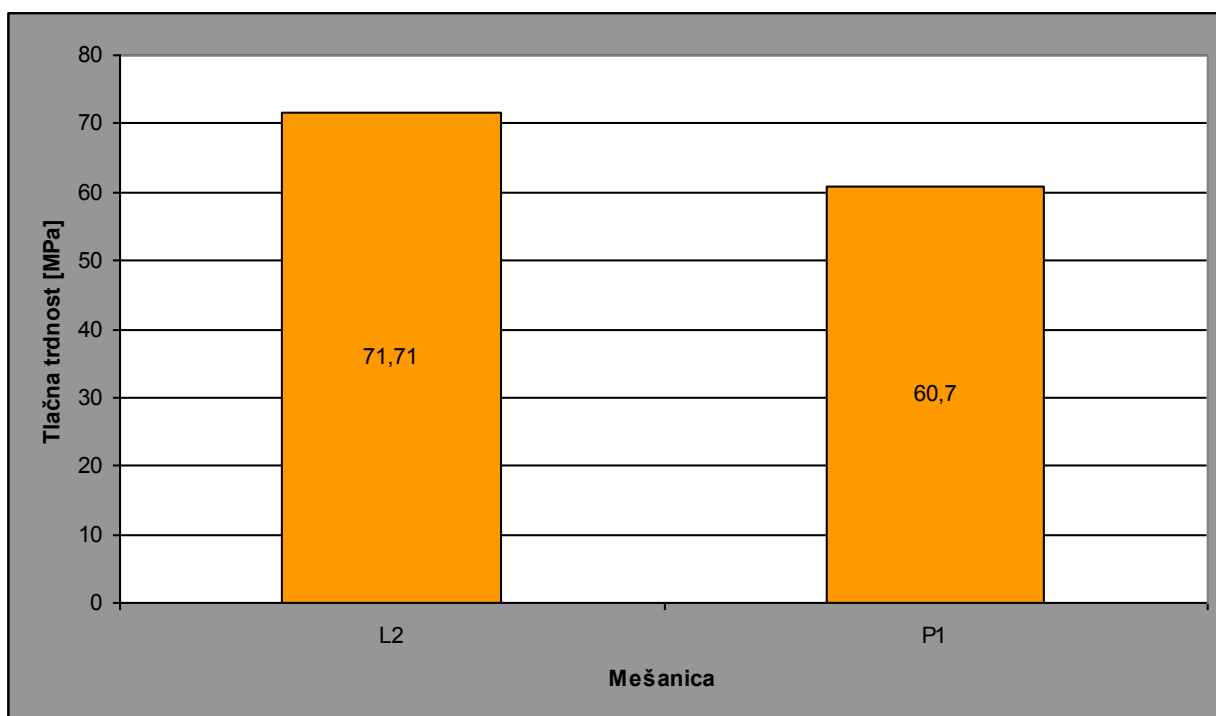
standardiziranih preizkušancev (kock) po 28 dneh. V naših preizkusih smo primerjali tlačno trdnost mešanic L2 in P1 v odvisnosti od različne nege (izpostavljanje kock nizkim in visokim temperaturam, visoka in nizka vlaga)



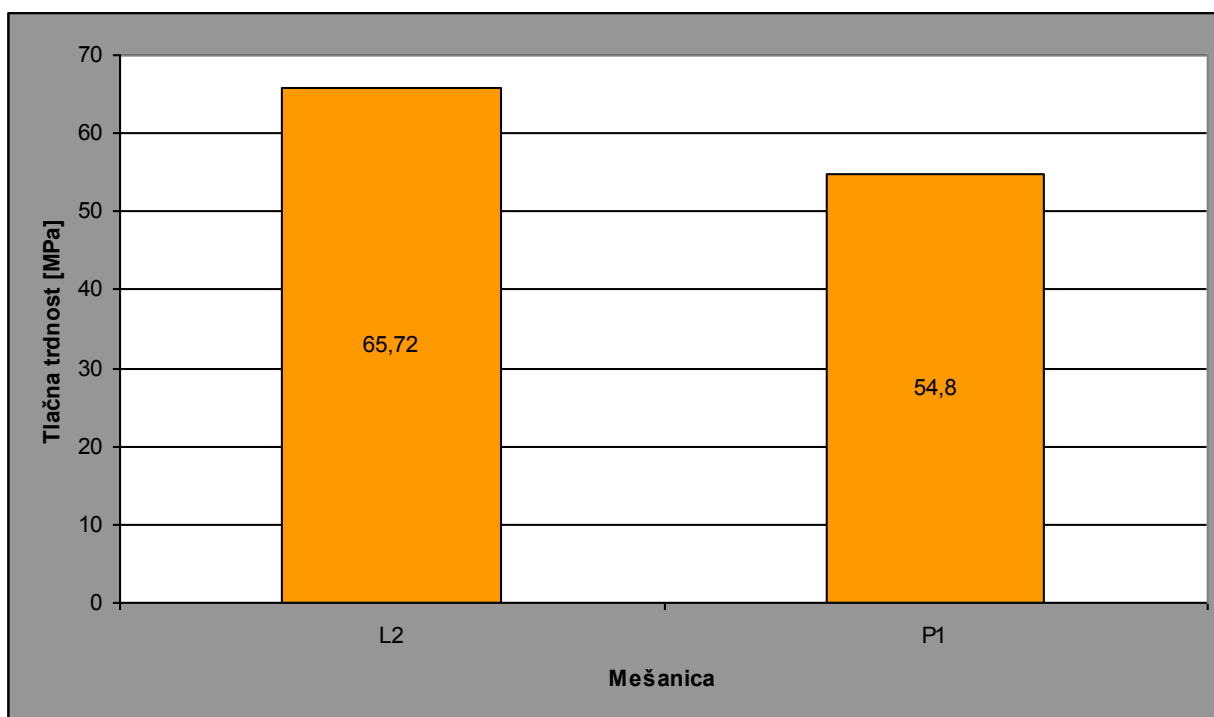
Slika 25: Preizkus tlačne trdnosti betona

6.5.2.1 PRIMERJAVA TLAČNIH TRDNOSTI MEŠANIC L2 IN P1

Rezultati preiskav tlačne trdnosti so prikazani v tabelah 26, 27 in 28.



Slika 26: Povprečna tlačna trdnost betonov pri starosti 28 dni (nizke temperature)

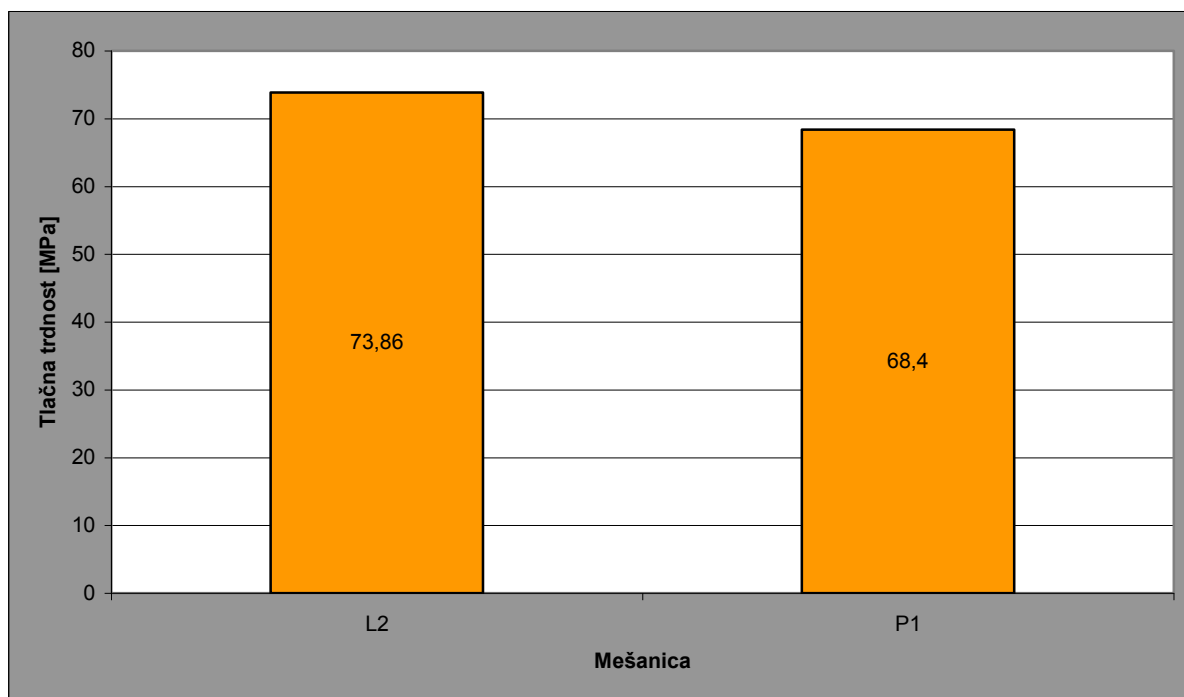


Slika 27: Povprečna tlačna trdnost betonov pri starosti 28 dni (sušilnica)

Rezultati preizkusa nam pokažejo, da imajo preizkušanci, ki so bili izpostavljeni nizkim temperaturam višje tlačne trdnosti, kot preizkušanci izpostavljeni temperaturi 40°C. Razlog za to je, kljub nižjim temperaturam, lahko višja relativna vlažnost in s tem boljše hidratacija, kot pa v sušilnici, kjer je temperatura višja in relativna vlažnost nižja. Poleg tega bi se lahko pri preizkušancih, ki so bili izpostavljeni temperaturi 40°C oblikovale mikrorazpoke v strukturi betona.

Naslednji preizkus vpliva nege je bil, da smo preizkušance 28 dni negovali v vodi.

Mešanice so bile pripravljene in vgrajene na enak način. V spodnjem diagramu so prikazani dobljeni rezultati:



Slika 28: Povprečna tlačna trdnost betonov pri starosti 28 dni (28 dni v vodi)

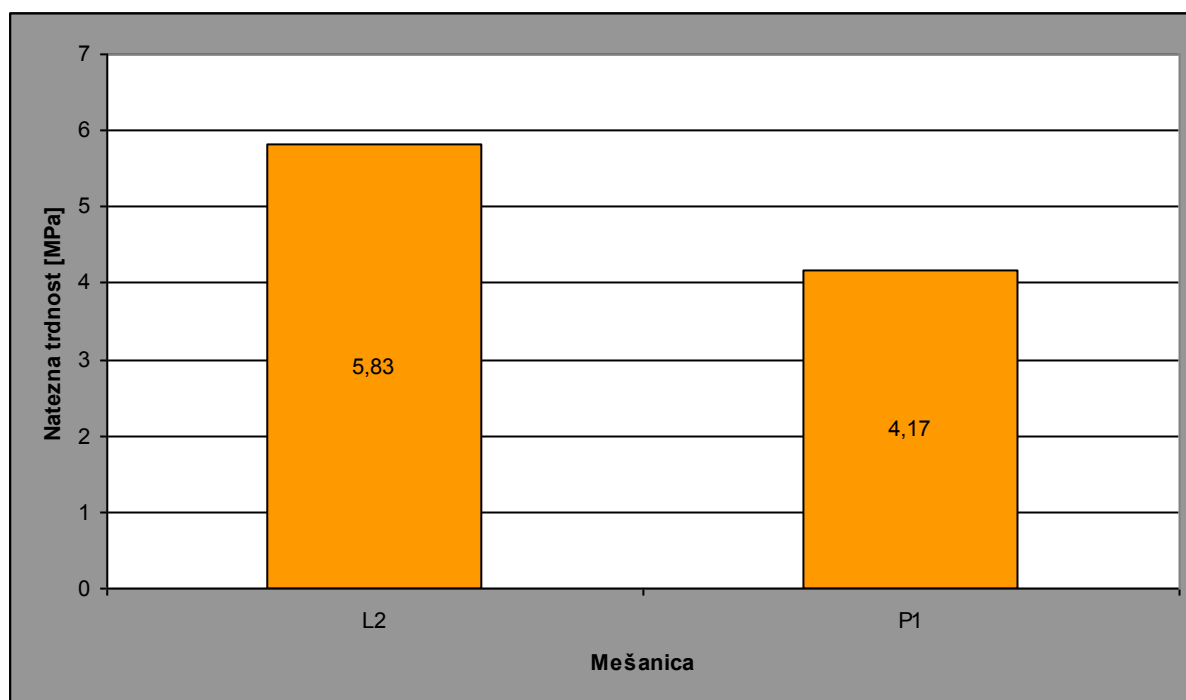
Če torej povzamemo rezultate so bile najvišje tlačne trdnosti dosežene pri 28 dnevni negi v vodi pri temperaturi $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, tlačne trdnosti pa so bile nekoliko nižje pri temperaturi okrog 0°C in visoki relativni vlagi, najnižje pa pri temperaturi 40°C in nizki relativni vlagi v prezračevanem sušilniku. V vseh primerih pa je bila tlačna trdnost večja na betonu sestave L2 kot na betonu sestave P1. V standardnih pogojih (100% relativne vlage in temperaturi $20\pm 2^{\circ}\text{C}$) je bila tlačna trdnost betona L2 v povprečju večja za 5 MPa, pri nizki in povišani temperaturi pa kar za 10 MPa. To pomeni, da je beton iz drobljenega apnenčevega agregata in cementa CEM II /A-M (LL-S) 42,5 R manj občutljiv na nizke in povišane temperature kot beton iz savskega proda in cementa CEM I 42,5 R, če nas zanima tlačna trdnost.

6.5.3 CEPILNA NATEZNA TRDNOST

V okviru naših preiskav smo največ preiskav naredili s cepilnim nateznim preizkusom, saj smo na ta način določevali dejanski prodor vode oziroma vodotesnost betona. S cepilnim nateznim preizkusom ocenimo natezno trdnost betona. Večina betonskih konstrukcij je dimenzionirana ob predpostavki, da beton lahko prevzame le tlačne napetosti, nateznih pa ne.

Nateznih napetosti v betonu pa ne smemo popolnoma zanemariti, saj je oblikovanje in širjenje razpok v betonu posledica lokalne prekoračitve natezne trdnosti materiala. Natezna trdnost betona se giblje okrog 10% tlačne trdnosti betona.

Spodnji diagram prikazuje primerjavo cepilnih nateznih trdnosti betonov L2 in P1 pri starosti betona 28 dni, potem, ko so preizkušanci 28 dni odležavali v okolju s 100% R.V. in $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$.



Slika 29: Povprečna cepilna natezna trdnost betona pri starosti 28 dni (100% R.V., $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$).

6.5.4 GLOBINA PRODORA VODE POD PRITISKOM; SIST EN 12390-8

Osrednji del preiskav je bil preizkus globine prodora vode pod pritiskom. Preizkus poteka tako, da voda pod pritiskom 5-ih barov prodira v strjen beton 72 ur. Preiskovali smo več različnih preizkušancev z različnimi karakteristikami (kocke, valji). Preizkušanec nato razcepimo z cepilno napravo in izmerimo globino prodora vode v preizkušancu.

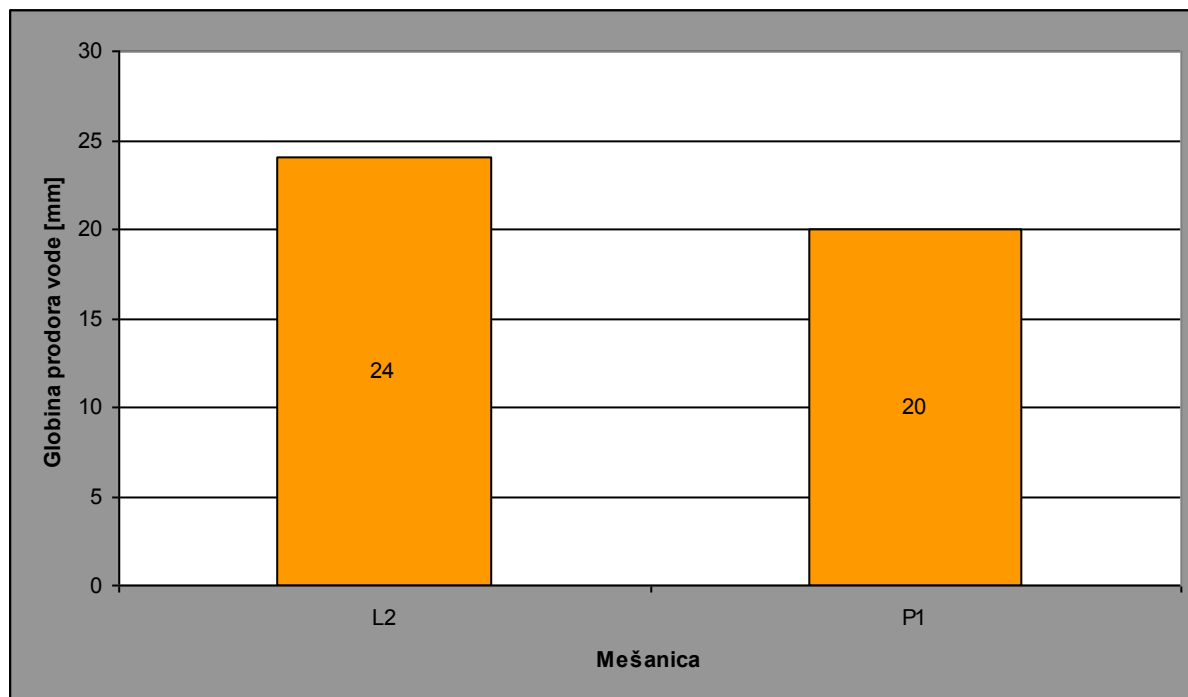
6.5.4.1 PRIMERJAVA VODOTESNOSTI PREIZKUŠANCEV PO SIST EN 12390-8

Namen preiskave je bil ugotoviti, katera betonska mešanica ima boljšo odpornost proti prodoru vode. Standard SIST EN 12390-8 pravi, da morajo biti preizkušanci standardnih dimenzij (150/150/150 mm) stari najmanj 28 do največ 35 dni. Nato jih pred preizkušanjem stehamo ter postavimo v napravo za določevanje vodotesnosti. Voda mora delovati oziroma prodirati v strjen beton pod pritiskom 5-ih barov skozi celotno trajanje preizkusa, to je 72 ur. Po 72-ih urah preizkus ustavimo. Preizkušance nato stehamo, da dobimo maso vode, ki jo je preizkušanec absorbiral. Preizkušance nato pripravimo na cepilni natezni preizkus, kjer jih razcepimo na dva enaka dela in z milimeterskim merilom odmerimo globino prodora vode.



Slika 30: Naprava za vodotesnost

Rezultati preizkusa na betonskih kockah iz betonov L2 in P1 so prikazani v diagramu 31.



Slika 31: Globina prodora vode v strjen beton L2 in P1.

Rezultati nam pokažejo, da je globina prodora vode v preizkušance pripravljene z mešanico L2 24 mm, to pomeni, da se uvrstijo v stopnjo PV-II oziroma ob upoštevanju največjega dovoljenega odklona tudi v stopnjo PV-III. Preizkušanci pripravljene iz mešanice P1 imajo povprečen prodor vode 20 mm, se pravi, da padejo v stopnjo PV-III. Za gradnjo najzahtevnejših inženirskih objektov, ki zahtevajo minimalen prodor vode v beton, se zato zdi sestava betona P1 primerljivejša od sestave betona L2.

Zgolj za informacijo podajam še količino absorbirane vode v preizkušancih za obe sestavi.

Rezultati so prikazani v spodnji tabeli:

Preglednica 20: Količina absorbirane vode preizkušancev mešanic L2 in P1

VODOTESNOST	L2	P1
KOLIČINA ABSORBIRANE VODE [g]	36,6	30

6.5.4.2 VPLIV ŠIBKIH MEST NA VODOTESNOST BETONA

V betonih pri njihovi vgradnji in kasnejši negi lahko pride do napak oziroma oblikovanja šibkih mest. Zanimalo nas je, kako te napake (gnezda, zračni žepi, hladni stiki, itd) vplivajo na prodor vode. Zato smo pri naših preiskavah namerno vgradil šibka mesta v strukturo betona. Pri preizkusu hladnih stikov smo zabetonirali dve sosedni plasti betona s časovnim zamikom enega dne.

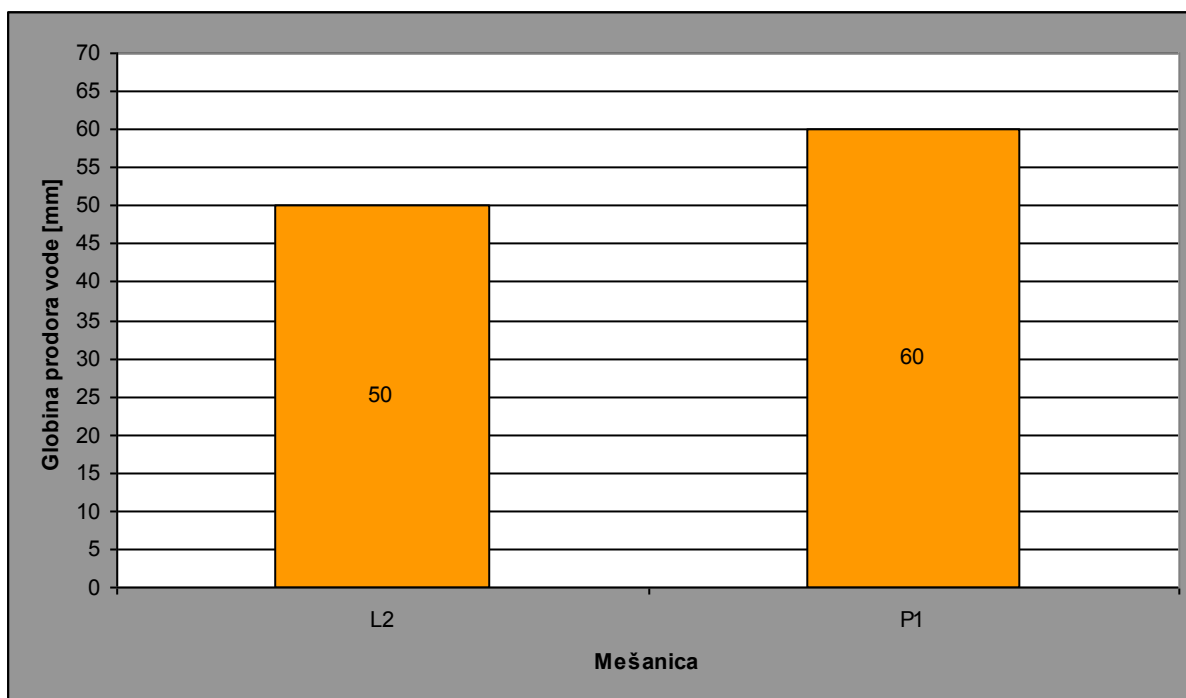
a.) Vpliv gnezd na vodotesnost betona

Pri vgradnji betonov se pogosto oblikujejo gnezda na posameznih mestih konstrukcije. Gnezda se pojavijo zaradi nepravilnega zgoščevanja. Posledica nepravilnega zgoščevanja je, da se agregatna zrna med vibriranjem nepravilno razporedijo po elementu, cementna malta pa ne zaliže votlin med največjimi zrnimi agregata. Zato se pojavijo gnezda, ki so sestavljena iz agregatnih zrn večjih frakcij, kar lahko na lastnost vodotesnosti betona vpliva izredno negativno.

Betonske preizkušance smo naredili tako, da smo v kalup postavili cev ter prostor okrog cevi zapolnili z svežo betonsko mešanico. Cev smo nato približno do $\frac{3}{4}$ zapolnili z grobozrnatim agregatom, ki smo ga izločili iz betonske mešanice, ostalo pa zapolnili z osnovnim betonom. Preizkušance smo negovali tako, da so 14 dni odležavali v vodi, 14 dni pa so se sušili v sušilnici pri konstantni temperaturi 60°C. Pri starosti 28 dni smo jih nato postavili v napravo za preizkušanje vodotesnosti. Voda pod pritiskom 5-ih barov deluje na preizkušane 72 ur. Po treh dneh preizkušance razcepimo z cepilnim nateznim preizkusom na dva približno enaka dela ter odmerimo globino prodora vode. Dobljene rezultate smo primerjali na preizkušancih iz mešanic L2 ter P1.



Slika 32: Prodor vode skozi preizkušane



Slika 33: Globina prodora vode v beton z vgrajenimi gnezdi

Iz zgornjega grafa je razvidno, da betona iz mešanic L2 in P1 po standardu SIST 1026:2008 spadata v stopnjo odpornosti proti prodoru vode PV-I. To pomeni, da ob upoštevanju prisotnosti gnezd v betonu, nobena izmed obeh mešanic ni primerna za gradnjo zahtevnih objektov. Če primerjamo grafikona št. 31 in 33, opazimo veliko razliko med vrednostmi globine prodora vode, zato moramo veliko pozornosti posvetiti pravilni vgradnji betona in usposobljenosti ljudi, ki opravljajo to delo.

b.) Vpliv hladnih stikov na vodotesnost betona

Velikokrat se nam zgodi, da pri gradnji betonskih objektov ni mogoče vsega betona vgraditi naenkrat, zato vgrajujemo postopoma, po slojih. Zato me je zanimalo, kako se beton na stiku dveh slojev odziva na preizkus vodotesnosti, saj voda pri delovanju na betonsko konstrukcijo največkrat prodre ravno na območju teh stikov.

Pri eksperimentalnem delu naših raziskav smo izdelali opaž za betonsko steno, v katerega smo vgrajevali beton. Beton smo vgrajevali tako, da smo najprej vgradili eno plast, nato z zamikom enega dne drugo in tako naprej. S tem smo ustvarili hladne stike, saj je bila prejšnja plast že strjena, ko smo vgradili naslednjo. Ko smo vgradili zadnjo, četrto plast, smo beton pustili v opažu 7 dni, nato pa smo steno razopazili in izvrtali valje s premerom 150mm. Valji so bili izvrtani na tak način, da je šel stik dveh slojev čez polovico valja. Valje smo nato negovali 14 dni v vodi in 14 v sušilnici s temperaturo 60°C. Nato smo valje vstavili v napravo za preizkušanje vodotesnosti .

Preizkušanci iz mešanice L2 so vzdržali pritisk vode 5-ih barov (prodor vode je bil 87 mm), preizkušanci iz mešanice P1 pa so se takoj po odprtju ventilov razcepili na dva dela v predelu stikov.



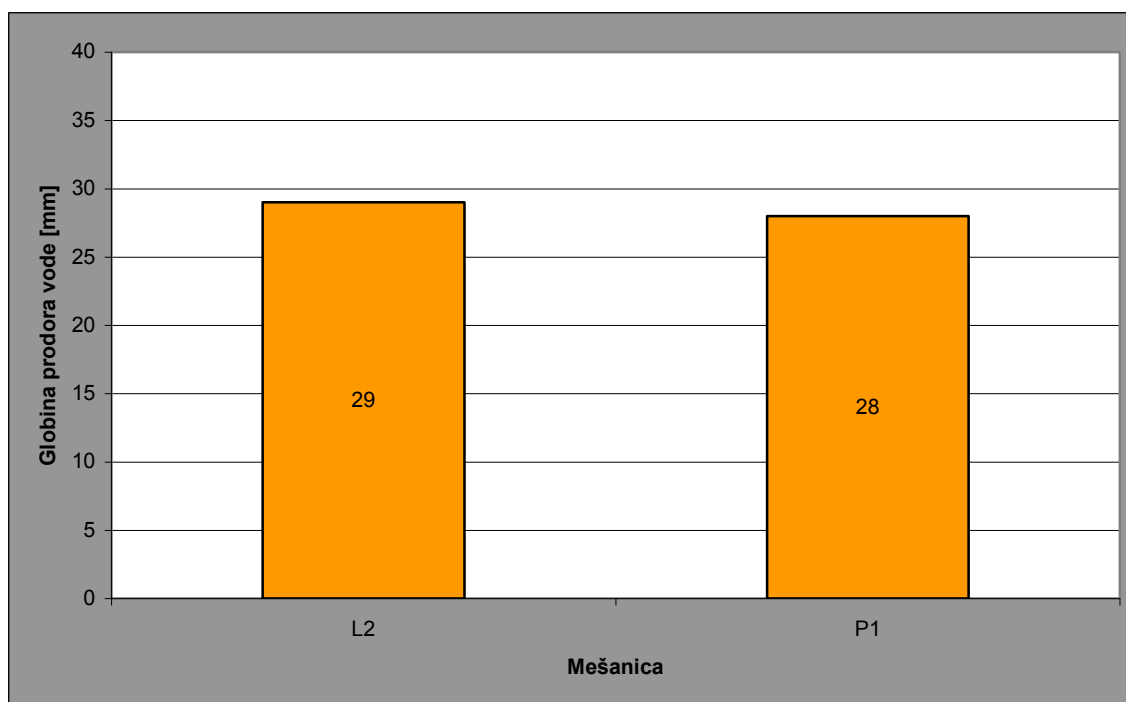
Slika 34: Hladni stik dveh plasti betona

Iz tega lahko sklepamo, da moramo pri gradnji betonskih objektov pozornost posvetiti stikom med že vgrajenim betonom in svežo betonski mešanico. Najbolje je, da je teh stikov čim manj oziroma jih sploh ni, saj so hladni stiki nekakšen šibek člen v konstrukciji. To še posebej velja za betone s prodnatim agregatom.

c.) vpliv povečane poroznosti (zračnih žepov) na vodotesnost betona

Zračne pore ponavadi nastanejo zaradi zajemanja zraka med mešanjem betonske mešanice v mešalcu in so praviloma, velike okrog 3mm, ter negativno vplivajo na trdnost betona. Z vibriranjem svežega betona se lahko te pore združujejo v večje zračne žepe. V okviru naših preiskav smo poskusili ne samo povečati poroznost betona, ampak smo hoteli še povečati že obstoječe pore v betonu in povzročiti njihovo združevanje. To smo dosegli tako, da smo med vgrajevanjem sveže betonske mešanice v kalupe mešanici pod pritiskom dovajali zrak.

Preizkušance smo nato 14 dni negovali v vodi in jih nato 14 dni sušili v sušilnici pri konstantni temperaturi 60°C. Po opravljeni negi smo jih vstavili v napravo za preizkušanje vodotesnosti. Po 72 urah smo jih razcepili na dva dela in odčitali globino prodora vode v preizkušancu. Dobljene rezultate smo primerjali med preizkušanci iz mešanic L2 in P1.



Slika 35: Globina prodora vode v beton z zračnimi žepi

Rezultati pokažejo, da bistvene razlike med obema uporabljenima betonoma ni. Po standardu SIST 1026:2008 obe betonski mešanici spadata v stopnjo PV-II in ne izpolnjujeta zahtev za betone zahtevnih objektov. Zato je potrebno posebno pozornost posvetiti betonom za zahtevne inženirske objekte, kjer prodor vode negativno vpliva na okolico ali na sam objekt, predvsem ustreznemu zgoščevanju betona, ki ne sme povzročati združevanja por.

d.) vpliv velikosti armature na velikost in lokacijo razpok

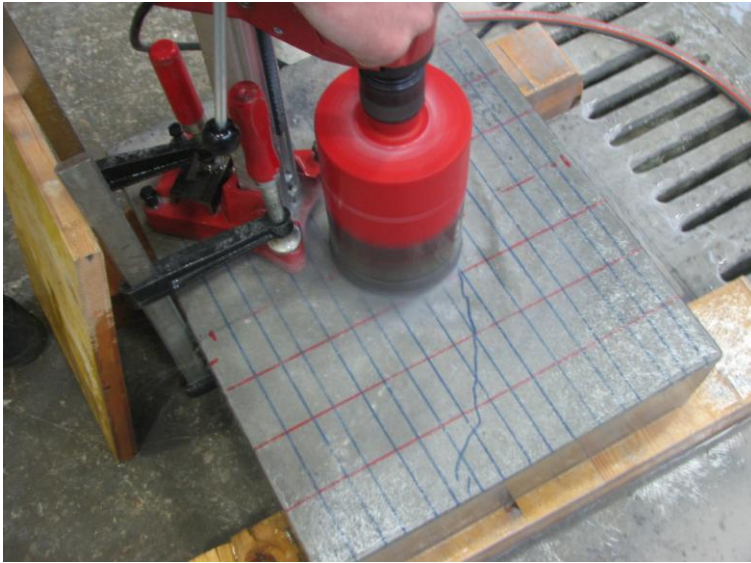
Beton ima pozitivno lastnost, da izredno dobro prenaša tlačne napetosti, po drugi strani pa slabo prenaša natezne napetosti. Zato pri gradnji betonskih konstrukcij poleg betona uporabljamo tudi armaturo, ki ima funkcijo prevzema nateznih napetosti. Potreben delež armature za zahtevano nosilnost lahko zagotovimo z izbiro večjega števila armaturnih palic manjšega prereza ali manjšega števila armaturnih palic večjega prereza. Zato smo v naših preiskavah naredili preizkus z uporabo armaturnih palic različnih prerezov pri enakem odstotku armiranja, ki smo jih vgradili v dve plošči dimenzij 600/350/100mm. Prva skupina palic je imela premer 8 mm, druga pa 20mm. Pri starosti betona v plošči 7 dni smo plošče iz betonske mešanice L2 obremenili s silo 100 kN, tako da so se začele pojavljati vidne razpoke. Višina razpok v plošči, ki je vsebovala armaturo premera 20 mm, je bila do polovice višine plošče, v plošči z armaturo premera 8 mm pa do tretjine višine plošče. Plošče iz betonske mešanice P1 pa smo obremenili s silo 70 kN. Razpoka v plošči s premerom armature 20 mm, je prav tako segala do polovice višine plošče, v plošči s premerom armature 8 mm pa vidnih razpok ni bilo (pojavile pa so se mikro razpoke). Nato smo iz vsake plošče izvrtali po dva valja na mestu upogibne obremenitve in jih sušili v sušilnici toliko časa, da so dosegli konstantno maso.



Slika 36: Opaž za betonsko ploščo z armaturo premera 8mm

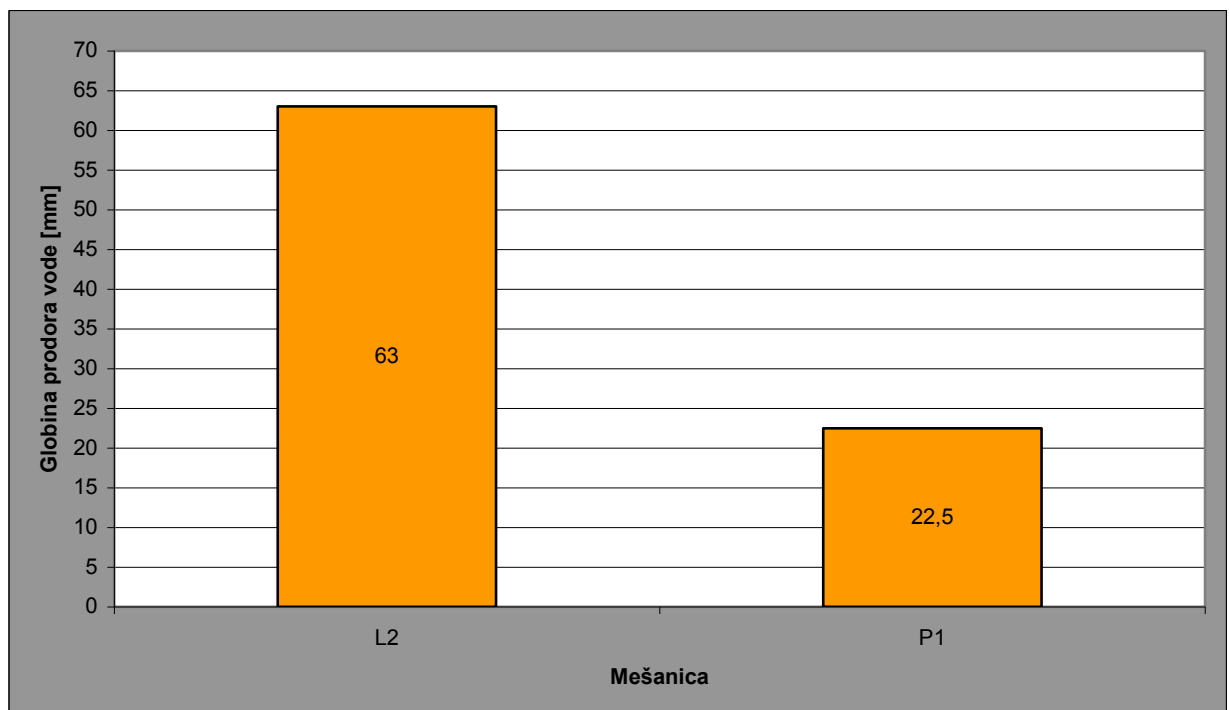


Slika 37: Opaž za betonsko ploščo z armaturo premera 20 mm

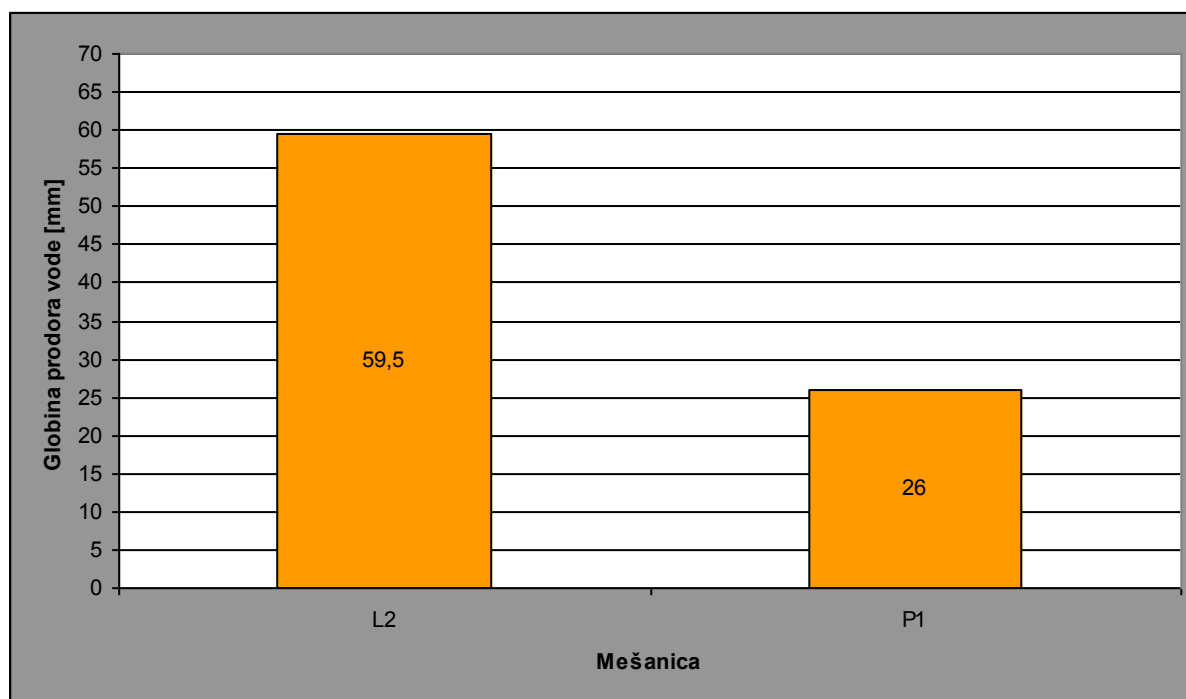


Slika 38: Vrtanje valjev

Nato sem jih vstavil v napravo za določanje vodotesnosti. Po 72-ih urah sem jih z cepilnim nateznim preizkusom razcepil na dva dela in odčital globino prodora vode v preizkušaneec.



Slika 39: Globina prodora vode v beton z vgrajeno armaturo premera 8 mm



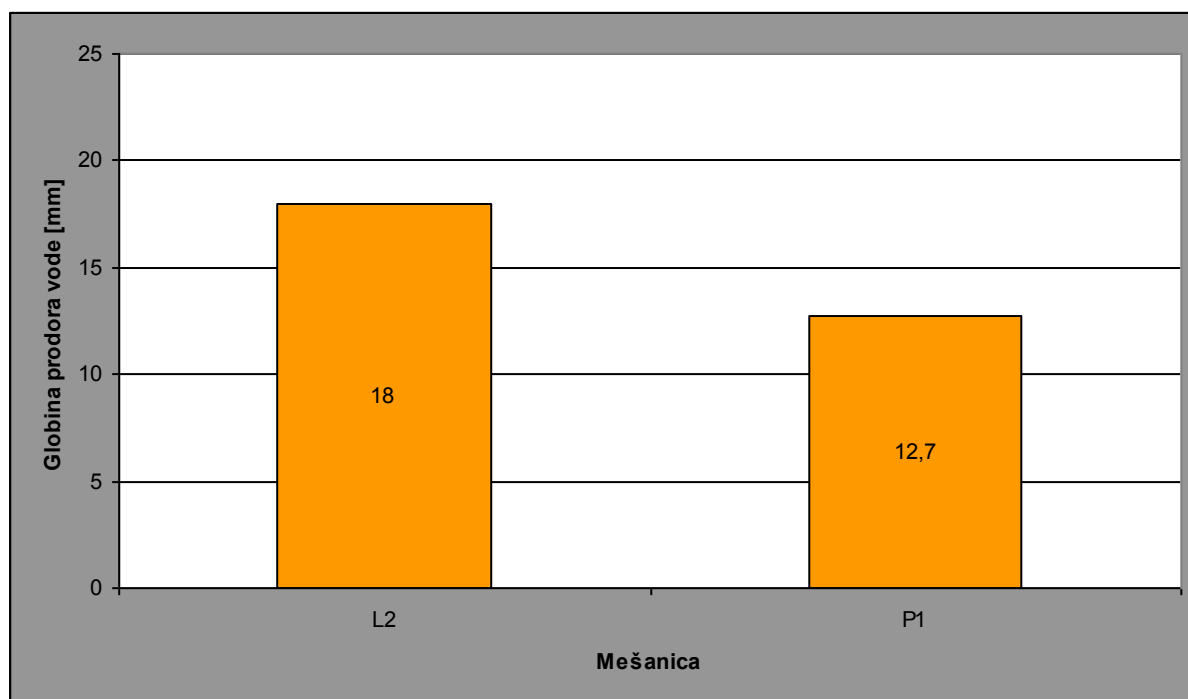
Slika 40: Globina prodora vode v beton z vgrajeno armaturo premera 20 mm

Kot je razvidno iz zgornjih dveh grafikonov, je voda bolj prodrla v preizkušance iz betonske mešanice L2. To pomeni, da so se v teh preizkušancih pojavile večje razpoke kot pa v preizkušancih iz mešanice P1. Razlog temu je najverjetneje za 30 odstotkov manjša obremenitev plošč izdelanih z betonom P1.

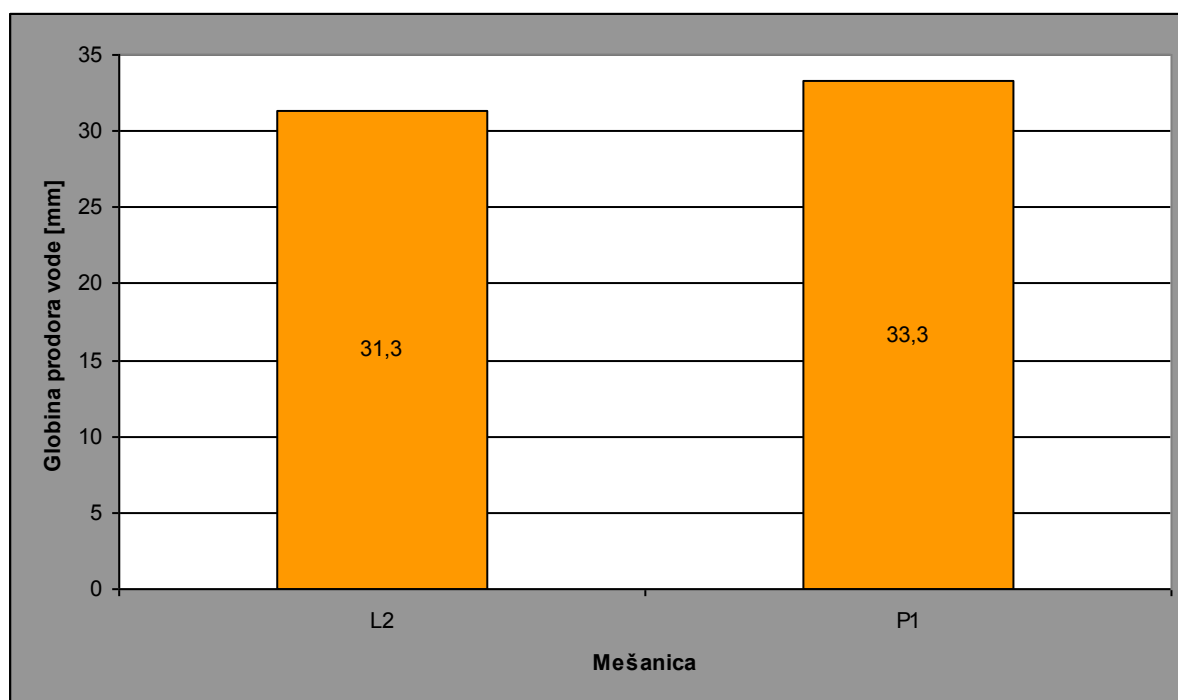
Kot zanimivost naj omenim, da smo naredili še eno serijo dveh plošč iz mešanice L2 ter jih po 7-ih dneh obremenili s silo 200kN. Pri tej sili so se razpoke po plošči razširile skoraj čez vso višino plošče. To nam je pokazal tudi preizkus vodotesnosti, saj je voda po 72-ih urah prodrla skoraj do vrha preizkušanca.

d.) vpliv nege na vodotesnost

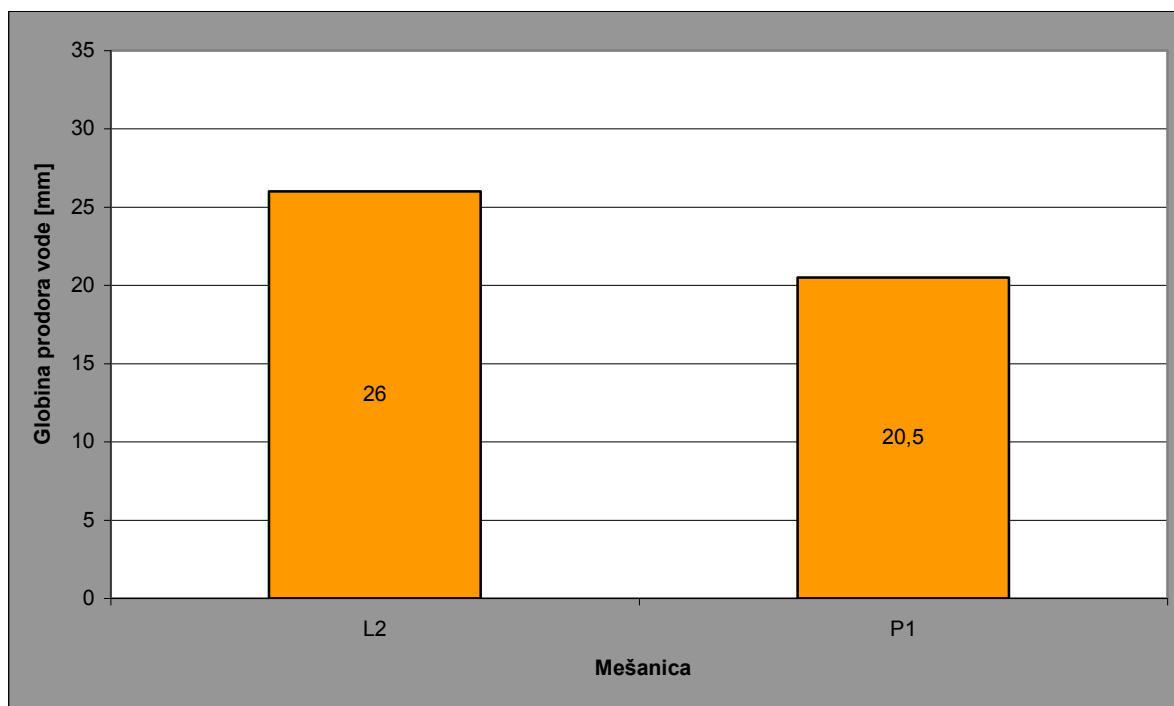
Nega strjenega betona ima lahko velik vpliv na vodotesnost betona. Tretjino preizkušancev smo izpostavljali nizkim temperaturam (0°C, RH=68%), drugo tretjino pa smo 28 dni negovali v sušilnici na konstantni temperaturi 40°C. Zadnji sklop preizkušancev smo 14 dni negovali v vodi pri temperaturi 20±2°C ter 14 dni v sušilnici pri temperaturi 40°C.



Slika 41 : Primerjava globine prodora vode v odvisnosti od nege (nizke temperature)



Slika 42: Primerjava globine prodora vode v odvisnosti od nege (28 dni visoke temperature)



Slika 43 : Primerjava globine prodora vode v odvisnosti od nege (14 dni voda+14 dni sušilnica)

Rezultati prikazani v zgornjih grafih nazorno kažejo, da so preizkušanci, ki so bili negovani na hladnem vpili najmanj vode. Največja globina prodora vode pa smo dobili pri preizkušancih izpostavljenih povišanim temperaturam, pri čemer je v betonih iz savskega proda voda prodrla nekoliko globlje kot v betonih iz drobljenega apnenčevega agregata.

7 SKLEP

Betonski mešanici L2 in P1 sta imeli tekočo konsistenco (razred poseda S3 in razred razleza F5). Med lahkovgradljive betone lahko uvrstimo beton iz mešanice L2, saj je njegov posed večji od 220mm.

Pri preiskavah tlačne trdnosti je manjše vrednosti dosegel beton iz mešanice P1 zaradi uporabljenega agregata (savski prod). Povprečna tlačna trdnost betona iz mešanice P1 je bila manjša za 8,35%. Prav tako je beton iz mešanice P1 dosegal manjše natezne trdnosti, saj so bile vrednosti manjše za 1,4 MPa.

Rezultati osrednjega dela naših preiskav, preizkusa prodora vode pod pritiskom po standardu SIST EN 12390-8, so pokazali, da ima vsaka mešanica, tako L2 in P1, svoje dobre in slabe lastnosti. Beton iz mešanice L2 se je bolje izkazal v običajni vgradnji (brez napak v betonu) in pri vgradnji betona z armaturo, mešanica P1 pa se je bolje izkazala pri ostalih napakah v betonu (gnezda in zračni žepi). Po klasifikaciji se je beton iz drobljenega apnenčevega agregata uvrstil v razred PV-II (pogojno v PV-III), beton iz savskega proda pa v razred PV-III, ob predpostavki, da šibka mesta oziroma napake v betonu nimajo vpliva na sam beton. Ugotovil sem, da so napake, ki se pojavljajo v betonu, posledica nepravilne vgradnje. Zato je potrebno izredno pozornost in znanje posvetiti primerni vgradnji v opaže, saj le tako lahko preprečimo nastanek šibkih mest v betonu. Kot se je izkazalo v mojih preizkusih, je potrebno posebno pozornost posvetiti stiku dveh slojev betona, saj ima tam beton bistveno večjo prepustnost za vodo kot beton izven območja stikov. Beton iz drobljenega apnenčevega agregata je imel vodoprepustnost na stiku kar 87mm, beton iz savskega proda pa preizkus vodonepropustnosti sploh ni zdržal, saj so se preizkušanci razcepili na dva dela takoj, ko sem začeli s preiskavo. Zato se ne priporoča betoniranje v več fazah, ampak če je le mogoče, je potrebno naslednjo plast vgraditi pred začetkom vezanja predhodne plasti.

Po primerjavi obeh betonskih mešanic se je težko odločiti, katera betonska mešanica je boljša. Vsaka ima svoje prednosti in slabosti, izbira pa je odvisna od namena uporabe same konstrukcije oziroma objekta.

VIRI

Žarnić R. 2005. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 351 str

Žarnić R., Bosiljkov V., Bokan Bosiljkov V. 2009/2010. Gradiva vaje. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 146 str

Pajk U. Vpliv različnih mlevnih dodatkov na lastnosti cementa CEM V/A (S-V-P) 42,5N LH, Ljubljana, diplomska naloga Ljubljana Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 68 str

Kuzmanović S. Vpliv šibkih mest v strukturi betona na njegovo odpornost proti prodoru vode. Ljubljana, diplomska naloga Ljubljana Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 123 str

Koželj G. Odpornost proti prodoru vode za lahkogradljiv beton iz savskega proda iz krške kotline. Ljubljana, diplomska naloga Ljubljana Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 67 str.

Salonit Anhovo d.d. Gradbeni materiali – Cementi,
www.salonit.si (20.03.2010)

Lafarge cement d.o.o., Izdelki v rinfuzi,
www.lafarge.si (20.03.2010)

TKK Srpenica d.d.
www.tkk.si (20.03.2010)