

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Špan, N., 2016. Vpeljava novih standardov s področja betona v Betonarni Boštanj. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Bokan Bosiljkov, V.): 65 str.  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5930/>

Datum arhiviranja: 27-09-2016

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Špan, N., 2016. Vpeljava novih standardov s področja betona v Betonarni Boštanj. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bokan Bosiljkov, V.): 65 pp.  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5930/>

Archiving Date: 27-09-2016

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE  
STOPNJE OPERATIVNO  
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

**NINO ŠPAN**

**VPELJAVA NOVIH STANDARDOV S PODROČJA  
BETONA V BETONARNI BOŠTANJ**

Diplomska naloga št.: 138/OG-MO

**INTRODUCTION OF NEW NORMS FROM THE AREA  
OF CONCRETE IN BOŠTANJ CONCRETE PLANT**

Graduation thesis No.: 138/OG-MO

**Mentorica:**

prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

Ljubljana, 22. 09. 2016

Spodaj podpisani študent Nino Špan, vpisna številka **26110527**, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Vpeljava novih standardov s področja betona v Betonarni Boštanj

#### IZJAVLJAM

1. da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V:

Datum:

Podpis študenta:

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. Violeti Bokan Bosiljkov za pomoč in vodenje pri izdelavi diplomske naloge. Prav tako se zahvaljujem podjetju Gradnje d.o.o. za vse podatke in praktične nasvete.

Posebej se zahvaljujem staršem, ki so mi omogočili študij in mi ves čas stali ob strani.

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

- UDK :** 666.97.052.2(497.4)(043.2)
- Avtor:** Nino Špan
- Mentorica:** prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov
- Naslov:** Vpeljava novih standardov s področja betona v Betonarni Boštanj
- Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – visokošolski študij
- Obseg in oprema:** 65 str., 17 tab., 36 sl., 5 graf.
- Ključne besede:** beton, Betonarna Boštanj, agregat, cement, kemijski dodatki, standardi

### **Izvleček:**

V okviru diplomske naloge smo se osredotočili na proizvodnjo betonov v Betonarni Boštanj in na preverjanje njihove skladnosti z zahtevami novih standardov za beton, SIST EN 206:2013 in SIST EN 1026:2016. Najprej smo predstavili Betonarno Boštanj in glavne sestavne dele, ki jih betonarna potrebuje za delovanje. Navedli smo nekaj bistvenih značilnosti agregata, cementa in kemijskih dodatkov, ki jih betonarna porablja in kakšen je njihov vpliv na strukturo betona. V nadaljevanju smo predstavili preizkuse sveže betonske mešanice v betonarni. V praktičnem delu diplome smo primerjali lastnosti običajnega, neaeriranega betona z betoni, ki so vsebovali različne količine aeranta. Na svežih betonih smo določili vodocementno razmerje, konsistenco s posedom, delež zraka in prostorninsko maso (gostoto) svežega betona ter izmerili temperaturo. Na strjenem betonu pa smo določili povprečno tlačno trdnost pri starosti 28 dni. Rezultate preiskav smo primerjali in analizirali. V zadnjem poglavju smo izpostavili novosti, ki jih prinašata standarda SIST EN 206:2013 in SIST EN 1026:2016, ter kako se te novosti odražajo v Betonarni Boštanj.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION WITH ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	666.97.052.2(497.4)(043.2)
<b>Author:</b>	Nino Špan
<b>Supervisor:</b>	prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov
<b>Title:</b>	Introduction of new norms from the area of concrete in Boštanj concrete plant
<b>Document type:</b>	Graduation Thesis – University Studies
<b>Scope and tools:</b>	65 p., 17 tab., 36 fig., 5 graph.
<b>Keywords:</b>	concrete, Boštanj concrete plant, aggregate, cement, chemical admixtures, norms

### **Abstract:**

The main aim of this thesis is production of concrete mixtures at the Boštanj concrete plant and conformity control of the mixtures by applying criteria given in new standards for concrete mixtures, EN 206:2013 and EN 1026:2016. In the beginning of the thesis the concrete plant and its main components, which are needed for the plant operation, are described. Some essential characteristics of aggregate, cement and chemical admixtures that appear in the concrete plant and influence the concrete structure are subject of subsequent chapters. Next, tests of fresh concrete properties carried out by the plant laboratory are described. In the practical part of the thesis results of ordinary and air entrained concrete mixtures are compared. The tested properties of the fresh mixtures are temperature, consistency by slump test, determination of water to cement ratio, air content and fresh concrete density. In hardened state only average compressive strength of concrete at the age of 28 days was determined. The obtained results were compared and analysed. In the last chapter novelties in the standards EN 206:2013 and EN 1026:2016 were summarized and their influence on the concrete plant operation was emphasized.

## KAZALO VSEBINE

IZJAVA.....	II
ZAHVALA.....	III
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM.....	IV
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION WITH ABSTRACT.....	V
1 UVOD.....	1
1.1 NAMEN NALOGE .....	2
2 BETONARNA BOŠTANJ .....	3
3 SESTAVA BETONARNE .....	6
3.1 SILOSI ZA AGREGAT .....	8
4 AGREGAT .....	12
5 CEMENT.....	18
6 KEMIJSKI DODATKI .....	21
7 AERIRANI BETON .....	24
8 PREIZKUSI SVEŽE BETONSKE MEŠANICE .....	27
8.1 KONSISTENCA SVEŽE BETONSKE MEŠANICE Z METODO POSEDA STOŽCA.....	27
8.2 DOLOČANJE VSEBNOSTI ZRAKA V SVEŽI BETONSKI MEŠANICI .....	29
8.3 DOLOČANJE PROSTORNINSKE MASE SVEŽE BETONSKE MEŠANICE.....	30
8.4 DOLOČANJE VODOCEMENTNEGA RAZMERJA SVEŽE BETONSKE MEŠANICE.....	32
8.4.1 Količina vode v sveži betonski mešanici: .....	33
8.4.2 Izračun celotne količine vode v svežem betonu: .....	33
8.4.3 Izračun vode, ki jo vpije agregat: .....	34
8.4.4 Izračun efektivne vsebnosti vode v svežem betonu: .....	34
8.4.5 Določitev količine veziva (cementa, mineralnega dodatka).....	35
8.4.6 Izračun vodocementnega razmerja:.....	35
8.4.7 Zapisi o preizkusu .....	35
8.5 IZDELAVA TER NEGA PREIZKUŠANCEV .....	36
9 IZDELAVA IN PRIMERJAVA LASTNOSTI NAVADNEGA TER AERIRANEGA BETONA .....	41
9.1 SESTAVA BETONOV .....	41
9.2 IZDELAVA BETONOV IN PREISKAVE NJIHOVIH LASTNOSTI.....	42
9.3 REZULTATI TER UGOTOVITVE PREISKAV SVEŽIH BETONOV .....	42
9.4 REZULTATI PREISKAV TLAČNE TRDNOSTI BETONA .....	46
10 VPELJAVA NOVIH STANDARDOV .....	49
11 ZAKLJUČEK.....	52

12	VIRI IN LITERATURA:.....	53
----	--------------------------	----



## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Prikaz poseda .....	42
Graf 2: Prikaz vsebnosti zračnih mehurčkov (%) .....	43
Graf 3: Prikaz vodocementnega faktorja.....	44
Graf 4: Prikaz gostote sveže betonske mešanice ( $\text{kg/m}^3$ ).....	45
Graf 5: Prikaz tlačne trdnosti preizkuševalcev .....	47

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Območja sestav betonske mešanice [1].....	1
Tabela 2: Zahtevane lastnosti vode za pripravo betonske mešanice [1] .....	4
Tabela 3: Lastnosti transportnega traku [16].....	8
Tabela 4: Lastnosti skip posode [16].....	9
Tabela 5: Frakcije agregata v Betonarni Boštanj [16].....	13
Tabela 6: Vrste cementa v Betonarni Boštanj [16] .....	19
Tabela 7: Lastnosti plastifikatorjev, superplastifikatorjev in hiperplastifikatorjev [2] .....	22
Tabela 8: Kemijski dodatki, ki jih uporabljajo v Betonarni Boštanj .....	22
Tabela 9: Stopnje izpostavljenosti za zmrzovanje in tajanje s sredstvi za tajanje ali brez njih.....	24
Tabela 10: Razredi konsistence svežih betonov glede na posed [12] .....	27
Tabela 11: Najmanjša pogostost vzorčenja za ugotovitev skladnosti po SIST EN 206-1:2003 .....	38
Tabela 12: Najmanjša pogostost vzorčenja za ugotovitev skladnosti po SIS EN 206-2013 .....	39
Tabela 13: Sestava betonske mešanice [16] .....	41
Tabela 14: Rezultati preiskav svežih betonov .....	42
Tabela 15: Povprečne tlačne trdnosti betonov pri starosti 28 dni .....	46
Tabela 16: Bistvene razlike po standardu SIST EN 206-1:2003 ter SIST EN 206:2013 .....	50

## KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz sestave betonske mešanice (prostorninski delež) [1].....	2
Slika 2: Ročno vodeni sistem betonarne [16].....	3
Slika 3: Računalniško vodeni sistem betonarne [16] .....	4
Slika 4: Betonarna Boštanj s sprednje strani [16] .....	5
Slika 5: Betonarna Boštanj z zadnje strani [16] .....	5
Slika 6: Prerez Betonarne Boštanj [16] .....	7
Slika 7: Deponija agregata 0-4 mm [16] .....	8
Slika 8: Linijski silosi za agregat, ki so zaščiteni z izolacijsko fasado [16].....	9
Slika 9: Doziranje agregatov na trak ter avtomatsko tehtanje na elektronski tehnici [16] .....	10
Slika 10: Tehnica za cement [16].....	10
Slika 11: Mešalec za mešanje sveže betonske mešanice [16] .....	11
Slika 12: Plinski rezervoar za gretje vode v zimskem času ter kotlovnica [16].....	11
Slika 13: Standardna sita različnih velikosti [1].....	13
Slika 14: Krog različnih frakcij agregata, ki je rezultat sejalne analize, in sejalna naprava [1].....	14
Slika 15: Pravilna in nepravilna razporeditev agregata v betonu [1] .....	14
Slika 16: Priporočljiva mejna krivulja zravnosti za mešanico agregata 0/16 mm [3] .....	15
Slika 17: Transportna trakova za agregat [16] .....	16
Slika 18: Premikajoči transportni trak na vrhu silosa polni določen silos z izbrano frakcijo agregata [16].....	16
Slika 19: Silos za shranjevanje drobne frakcije agregata [16] .....	17
Slika 20: Voziček za prevažanje agregatov- posoda na skip [16].....	17
Slika 21: Uporabnost osnovnih elementov po SIS EN 197 - 1 za proizvodnjo betonov, skladnih s SIST 1026:2016 [3.3].....	20
Slika 22: Silosi na cement [16] .....	19
Slika 23: Dodatek v Betonarni Boštanj - Cementol Delta EKSTRA (plastifikator) [16].....	21
Slika 24: Posoda za doziranje dodatkov in tehtnica za dodatke [16] .....	23
Slika 25: Dodatek v Betonarni Boštanj - Cementol Eta S 06 (aerant) [16].....	23
Slika 26: Območje dimenzij trdnih faz in por v cementnem kamnu [17] .....	25
Slika 27: Mehanizem delovanja mehurčka .....	26
Slika 28: Oprema za preizkus konsistence sveže betonske mešanice za metodo poseda [5].....	28
Slika 29: Rezultat preizkusa konsistence sveže betonske mešanice z metodo poseda [16] .....	28
Slika 30: Porožimeter z manometrom na vrhu [16] .....	29
Slika 31: Vibracijska miza za vibriranje kalupa s svežo betonsko mešanico [5] .....	31
Slika 32: Posoda na merilni tehnici za določanje prostorninske mase sveže betonske mešanice [16].....	31
Slika 33: Vzorec sveže betonske mešanice pred sušenjem [16].....	32
Slika 34: Izdelava kock v jeklenih kalupih s stranico 150 mm [16] .....	40
Slika 35: Betonske kocke, postavljene v zaboj z vodo [5] .....	40
Slika 36: Mejne vrednosti sestavine in lastnosti betona po SIS EN 1026:201 .....	51

## 1 UVOD

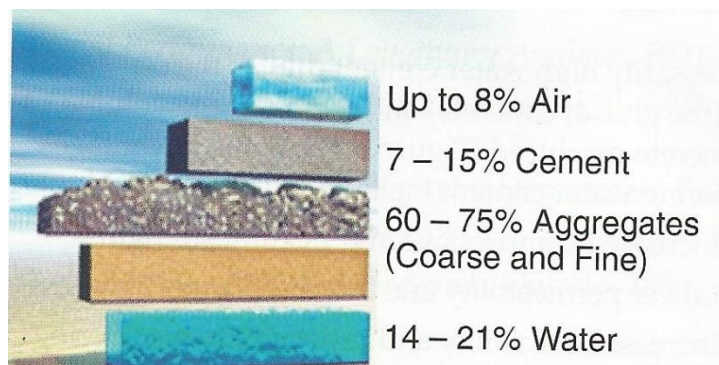
Danes so armirano-betonske konstrukcije najpomembnejša skupina konstrukcij, če gledamo z vidika prostornine betona, ki se vanje vgradi. Beton je namreč zelo vsestranski material, s pomočjo katerega gradimo stavbe, industrijske objekte, ceste, predore, energetske objekte, čistilne naprave itd. Beton je zato najpomembnejše gradivo v gradbeništvu. Lahko ga poljubno oblikujemo s pomočjo opažev, dosega lahko visoko tlačno trdnost in obstojnost. Da dosežemo zahtevane lastnosti betona v svežem in v strjenem stanju, moramo upoštevati veliko število različnih parametrov, ki vplivajo na betonsko mešanico že med samo pripravo in vgradnjo ter pozneje v času nege, pridobivanja trdnosti in izpostavljenosti različnim vplivom (obtežbam in okolju).

Na tržišču je veliko vrst različnih sestav betona, ki imajo različne lastnosti v svežem in strjenem stanju. Zelo pomembno je, da za določen namen uporabe izberemo ustrezno vrsto betona. Izbira betona je odvisna od mnogih parametrov, med njimi naj izpostavimo le nekatere: obremenitve (napetosti), ki jim bo konstrukcija izpostavljena v življenjski dobi, okolje, v katerem bo konstrukcija, oprema, ki je na voljo za transport betona in njegovo vgradnjo v opaže, oprema za zgoščevanje betona v opažih itd.

Prostorninski deleži sestavin v betonski mešanici so prikazani v Tabeli 1 in na Sliki 1.

Tabela 1: Območja sestav betonske mešanice [1]

zrak	do 8 %
cement	7-15 %, lahko tudi več
agregat	60-75 %
voda	14-21 %



Slika 1: Prikaz sestave betonske mešanice (prostorninski delež) [1]

## 1.1 NAMEN NALOGE

Namen diplomske naloge je predstaviti betonarno, ki je v bližini Hidroelektrarne Boštanj (v nadaljevanju HE Boštanj). Predstavili bomo sestavne dele betonarne, njeno delovanje, materiale, ki so najpogosteje uporabljeni pri sestavi sveže betonske mešanice, ter najpogosteje izvajane preiskave. Pri tem se bomo sklicevali tudi na relevantne dele novih standardov za beton, SIST EN 206:2013 in SIST EN 1026:2016.

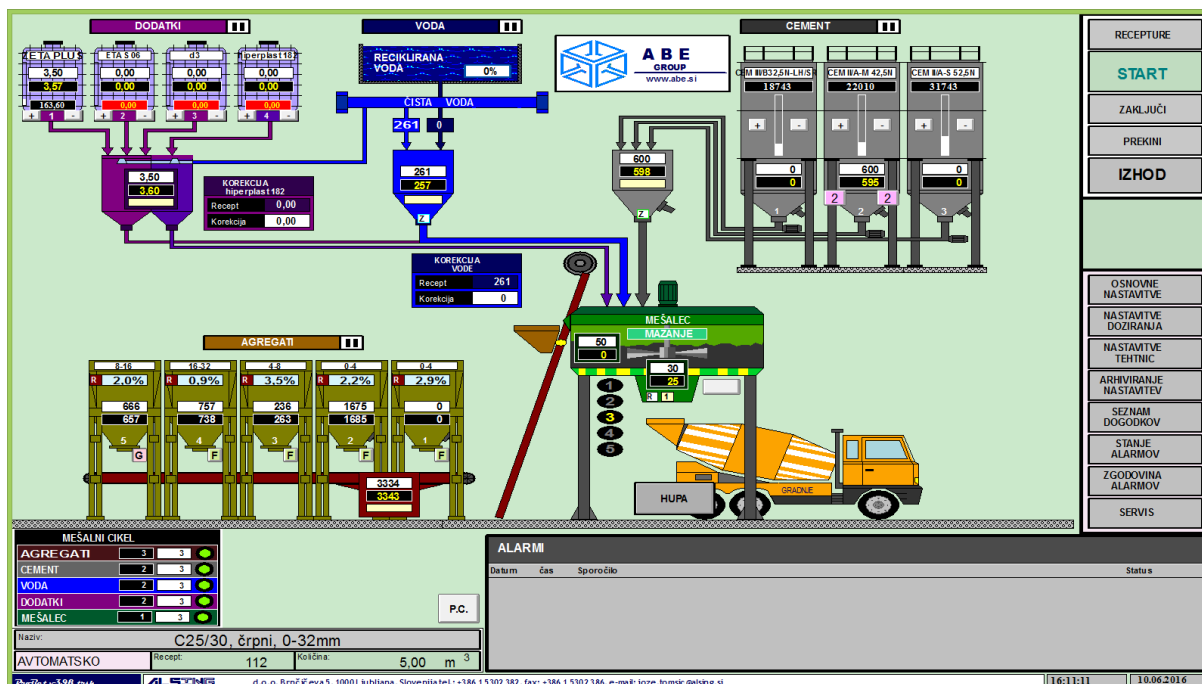
Pristop k preiskavam v laboratoriju betonarne bomo prikazali na dveh betonskih sestavah, na običajnem in aeriranem betonu. Ti sestavi smo zasnovali sami in na njih opravili preiskave. Dobljene rezultate smo analizirali in primerjali.

## 2 BETONARNA BOŠTANJ

Betonarna Boštanj je v bližini HE Boštanj. Betonarna je horizontalne oblike in je v lasti podjetja Gradnje d.o.o. Glavna naloga betonarne je priprava svežih betonskih mešanic različnih sestav. Da delo poteka nemoteno in brez napak, je celoten proces voden iz komandne sobe. Obratovanje betonarne je vodeno s pomočjo računalniškega programa (Slika 3), v katerem se nahajajo tudi recepture za različne sestave betonov. Te recepture so skrivnost vsakega podjetja in se jih ne izda. Operater izbere sestavo betona, ki jo bo zamešal, in količino betona. Nato vnese v program podatek o dejanski vlažnosti frakcij agregata. Program nato sam izračuna, koliko vode je treba dozirati za zahtevano sestavo betona. Na koncu dobimo tudi podatek o dejanski sestavi zamešanega betona, ki se lahko nekoliko razlikuje od sestave po recepturi. Na zaslonu lahko operater kontrolira faze v proizvodnji betona, ki se izvajajo. Betonarna omogoča tudi ročni način vodenja procesov (Slika 2) v primeru izpada računalniškega programa. V komandni sobi dela ena oseba, ki je usposobljena za to delo.



Slika 2: Ročno vodeni sistem betonarne [16]



Slika 3: Računalniško vodeni sistem betonarne [16]

Betonarna je horizontalnega tipa. To pomeni, da so različne frakcije agregata deponirane v bližini betonarne. Z nakladačem jih lahko nemoteno doziram v različne silose, v katerih agregat hranimo in ga ščitimo pred zunanjimi dejavniki. Poleg tega ima betonarna še tri silose za različne vrste cimenta, ki jih dovažajo s posebnimi cisternami iz različnih cementarn. Material, ki sproži kemijsko reakcijo hidratacije cimenta, je voda, ki se jo hrani v posebnih rezervoarjih. Betonarna Boštanj uporablja vodo iz vodovodnega omrežja. Zahteve, ki jih mora izpolnjevati voda za pripravo betona, so podane v standardu SIST EN 1008:2003, nekaj zahtev pa je predstavljenih tudi v Tabeli 2.

Tabela 2: Zahtevane lastnosti vode za pripravo betonske mešanice [1]

PH vrednost	od 4,5 do 9,0
vsebnost kloridov	max 300 mg/l
vsebnost sulfatov	max 400 mg/l



Slika 4: Betonarna Boštanj s sprednje strani [16]



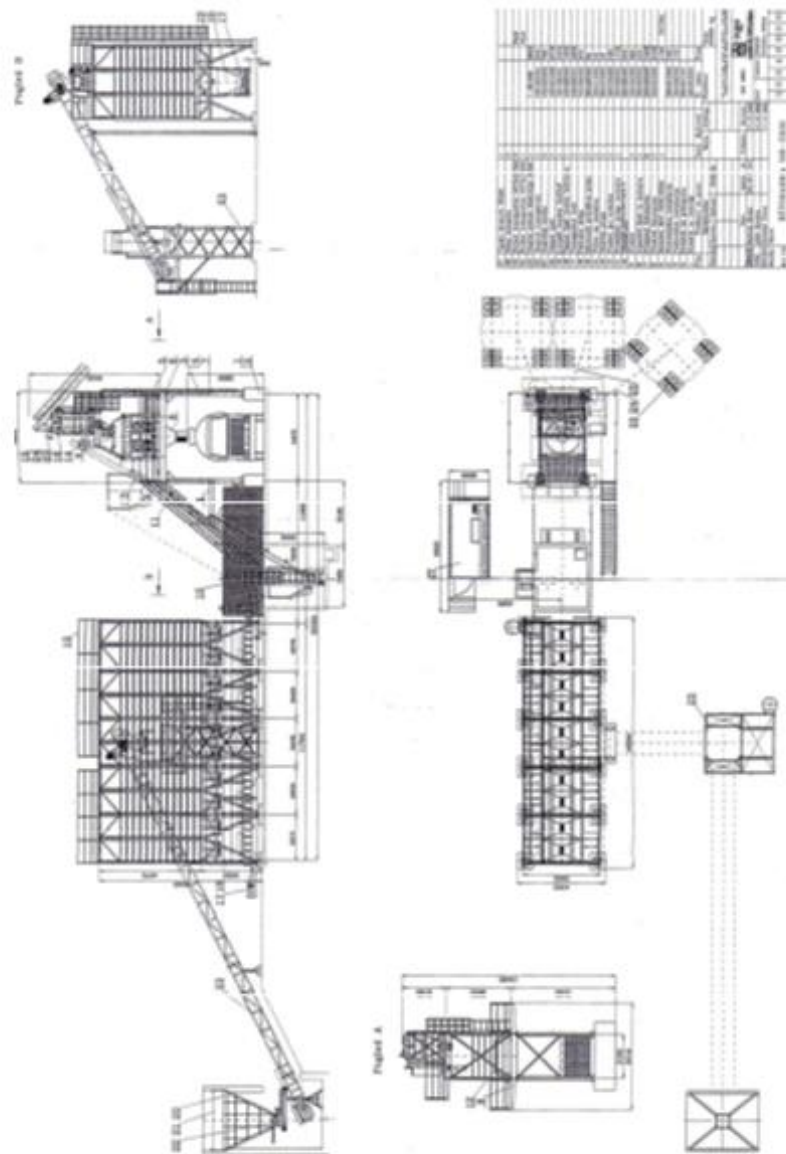
Slika 5: Betonarna Boštanj z zadnje strani [16]



### **3 SESTAVA BETONARNE**

Betonarna Boštanj je sestavljena iz različnih delov, kot so (Slika 6):

- deponija za skladiščenje agregata (Slika 7),
- skreper za doziranje agregata,
- silosi za shranjevanje agregata (Slika 8, Slika 9),
- silosi za shranjevanje cementa,
- rezervoar za vodo,
- prostor za skladiščenje različnih vrst dodatkov,
- tehtnice za agregat, cement, vodo ter dodatke (Slika 10, Slika 24),
- mešalec za beton (Slika 11),
- komanda soba,
- prostor za pripravo tople vode v zimskem času,
- plinska posoda za gretje vode v zimskem času (Slika 12).



Slika 6: Prerez Betonarne Boštanj [16]



Slika 7: Deponija agregata 0-4 mm [16]

### 3.1 SILOSI ZA AGREGAT

Betonarna Boštanj je opremljena s petimi jeklenimi linijskimi silosi (Slika 6) s prostornino  $25 \text{ m}^3$ . Agregat, ki je shranjen na deponiji v bližini betonarne, se ves čas dovaža v vsipno posodo (lijak z vibratorjem), ki pomaga pri doziranju agregata manjših frakcij na poševni transportni trak ter nato še na prečni transportni trak (Slika 17, Tabela 3). V naslednji fazi se agregat naloži na prevozni trakast transporter (Slika 18), ki napolni določen silos s frakcijo, ki se v tem silosu skladišči (Slika 19). Vsak silos je zadolžen za shranjevanje določene vrste frakcije. V prvih dveh silosih je shranjena frakcija 0/4 mm, v tretjem silosu 4/8 mm, v četrtem silosu 8/16 mm ter v petem silosu 16/32 mm.

Pod vsakim silosom je tehtnica za tehtanje agregata. Stehtana frakcija agregata se s transportnim trakom odpelje do posebne posode – skipa (Tabela 4 in Slika 20), ki se s pomočjo jeklene vrvi po vertikalni progi odpelje do mešalca.

Tabela 3: Lastnosti transportnega traku [16]

širina traku	800 mm
dolžina traku	20100 mm
kapaciteta	$180 \text{ m}^3/\text{h}$
moč motorja	15 $\text{K}_w$

Tabela 4: Lastnosti skip posode [16]

prostornina posode	3000 l
največja obtežba skipa	4000 kg
naklon proge	60 stopinj
moč motorja	2 x 22/18,5 Kw



Slika 8: Linijski silosi za agregat, ki so zaščiteni z izolacijsko fasado [16]



Slika 9: Doziranje agregatov na trak ter avtomatsko tehtanje na elektronski tehnici [16]



Slika 10: Tehnica za cement [16]



Slika 11: Mešalec za mešanje sveže betonske mešanice [16]



Slika 12: Plinski rezervoar za gretje vode v zimskem času ter kotlovnica [16]

## 4 AGREGAT

Mineralni agregat predstavlja največjo sestavino betonske mešanice, saj običajno zavzema od 65 do 75 % skupne prostornine betonske mešanice. Praviloma so zrna naravnega agregata tudi najtrša komponenta betona. [1] V Sloveniji se njihova gostota giblje od 2600 do 2800 kg/m<sup>3</sup>. Zelo moramo biti pozorni, da agregat ne vsebuje humoznih delcev in drugih organskih primesi v prevelikem deležu. Humozni delci so kisli, zato znižajo pH vrednost cementne paste in s tem vplivajo na potek hidratacije cementa. Kvaliteta takega betona je slabša, kot bi bila brez prisotnosti humoznih delcev. Pozorni moramo biti tudi na vlažnost agregata. Če je agregat površinsko vlažen, bo površinska voda povečala vodo-cementno razmerje. S tem se bosta zmanjšala trdnost betona in njegova obstojnost. To moramo preprečiti, zato je treba vodo na površini agregatnih zrn upoštevati kot del zamesne vode v betonu. Zamesna voda je količina vode za zahtevano vodo-cementno razmerje. Še posebej problematična je vlažnost drobnega agregata, to je na primer frakcija 0/4 mm. Če je agregat suh, bo med pripravo betona in med transportom betona vpil del vode. S tem se lahko poslabša konsistenca svežega betona, posledica je lahko njegova slabša vgradljivost. Problem je običajno rešljiv s povečanjem deleža kemijskega dodatka tipa plastifikator ali superplastifikator v betonski mešanici.

Betonska mešanica mora biti sestavljena iz vsaj dveh različnih frakcij (drobna in groba frakcija), da agregatna zrna dobro zapolnijo prostor v betonu. Ustrezna porazdelitev zrn po velikosti pomembno vpliva tudi na vgradljivost svežega betona ter na lastnosti betona v strjenem stanju. Ustrezna zrnastostna sestava agregata zmanjša tudi potrebno količino cementa, kar lahko pomembno zniža ceno betona. [9] V Tabeli 5 prikazujemo frakcije agregata po skupinah. Če ima namreč agregat optimalno porazdelitev agregatnih zrn, bodo zrna oblikovala skelet v strukturi betona, prek katerega se prenašajo obremenitve. Velikost največjega zrna agregata v mešanici in porazdelitev zrn agregata po velikosti določamo s sejalno analizo po standardu SIST EN 933-1. Pri tem uporabljamo standardna sita (Slika 13). V preizkuševalnem laboratoriju moramo agregat, preden ga damo v sejalno napravo, predhodno posušiti na temperaturi 110° C. Sejalna naprava v Betonarni Boštanj ima sedem sit, ki so postavljena eno nad drugo po določenem vrstnem redu, od največjega, ki je zgoraj, do najmanjšega, ki je spodaj. Govorimo o stavku sit. Odprtine sit, ki jih uporabljajo v Betonarni Boštanj, so 63 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm in 1 mm. Določeno maso vzorca stresemo v sejalno napravo na zgornje, največje sito ter napravo vključimo, da vibrira. Zanima nas, koliko materiala je ostalo na posameznem situ, zato maso vzorca na posameznem situ stehtamo (Slika 14 desno). Dobimo maso frakcije, ki je omejena z zgornjim sitom, skozi katerega so zrna agregata padla, in s spodnjim sitom, na katerem so zrna agregata ostala. Iz znanih mas posameznih frakcij in skupne mase agregata lahko v nadaljevanju izračunamo zrnastostno sestavo agregata, tako imenovano zrnastostno krivuljo. Videz različnih frakcij agregata prikazuje Slika 14 levo.

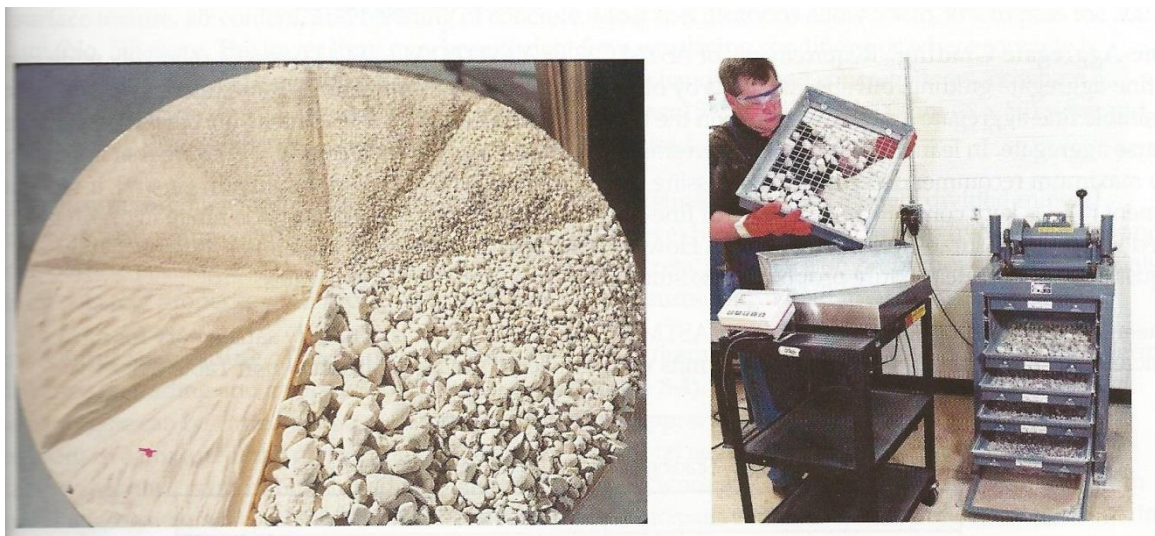
Tabela 5: Frakcije agregata v Betonarni Boštanj [16]

I. frakcija	0-4 mm
II. frakcija	4-8 mm
III. frakcija	8-16 mm
IV. frakcija	16-31,5mm
V. frakcija	31,5-63 mm

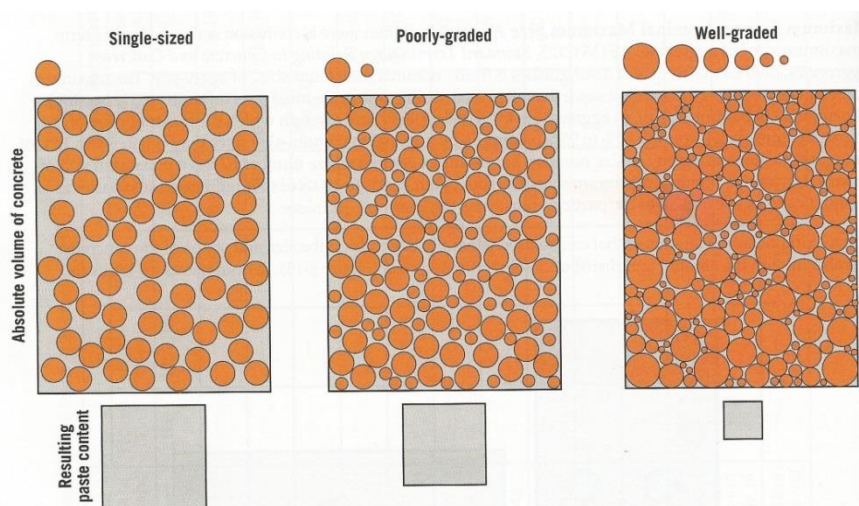


Slika 13: Standardna sita različnih velikosti [1]





Slika 14: Krog različnih frakcij agregata, ki je rezultat sejalne analize (levo) in sejalna naprava (desno) [1]



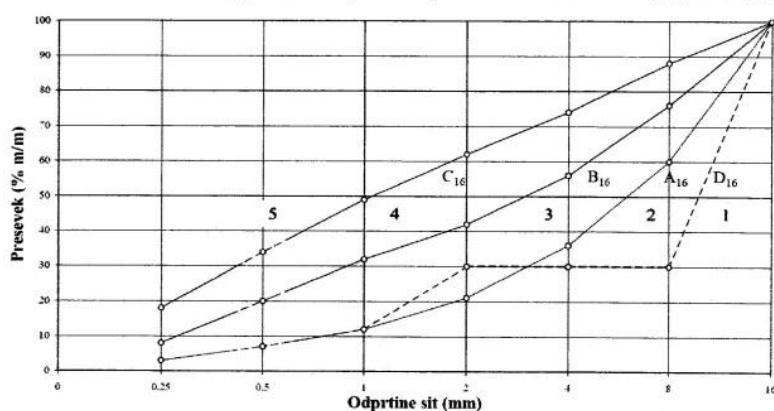
Slika 15: Pravilna in nepravilna razporeditev agregata v betonu [1]

Na Sliki 15 prikazujemo tri različne vzorce betona, ki se razlikujejo med seboj v agregatu, in sicer v velikosti zrn agregata. Iz levega dela slike je razvidno, da imamo v dani prostornini betona le zrna grobega agregata enake velikosti, brez manjših frakcij agregata. Zato je prostornina med zrna velika, zapolniti jo mora cementna pasta, kar pomeni večjo porabo cementne paste. Na desnem delu slike pa vidimo, da je beton pripravljen z agregatom, v katerem so zrna različnih velikosti, ki maksimalno zapolnijo prostor v betonu. To je ugodno, saj porabimo bistveno manj cementne paste. Moramo pa vedeti, da je trdnost agregata praviloma večja od trdnosti cementnega kamna.

Pri izbiri ustrezne zrnastostne sestave agregata so nam v pomoč mejne zrnastostne krivulje, ki so za različno velikost največjega zrna agregata podane v standardu SIST 1026. Na Sliki 16 so prikazane mejne zrnastostne krivulje za največje zrno 16 mm. Območje 3 je praviloma najbolj optimalno območje zrnastostne sestave agregata. Če imamo zaobljena zrna agregata (na primer rečni pesek in prod), potem je zrnastostna krivulja agregata lahko bližje krivulji A<sub>16</sub>. Če pa so zrna oglata (drobljen agregat), potem pa je bolje, da je zrnastostna krivulja bližje krivulji B<sub>16</sub>.

SIST 1026 : 2016

Graf NB.2: Priporočena mejna krivulja zrnastosti za mešanico agregata 0/16 mm



Preglednica NB.2: Priporočena mejna krivulja zrnastosti za mešanico agregata 0/16 mm

Mejne krivulje	Presevkí (%) skozi sita (mm)						
	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0
D <sub>16</sub>	3	(7)	12	30	30	30	100
A <sub>16</sub>	3	(7)	12	21	36	60	100
B <sub>16</sub>	8	(20)	32	42	56	76	100
C <sub>16</sub>	18	(34)	49	62	74	88	100

Slika 16: Priporočljiva mejna krivulja zrnastosti za mešanico agregata 0/16 mm [3]



Slika 17: Transportna trakova za agregat [16]



Slika 18: Premikajoči transportni trak na vrhu silosa polni določen silos z izbrano frakcijo agregata [16]



Slika 19: Silos za shranjevanje drobne frakcije agregata [16]



Slika 20: Voziček za prevažanje agregatov- posoda na skip [16]

## 5 CEMENT

Cement je hidravlično vezivo, ki ob dodajanju vode tvori cementno pasto, ta pa se na podlagi določenih kemijskih reakcij spremeni v trdo zmes - cementni kamen. Cementni kamen je obstojen tako na zraku kot v vodi. [9] Standard za cimente SIST EN 197-1 postavlja zahteve za sedemindvajset različnih običajnih cementov, za sedem sulfatno odpornih običajnih cementov, za tri različne žlindre cimente z nizko zgodnjo trdnostjo in dva žlindra sulfatno odporna cementa z nizko zgodnjo trdnostjo ter njihove sestavine. Betonarna Boštanj ima tri jeklene silose za shranjevanje cementov (Slika 21) s kapaciteto 90 ton. V vsakem silosu je drugačna vrsta cementa in vsak cement ima drugačen trdnostni razred (Tabela 6). Na ta način lahko betonarna zagotovi proizvodnjo betonov za različne namene uporabe in različne stopnje izpostavljenosti. Standard SIST 1026:2016 za 27 običajnih cementov navaja (Slika 22) njihovo primernost oziroma neprimernost za uporabo v okolju, ki ga predstavlja določena stopnja izpostavljenosti po standardu SIST EN 206:2013.

V betonarni se največ uporablja navadni cement trdnostnega razreda 42,5 MPa, ki je sestavljen iz > 65 % Portland cementnega klinkerja, < 35 % mešanega mineralnega dodatka, ki ga sestavljata mleta granulirana plavžna žindra ter apnenec in < 5 % drugih dodatkov – sadre, mlevnih dodatkov, polnil.

Za najzahtevnejše gradnje uporabljajo v betonarni specialni cement trdnostnega razreda 52,5 MPa. Ta cement uporabljajo za pripravo betonov, pri katerih je zahtevana največja začetna ter končna trdnost. Sestavljen je iz > 95 % Portland cementnega klinkerja in < 5 % drugih dodatkov.

Standard SIST EN 206:2013 v točki 5.2 *Temeljne zahteve za sestavo betona* glede izbire cementa navaja naslednje: »Cement je treba izbrati med tistimi, ki veljajo za primerne, in pri tem upoštevati:

- način izvajanja del,
- končno rabo betona,
- pogoje negovanja (npr. toplotna obdelava),
- dimenzije konstrukcije (razvoj hidratacijske toplote),
- pogoje okolja, kateremu bo konstrukcija izpostavljena,
- potencialno reaktivnost agregata z alkalijami iz osnovnih materialov." [3]

Tabela 6: Vrste cementa v Betonarni Boštanj [16]

SILOS	VRSTA CEMENTA	TRDNOSTI RAZRED [MPa]
silos 1	specialni cement	52,5
silos 2	navadni cement	42,5
silos 3	specialni cement	32,5



Slika 21: Silosi na cement [16]



## 6 KEMIJSKI DODATKI

V sklopu proizvodnje betonov v Betonarni Boštanj se uporabljajo tudi kemijski dodatki, ki se dodajajo sveži betonski mešanici in vplivajo na lastnosti sveže in/ali strjene betonske mešanice. Dodatki, kot na primer plastifikatorji (Slika 23), superplastifikatorji, hiperplastifikatorji, aeranti (Slika 25), pospeševalci, zaviralci, zgoščevalci ter antifrizi, igrajo pomembno vlogo v določenih sestavah betonskih mešanic ali pri določenih vremenskih pogojih (na primer pri nizkih temperaturah zraka dodajamo pospeševalce vezanja, pri visokih temperaturah zraka pa zaviralce vezanja). S pomočjo kemijskih dodatkov enostavno dosegamo specifične lastnosti betona. Delovanje kemijskih dodatkov je predstavila Lidija Černilogar (2011): «Kemijski dodatki za beton so po definiciji standarda SIST EN 934-2 (1) snovi/produkti, ki jih dodamo betonu v času mešanja v količinah < 5 % na maso cementa, zato, da spremenimo lastnosti svežega in/ali strjenega betona». [2] Njihova glavna vloga je lažja obdelanost betona, betoniranje v težkih vremenskih razmerah, z njimi pa lahko zmanjšamo tudi količino zmesne vode ali količino cementa. [2]

Z dodatki tudi zmanjšamo ceno betona, saj lahko nižamo količino cementa in vzdržujemo vodo-cementno razmerje. S tem vzdržujemo trdnost betona. Za ustrezno obstojnost betona ne potrebujemo le nizkega vodo-cementnega razmerja, ampak tudi določen prostorninski delež veziva. Visok trdnostni razred betona zato še ne pomeni, da bo tak beton tudi obstojen v danem okolju. Znano je, da je učinkovitost posameznega kemijskega dodatka zelo odvisna od konkretnega cementa, ki ga uporabljamo za pripravo betona. Tudi vrsta agregata ima lahko vpliv. Pomembno pa vpliva še temperatura zraka. Zato velja: »Ne glede na to, kateri dodatek izberemo, plastifikator, superplastifikator ali hiperplastifikator, moramo predhodno izvesti preizkuse njihove učinkovitosti v betonu, ki ga bomo vgrajevali, in pri tem upoštevati predvidene pogoje, ki se bodo pojavili na gradbišču.» [2] Betonarna Boštanj uporablja kemijske dodatke slovenskega proizvajalca TKK Srpencia.



Slika 23: Dodatek v Betonarni Boštanj - Cementol Delta EKSTRA (plastifikator) [16]



Tabela 7: Lastnosti plastifikatorjev, superplastifikatorjev in hiperplastifikatorjev [2]

PLASTIFIKATOR	Znižanje V/C razmerja, manjša poroznost, manjši prodor vode.
SUPERPLASTIFIKATOR	Zmanjšamo količino cementa, manjše krčenje betona, manjše nastajanje razpok.
HIPERPLASTIFIKATOR	Povečamo vgradljivost betona s tem, da V/C razmerje ne spreminjamo, manjša poroznost betona.

Tabela 8: Kemijski dodatki, ki jih uporabljajo v Betonarni Boštanj

VRSTA DODATKA	OPIS
plastifikator	TKK Srpenica-Cementol Delta ekstra (Slika 23)
superplastifikator	TKK Srpenica-Cementol Heta plus
hiperplastifikator	TKK Srpenica-Cementol Hiperplast 182
aerant	TKK Srpenica-Cementol Eta S06 (Slika 25)
dodatek za zimsko betoniranje	TKK Srpenica-Cementol B novi
dodatek za zmanjšanje krčenje betona	TKK Srpenica-Cementol Antikontrakt T
dodatek za zadrževanje vode in podvodno betoniranje	TKK Srpenica-Cementol Stabilizator N



Slika 24: Posoda za doziranje dodatkov in tehtnica za dodatke [16]



Slika 25: Dodatek v Betonarni Boštanj - Cementol Eta S 06 (aerant) [16]

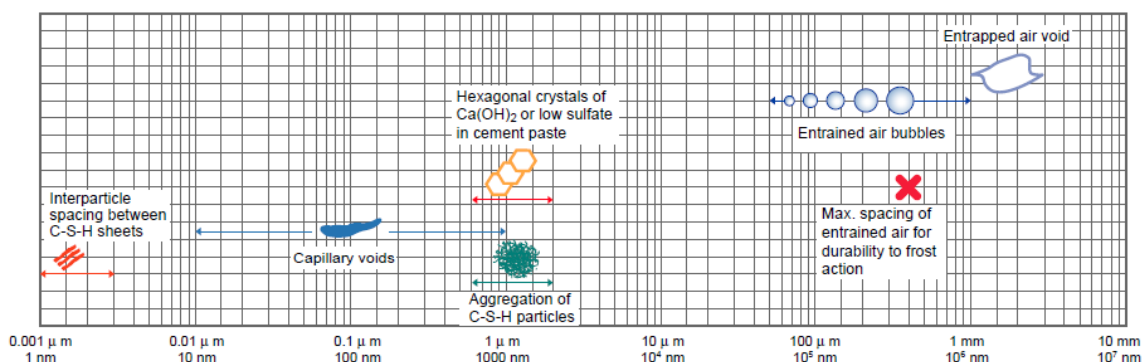
## 7 AERIRANI BETON

Aerirani beton ima manjšo prostorninsko maso kot običajni beton, zaradi večjega deleža zraka v mešanici. Zrak v aerirane betone vključujemo načrtno, s pomočjo kemijskih dodatkov tipa aerant. Struktura zračnih mehurčkov mora izpolnjevati postavljene zahteve. Kot posledica večjega deleža zraka v betonu imajo aerirani betoni nižjo tlačno trdnost. Aerirani betoni so odporni proti zmrzovanju in tajanju vode v strukturi betona, tudi če voda vsebuje sredstva za tajanje. Aerirane betone zato uporabljamo predvsem tam, kjer so armiranobetonski elementi v stiku z vodo, ki lahko v strukturi betona zmrzne, s solmi za soljenje itd. Pri betonski in armiranobetonskih elementih, kot so na primer robniki, varnostne ograje na območjih soljenja cest, razni oporni in podporni zidovi, ki se solijo, je treba izbrati stopnjo izpostavljenosti XF4 ali XF2. Betoni, ki so odporni v takem okolju, morajo izpolniti zahteve glede odpornosti površine betona proti zmrzovanju in tajanju v prisotnosti talilnih soli. Za različne AB elemente, ki so lahko namočeni z vodo in izpostavljeni zmrzovanju, vendar talilne soli niso prisotne, izberemo stopnjo izpostavljenosti XF1 ali XF3. V teh dveh primerih govorimo o notranji odpornosti betona proti zmrzovanju in tajanju, brez prisotnosti sredstev za tajanje. Uporaba aeriranega betona se v skladu s SIST 1026:2016 zahteva za stopnji izpostavljenosti XF2 in XF4, to je za betone, ki so izpostavljeni solem za tajanje. Osnovni standard SIST EN 206:2013 pa priporoča uporabo aeriranega betona tudi za stopnjo izpostavljenosti XF3. Stopnje izpostavljenosti za okolje 5- zmrzovanje/tajanje s sredstvi za tajanje ali brez njih (SIST EN 206:2013), opis okolja za posamezno stopnjo in informativni primeri za določitev možne stopnje izpostavljenosti so podani v Tabeli 9.

Tabela 9: Stopnje izpostavljenosti za zmrzovanje in tajanje s sredstvi za tajanje ali brez njih  
[SIST EN 206:2013]

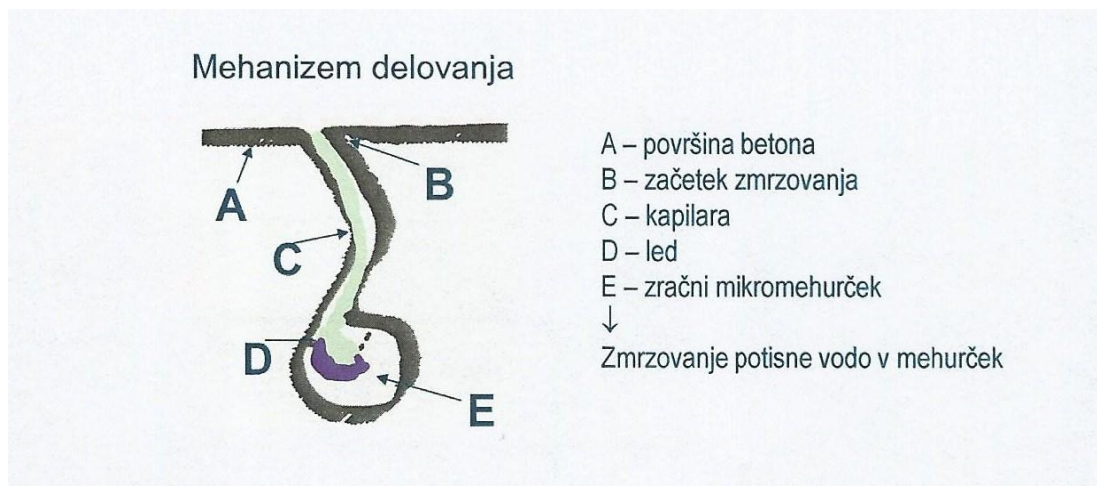
5 Zmrzovanje/tajanje s sredstvi za tajanje ali brez njih		
Če je moker beton izpostavljen znatnemu delovanju izmeničnega zmrzovanje/tajanja, je treba stopnjo izpostavljenosti določiti na naslednji način:		
XF1	Zmerna nasičenost z vodo brez sredstva za tajanje	Navpične betonske površine, izpostavljene dežju in zmrzovanju
XF2	Zmerna nasičenost z vodo brez sredstva za tajanje	Navpične betonske površine konstrukcij na cestah, izpostavljene zmrzovanju in sredstvo za tajanje, ki se prenašajo po zraku
XF3	Močna nasičenost z vodo brez sredstva za tajanje	Vodoravne betonske površine, izpostavljene dežju in zmrzovanju
XF4	Močna nasičenost z vodo, ki vsebuje sredstvo za tajanje, ali z morsko vodo	Krovne plasti na cestah in mostne plošče, izpostavljene sredstvom za tajanje. Betonske površine, izpostavljene neposrednemu pršcu, ki vsebuje sredstva za tajanje, in zmrzovanju. Območje pljuskanja na morskih konstrukcijah, ki so izpostavljene zmrzovanju.

Kot smo že omenili, pri sestavi sveže aerirane betonske mešanice uporabimo kemijski dodatek tipa aerant (v našem primeru ETA S 06), s pomočjo katerega v betonsko mešanico vnesemo drobne zračne mehurčke, ki imajo premer v povprečju okrog 0,3 mm (premeri se gibljejo od 50  $\mu\text{m}$  do 1 mm), kot je prikazano na Sliki 26.



Slika 26: Območje dimenzij trdnih faz in por v cementnem kamnu [17]

Vsebnost zračnih mikromehurčkov je odvisna od vrste uporabljenega cementa in agregata, pomemben vpliv ima lahko predvsem drobna frakcija agregata, od konsistence svežega betona ter od temperature.[6] Mehanizem delovanja vnesenih zračnih mehurčkov je prikazan na Sliki 27. Pri zmrzovanju vode v kapilarnih porah betona bi sprememba agregatnega stanja vode (preoblikovanje vode v led) povzročila povečanje prostornine za 9 %. Pritiski, ki pri tem nastanejo, lahko povzročijo poškodbe v strukturi betona. V primeru, ko imamo v betonu veliko število majhnih zračnih mehurčkov, se lahko voda pod pritiskom izloči v zračni mehurček in tam zmrzne. Ker ima za povečanje prostornine v zračnem mehurčku dovolj prostora, v strukturi betona ne povzroča napetosti.



Slika 27: Mehanizem delovanja zračnega mehurčka

Aeriranih betonov pa ne uporabljamo samo tam, kjer obstaja nevarnost močenja in zmrzovanja betona, ampak tudi v primerih, ko želimo zmanjšati lastno težo betona.

V 9. poglavju bomo primerjali navadni in aerirani beton v svežem in v strjenem stanju. Pokazali bomo, da z naraščanjem vsebnosti zračnih mehurčkov vplivamo na konsistenco betona tako, da se večja posed, istočasno pa manjšamo tlačno trdnost betona.

## 8 PREIZKUSI SVEŽE BETONSKE MEŠANICE

### 8.1 KONSISTENCA SVEŽE BETONSKE MEŠANICE Z METODO POSEDA STOŽCA

Za merjenje konsistence sveže betonske mešanice imamo več postopkov merjenja, kot so metoda s posedom, metoda z razlezom ter metoda zgoščevanja pri vibriranju. Konsistenca svežega betona se mora preveriti ob vsaki delovni izmeni ter ob vsaki spremembi recepture betonske mešanice. V Betonarni Boštanj uporabljajo metodo s posedom v skladu s standardom SIST EN 12350-2.

Metoda s posedom je najenostavnejša in najhitrejša metoda za določanje konsistence sveže betonske mešanice. Za ta postopek potrebujemo kalup v obliki prisekanega stožca, jekleno palico dolžine 600 mm, jekleno podlago ter merilno napravo za določanje poseda (meter) (Slika 28). Kalup in jekleno podlago predhodno navlažimo ter postavimo na ravna tla. Kalup višine 300 mm napolnimo s svežo betonsko mešanico v treh plasteh, tako da vsako plast prebodemo z jekleno palico s petindvajsetimi udarci. Pri tem moramo betonsko mešanico ves čas prebadati, vendar moramo pri tem paziti, da stojimo z nogami na jezičkih (stopalkah) na dnu kalupa tako, da preprečimo dviganje kalupa in s tem razlivanje sveže betonske mešanice. Ko prisekan stožec napolnimo do vrha, zgornjo plast betona poravnamo z vrhom kalupa. Nato kalup navpično dvignemo (to lahko traja največ od 5 do 10 sekund) tako, da se morebitni premiki v horizontalni smeri in sukanje kalupa ne prenašajo na beton. Sveža betonska mešanica se posede zaradi delovanja lastne teže. Kalup obrnemo in postavimo zraven mešanice. Nato na kalup postavimo jekleno palico in izmerimo razdaljo od jeklene palice do najvišje točke posednega vzorca betonske mešanice (Slika 29).

Celotni postopek ne sme trajati več kot 150 sekund. Če vsebuje sveža betonska mešanica zrna agregata, večja od 63 mm, ta metoda ni uporabna, izbrati moramo drugo. [12]

Tabela 10: Razredi konsistence svežih betonov glede na posed [12]

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



Slika 28: Oprema za preizkus konsistence sveže betonske mešanice za metodo poseda [5]



Slika 29: Rezultat preizkusa konsistence sveže betonske mešanice z metodo poseda [16]

## 8.2 DOLOČANJE VSEBNOSTI ZRAKA V SVEŽI BETONSKI MEŠANICI

Določanje vsebnosti zraka v sveži betonski mešanici poteka v porozimetru prostornine osem litrov. Vsebnost zraka v sveži betonski mešanici je v betonarni treba določiti vsak dan proizvodnje prve šarže ali prve odpeljane količine, dokler se vrednosti ne ustalijo. [3] Postopek določanja vsebnosti zraka v svežem betonu opisuje standard SIST EN 12350-7. Največje zrno agregata ne sme presegati 63 mm.



Slika 30: Porozimeter z manometrom na vrhu [16]

Posodo porozimetra napolnimo s svežo betonsko mešanico v dveh plasteh ali v eni plasti, odvisno od konsistence betona, in s pomočjo vibratorja vibriramo toliko časa, da se betonska mešanica čim bolj razporedi po posodi. Zadnjo oz. zgornjo plast poravnamo z vrhom posode tako, da se beton enakomerno porazdeli po celotni površini, vendar se ne sme izlivati prek nje. Nato moramo rob porozimetra skrbno očistiti, enakomerno in pravilno namestiti pokrov porozimetra ter ga pritrditi na posodo porozimetra. Ko uspešno namestimo pokrov porozimetra, imamo na vsaki strani pokrova odprta ventila za vodo. Prek enega spuščamo vodo toliko časa, da priteče prek ventila na drugi strani (Slika 30). Voda je zapolnila prostor med pokrovom porozimetra in površino betona. Nato oba ventila zapremo zaradi pritiska, ki bo nastal v posodi. Stisnjen zrak vnesemo v pokrov porozimetra



s pomočjo ročne tlačilke za zrak v takšni količini, da kazalec na manometru pokaže na kalibrirano ničlo manometra. Na posodi je tudi gumb, s katerim odpremo ventil, ki omogoči dostop stisnjenemu zraku do vode nad površino betona. Stisnjen zrak zbije sveži beton na določeno prostornino, kar posledično pomeni padec pritiska zraka v pokrovu porozimetra. Manometer je kalibriran tako, da prikaže ta padec kot delež zraka v svežem betonu v %. [12]

### 8.3 DOLOČANJE PROSTORNINSKE MASE SVEŽE BETONSKE MEŠANICE

Pri določanju prostorninske mase sveže betonske mešanice (zadnje čase je bolj v uporabi izraz gostota sveže betonske mešanice, ki ga uporabljamo v poglavjih v nadaljevanju) uporabimo enako posodo, kot pri določanju vsebnosti zraka v sveži betonski mešanici. Postopek določanja prostorninske mase je opisan v standardu SIST EN 12350-6. Posodo s prostornino 8l napolnimo v dveh plasteh (Slika 32) tako, da vsako plast dobro z vibriramo (Slika 31), zaradi boljše razporeditve sveže betonske mešanice po posodi. Na koncu površino zgornje plasti svežega betona zagladimo z jekleno gladilko, tako da je površina na nivoju zgornjega roba posode. Paziti moramo, da se izognemo prekomernemu vibriranju, pri aeriranem betonu predvsem zaradi izločanja prevelike količine zraka. Najprej moramo na tehtnico postaviti prazno posodo ( $m_1$ ), nato pa še posodo s svežo betonsko mešanico ( $m_2$ ) ter si meritve mas zabeležiti na laboratorijski list.

Na podlagi meritev mas lahko izračunamo prostorninsko maso sveže betonske mešanice.

Postopek izračuna prostorninske mase sveže betonske mešanice:

$$\gamma = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

(1)

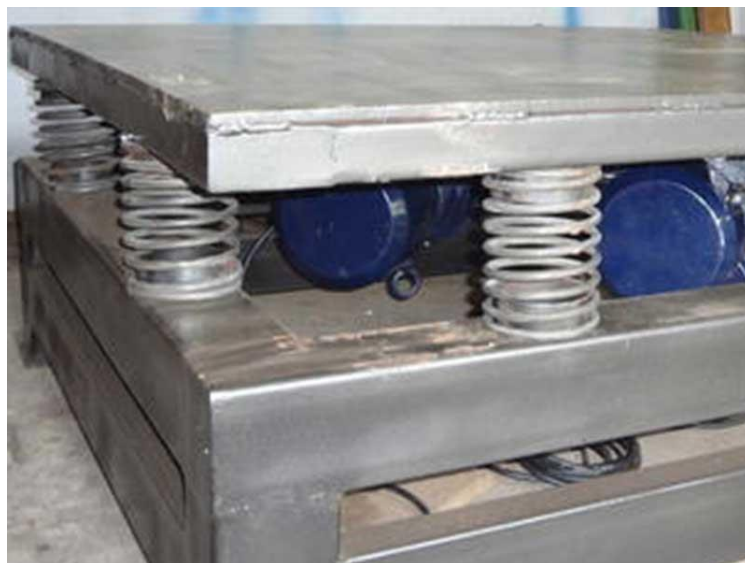
Kjer je:

$\gamma$ ...prostorninska masa sveže betonske mešanice [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

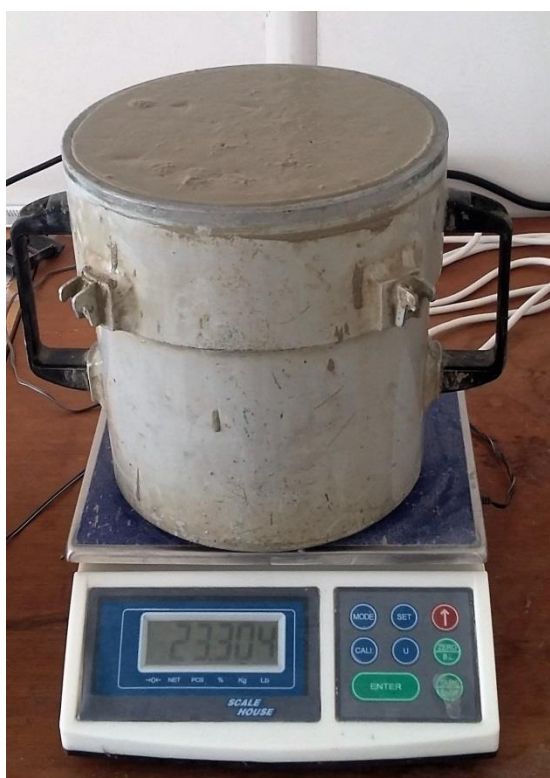
$m_1$ ...masa prazne posode [kg]

$m_2$ ...masa polne posode [kg]

$V$ ...prostornina posode [ $\text{m}^3$ ]



Slika 31: Vibracijska miza za vibriranje kalupa s svežo betonsko mešanico [5]



Slika 32: Posoda na merilni tehnici za določanje prostorninske mase sveže betonske mešanice [16]

## 8.4 DOLOČANJE VODOCEMENTNEGA RAZMERJA SVEŽE BETONSKE MEŠANICE

Določanje vodocementnega razmerja sveže betonske mešanice izvedemo s pomočjo sušenja sveže betonske mešanice v mikrovalovni pečici, v skladu z določili standarda SIST EN 1026:2016. V tem preizkusu določimo količino vode, ki je prisotna v betonski mešanici. Najprej moramo stehtati merilno posodo (uporabimo primerno posodo za uporabo v mikrovalovni pečici, običajno premera od 28 do 32 cm), v katero bomo dali vzorec sveže betonske mešanice. Posodo z vzorcem sveže betonske mešanice postavimo na tehtnico ter odčitamo pripadajočo maso. Masa vzorca mora biti najmanj 2 kg, največje zrno agregata pa ne sme presegati 32 mm. Poznati moramo maso posode ( $m_1$ ), da lahko izračunamo maso vzorca svežega betona ( $M_{bs}$ ), ki jo zapišemo na laboratorijski list. Nato posodo s svežo betonsko mešanico vstavimo v mikrovalovno pečico (Slika 33) in začnemo sušiti vzorec. Sušenje vzorca v mikrovalovni pečici se mora začeti najpozneje v 30 minutah po stiku cementa in vode. Trajanje sušenja je odvisno od moči mikrovalovne pečice. Pomembno je, da se vzorec skozi celotno prostornino dobro posuši. Ko je vzorec posušen, ga znova stehtamo in meritev zapišemo ( $M_{bp}$ ). Sledijo izračuni, ki jih prikazujemo v nadaljevanju.



Slika 33: Vzorec sveže betonske mešanice pred sušenjem [16]

#### 8.4.1 Količina vode v sveži betonski mešanici:

»Masni delež celotne količine vode v svežem betonu se izračuna po naslednji enačbi:

$$v = \frac{(M_{bs} - M_{bp})}{M_{bs}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Kjer je:

v...masni delež celotne vode svežem betonu [m/m%]

M<sub>bs</sub>...masa vzorca svežega betona [kg]

M<sub>bp</sub>...masa vzorca posušenega betona [kg]« [3].

#### 8.4.2 Izračun celotne količine vode v svežem betonu:

»Celotna količina vode v 1 m<sup>3</sup> vgrajenega svežega betona se izračuna po naslednji enačbi:

$$V = \rho_{bs} * v \quad (3)$$

Kjer je:

V...celotna količina vode v m<sup>3</sup> vgrajenega svežega betona [kg/m<sup>3</sup>]

ρ<sub>bs</sub>...prostorninska masa svežega betona, določena po SIST EN 12350-6 [kg/m<sup>3</sup>]

v...masni delež celotne vode v svežem betonu, ki se izračuna po enačbi (2) [m/m %]« [3.3].

### 8.4.3 Izračun vode, ki jo vpije agregat:

»Vpijanje posameznih frakcij agregata  $WA_i$  se predhodno določi po SIST EN 1097-6.

Količina posamezne frakcije agregata  $M_{Ai}$  v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona je njena povprečna masa v tej vrsti betona, določena iz zapisov betonarne.

Količina vode, ki jo vpije agregat [sestavljen iz  $n$  frakcij] v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona  $V_{WA}$ , se izračuna iz naslednje enačbe (4):

$$V_{WA} = \sum_{i=1}^n WA_i \cdot M_{Ai} \quad (4)$$

Kjer je:

$V_{WA}$ ...količina vode, ki jo vpije agregat v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$WA_i$ ...vpijanje vode  $i$ -te frakcije agregata, določeno po SIST EN 1097-6 [ $\text{m}/\text{m} \%$ ]

$M_{Ai}$ ...količina  $i$ -te frakcije v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]« [3.3].

### 8.4.4 Izračun efektivne vsebnosti vode v svežem betonu:

»Efektivna vsebnost vode v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona  $V_{ef}$  se izračuna iz naslednje enačbe«:

$$V_{ef} = V - V_{WA} \quad (5)$$

Kjer so:

$V_{ef}$ ...efektivna vsebnost vode v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$V$ ...celotna količina vode v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona, ki se izračuna iz enačbe (3) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$V_{WA}$ ...količina vode, ki jo vpije agregat v  $1\text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona, ki se izračuna iz enačbe (4)  $[\text{kg}/\text{m}^3]$  [3.3].

#### 8.4.5 Določitev količine veziva (cementa, mineralnega dodatka)

»Količina veziva DV v  $1\text{ m}^3$  betona je njegova povprečna masa v tej vrsti betona, določena iz zapisov ali odčitanih količin v betonarni.« [3.3]

#### 8.4.6 Izračun vodocementnega razmerja:

»Vodocementno razmerje svežega betona  $v/c$  se izračuna po naslednji enačbi«:

$$v/c = \frac{V_{ef}}{DV}$$

(6)

Kjer so:

$v/c$ ...vodocementno razmerje svežega betona

$V_{ef}$ ...efektivna vsebnost vode v  $1\text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona, ki se jo izračuna iz enačbe (5)

DV...količina veziva v  $1\text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona, ki se jo določi na način, podan v točki 4.4.5.  $[\text{kg}/\text{m}^3]$  [3.3].

#### 8.4.7 Zapisi o preizkusu

»Zapis o določitvi vodocementnega razmerja svežega betona mora vsebovati naslednje podatke:

- a) označbo preizkušanca,
- b) mesto izdelave preizkušanca in izvajanje preizkusa,

- c) datum ter čas izdelave preizkušanca in izvajanje preizkusa,
- d) gostoto preizkušanca,
- e) razmerje  $v/c$ .

Zapis lahko vsebujejo še podatke o:

- f) temperaturi vzorca,
- g) temperaturi zraka.«[3.3]

## 8.5 IZDELAVA TER NEGA PREIZKUŠANCEV

V Betonarni Boštanj se kontrolira proizvodnja betona v skladu z določili standardov SIST EN 206:2013 in SIST 1026:2016. Pri tem se upoštevajo določila poglavij *Kontrola proizvodnje* in *Kontrola skladnosti in merila skladnosti*, obeh standardov. Kontrola skladnosti je kombinacija dejanj in odločitev, ki jih je treba sprejeti v skladu z vnaprej sprejetimi pravili za ugotavljanje skladnosti, da se preveri skladnost betona s specifikacijo. Kontrola skladnosti je bistveni sestavni del kontrole proizvodnje.

Za program vzorčenja in preskušanja velja: »Vzorke betona je treba izbrati naključno in jih jemati v skladu s SIST EN 12350 – 1. Vzorčenje je treba opraviti za vsako posamezno sestavo betona ali za vsako družino betonov, proizvedeno v domnevno enakih pogojih. Najmanjša pogostost vzorčenja in preskušanja betona v skladu s Tabelo 17 mora dati največje število vzorcev pri začetni oziroma pri stalni proizvodnji. Ne glede na zahteve o vzorčenju iz 8.1 je treba vzorce betona vzeti po dodajanju vode ali kemijskih dodatkov, za kar je odgovoren proizvajalec betona. Vzorčenje pred dodajanjem plastifikatorja ali superplastifikatorja za prilagoditev konsistence (glej 7.5) pa je dovoljeno, če je bilo v okviru začetnega preskušanja dokazano, da plastifikator ali superplastifikator v uporabljeni količini nima negativnega učinka na trdnost betona.« [3]

Za preiskave lastnosti betona v strjenem stanju vgradimo svežo betonsko mešanico v standardne kalupe, ki so lahko različnih oblik in dimenzij. Najpogosteje uporabljamo kalupe za kocke z robom 150 mm (kalup 150 mm x 150 mm x 150 mm). Preizkušanci so lahko tudi v obliki prizem ali valjev, vendar so te oblike manj pogoste.

Oblika, dimenzije kalupov ter dovoljena odstopanja od dimenzij za preizkušance v obliki kock, valjev in prizem ter kalupov, s pomočjo katerih preizkušance izdelamo, so predmet standarda SIST EN 12390-1. Način izdelave in nege preizkušancev za preizkušanje trdnosti pa določa standard SIST EN 12390-2. Preden kalup napolnimo s svežo betonsko mešanico, ga moramo dobro očistiti ter premazati z opažnim oljem, da se beton ne prime

na kovinske stene kalupa. Nato kalup napolnimo v dveh plasteh s svežo betonsko mešanico ter vsako plast dobro zgostimo, v skladu z navodili v SIST EN 12390-2. Na koncu površino betona poravnamo z jekleno gladilko tako, da je površina poravnana z zgornjimi robovi kalupa. Kalupi morajo biti vsaj enkrat letno kalibrirani.

Na zgornjo površino svežega betona v kalupu nato položimo listek, na katerem so zapisani bistveni podatki o betonu in datum izdelave preizkušanca, kar omogoča sledljivost za vse pomembne podatke o betonskem vzorcu. Na listku je običajno zapisana oznaka betona, trdnostni razred betona, čas odvzemanja vzorca ter datum izdelave vzorca. Kalupe, napolnjene s svežo betonsko mešanico, postavimo v poseben prostor s konstantno temperaturo  $20 \pm 2$  °C, kjer so zavarovani pred udarci, izsušitvijo (vzorci pokrijemo s plastično folijo, da preprečimo izhlapevanje vode iz vzorca) ter zunanjimi vplivi (Slika 34). Pri starosti 24 ur (običajno) preizkušance razkalupimo ter nepoškodovane kocke vstavimo v zaboj z vodo (Slika 35), ki ima konstanto temperaturo  $20 \pm 2$  . Kocke pustimo v vodi do starosti 28 dni. Pri starosti 28 dni na kockah določimo tlačno trdnost. Pri kontroli skladnosti za tlačno trdnost velja sledeče: »V programu vzorčenja in preskušanja ter pri merilih skladnosti za posamezne sestave betona ali družine betonov je potrebno razlikovati med začetno proizvodnjo in stalno proizvodnjo. Začetna proizvodnja traja, dokler ni na voljo najmanj 35 rezultatov preskušanja. Stalna proizvodnja je dosežena, ko je v obdobju največ enega leta na voljo najmanj 35 rezultatov preskušanja. Če se proizvodnja posamezne sestave betona ali družine betonov začasno ustavi za dlje kot eno leto, mora proizvajalec upoštevati merila ter program jemanja vzorcev in preskušanja za začetno proizvodnjo. Proizvajalec lahko tudi pri stalni proizvodnji upošteva program vzorčenja in preskušanja ter merila za začetno proizvodnjo.« [3]

Tabela 11 podaja najmanjšo pogostost vzorčenja za ugotavljanje skladnosti po razveljavljenem standardu SIST EN 206-1:2003, Tabela 12 pa po veljavnem standardu SIST EN 206:2013. Po primerjavi smo ugotovili, da se pri stalni proizvodnji najmanjša pogostost vzorčenja poveča na vsaj en vzorec na koledarski mesec v primeru, da imamo le en proizvodni dan v koledarskem mesecu.



Tabela 11: Najmanjša pogostost vzorčenja za ugotovitev skladnosti po SIST EN 206-1:2003

Proizvodnja	Najmanjša pogostost vzorčenja		
	prvih 50 m <sup>3</sup> proizvodnje	po 50 m <sup>3</sup> proizvodnje <sup>a</sup>	
		beton s certificirano kontrolno proizvodnje	beton brez certificirane kontrolne proizvodnje
Začetna (dokler ni na razpolago najmanj 35 rezultatov preizkušanja)	3 vzorci	1/200 m <sup>3</sup> ali 2/proizvodni teden	1/150 m <sup>3</sup> ali 1/proizvodni teden
Stalna <sup>b</sup> (če je na razpolago najmanj 35 vzorcev preizkušanja)	-	1/400 m <sup>3</sup> ali 1/proizvodni teden	

<sup>a</sup> Vzorčenje je treba porazdeliti tekom proizvodnje, na vsakih 25 m<sup>3</sup> naj se vzame največ 1 vzorec.

<sup>b</sup> Kadar je standardni odklon za zadnjih 15 preskusov večji od 1,37 σ je treba za naslednjih 35 rezultatov pogostost jemanja vzorcev povečati na tisto, ki se zahteva za začetno proizvodnjo.

Tabela 12: Najmanjša pogostost vzorčenja za ugotovitev skladnosti po SIS EN 206-2013

Proizvodnja	Najmanjša pogostost vzorčenja		
	prvih 50 m <sup>3</sup> proizvodnje	po 50 m <sup>3</sup> proizvodnje <sup>a</sup> , največja od pogostosti, določenih z:	
		beton s certificirano kontrolo proizvodnje	beton brez certificirane kontrole proizvodnje
Začetna (dokler ni na razpolago najmanj 35 rezultatov preizkušanja).	trije vzorci	1 na vsakih 200 m <sup>3</sup> ali 1 na 3 proizvodne dni <sup>d</sup>	1 na vsakih 150 m <sup>3</sup> ali 1 na proizvodni dan <sup>d</sup>
Stalna <sup>b</sup> (če je na razpolago najmanj 35 vzorcev preizkušanja).	-	1 na vsakih 400 m <sup>3</sup> ali 1 na 5 proizvodni dni <sup>c,d</sup> ali 1 na koledarski mesec	

<sup>a</sup> Vzorčenje je treba porazdeliti tekom proizvodnje, na vsakih 25 m<sup>3</sup> naj se vzeme največ 1 vzorec.

<sup>b</sup> Kadar je standardni odklon za zadnjih 15 preizkusov večji od 1,37 σ je treba za naslednjih 35 rezultatov pogostost jemanja vzorcev povečati na tisto, ki se zahteva na začetno proizvodnjo.

<sup>c</sup> Ali č e je na več kot pet proizvodnih dni v sedmih zaporednih koledarskih dnevih, enkrat na koledarski teden.

<sup>d</sup> Definicija proizvodnega dne mora biti opredeljena v predpisanih, ki veljajo v kraju uporabe.

OPOMBA: Proizvodni dan je opredeljen kot koledarski dan, v katerem poteka proizvodnja betona. [SIST 1026:2016]



Slika 34: Izdelava kock v jeklenih kalupih s stranico 150 mm [16]



Slika 35: Betonske kocke, postavljene v zaboj z vodo [5]

## 9 IZDELAVA IN PRIMERJAVA LASTNOSTI NAVADNEGA TER AERIRANEGA BETONA

### 9.1 SESTAVA BETONOV

Tabela 13: Sestava betonske mešanice [16]

Številka vzorca	1	2	3	4	Enota	
Beton:	C 25/30	C 25/30	C 25/30	C 25/30		
Cement: Trbovlje, CEM II/B-M(W-L) 42,5N	330	330	330	330	kg/m <sup>3</sup>	
Dodatek:	TKK Srpenica Hiperplast	2,3	2,3	2,3	2,3	kg/m <sup>3</sup>
	Tkk Srpenica Eta S 06	/	0,4	0,35	0,3	kg/m <sup>3</sup>
Pore:	1,8	8	6	4	%	
Voda: V / C tot	0,6	0,58	0,59	0,58		
Teža svežega betona:	2450	2301	2340	2420	kg/m <sup>3</sup>	

Iz Tabele 13, ki prikazuje sestavo štirih različnih betonskih mešanic, je razvidno, da smo opravili primerjavo betonskih mešanic projektiranega trdnostnega razreda C 25/30. Za vse štiri sestave smo imeli enako količino cementa, vode, agregata ter dodatka Hiperplast 182. Razlika med sestavami je bila le v tem, da smo spreminjali količino vnesenih mikromehurčkov, s pomočjo kemijskega dodatka tipa aerant s tržnim imenom Eta S 06 (Tabela 13). To pomeni, da se je z dodajanjem aeranta večala prostornina betona, ki je bila pri aeriranih betonih zato večja od 1m<sup>3</sup>. Dodatek Hiperplast 182 smo uporabili zato, da smo dosegli boljše obdelovalnost svežega betona, lažje črpanje betona ter znižanje količine zamesne vode v betonu, kar posledično vpliva na zmanjšanje vodocementnega razmerja. Vse kemijske dodatke, ki smo jih uporabljali za pripravo betonov, proizvaja podjetje TKK Srpenica. Pravilo je, da se pri kombinaciji različnih vrst kemijskih dodatkov uporabi dodatke istega proizvajalca, saj je tako običajno zagotovljena najbolj optimalna kompatibilnost kemijskih dodatkov.

## 9.2 IZDELAVA BETONOV IN PREISKAVE NJIHOVIH LASTNOSTI

V prvi fazi smo v Betonarni Boštanj zamešali en vzorec navadnega, neaeriranega betona projektiranega trdnostnega razreda C 25/30, ki smo ga označili z zaporedno številko 1 (Slika 35). Na betonu 1 smo v nadaljevanju opravili preverjanje lastnosti v svežem stanju, in sicer smo določili konsistenco sveže betonske mešanice z metodo poseda, vodocementno razmerje, gostoto sveže betonske mešanice in vsebnost zraka. V tem primeru aeranta nismo dodali, ker smo beton 1 izbrali kot referenčno, primerjalno mešanico.

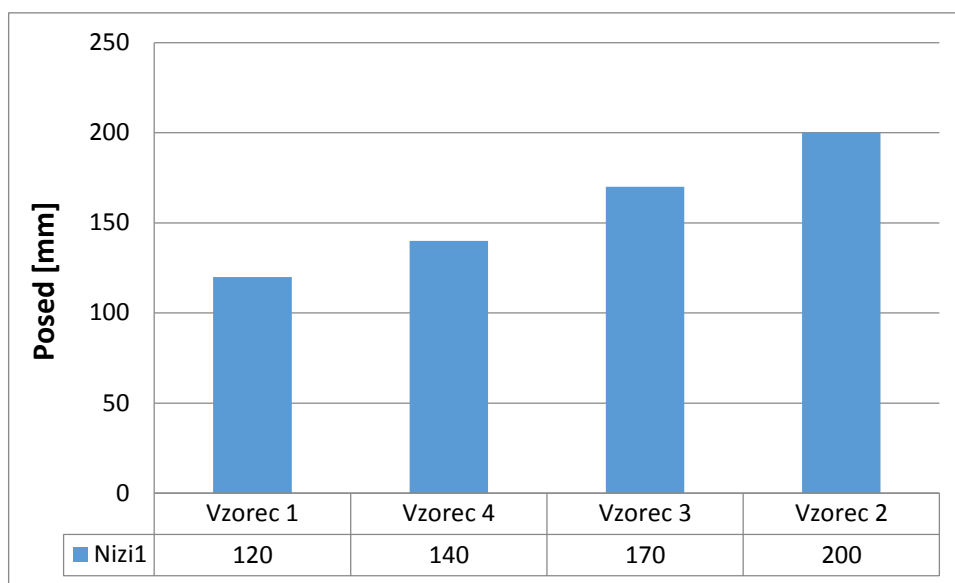
V drugi fazi smo zamešali tri vzorce aeriranega betona projektiranega trdnostnega razreda C 25/30 (Slika 35). Betoni so se razlikovali v vsebnosti dodatka Eta S 06. Beton 2 je vseboval največjo količino dodatka (0,40 %), beton 3 manjšo količino (0,35 %) in beton 4 najmanjšo količino (0,30 %) izbranega aeranta.

Vse štiri betone smo vgradili v kalupe, oblike kock z robom 150 mm (Slika 34), jih 24 ur skrbno negovali, oboje v skladu z določili standarda SIST EN 12390 – 2. En dan stare kocke iz strjenega betona smo postavili v vodo, kjer so ostale do starosti 28 dni (Slika 35). Na 28 dni starih kockah smo določili tlačno trdnost betona.

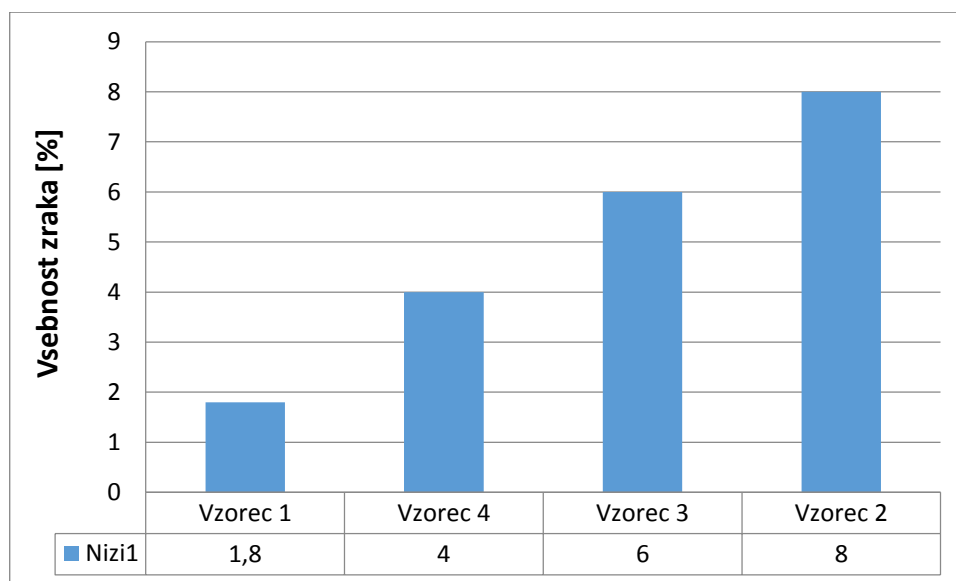
## 9.3 REZULTATI TER UGOTOVITVE PREISKAV SVEŽIH BETONOV

Tabela 14: Rezultati preiskav svežih betonov

številka vzorca	posed [mm]	gostota [ $\text{kg/m}^3$ ]	vodocementno razmerje	vsebnost por [%]	Temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]
1	120	2450	0,6	1,8	25
4	140	2420	0,58	4	23
3	170	2340	0,59	6	23,8
2	200	2301	0,58	8	25



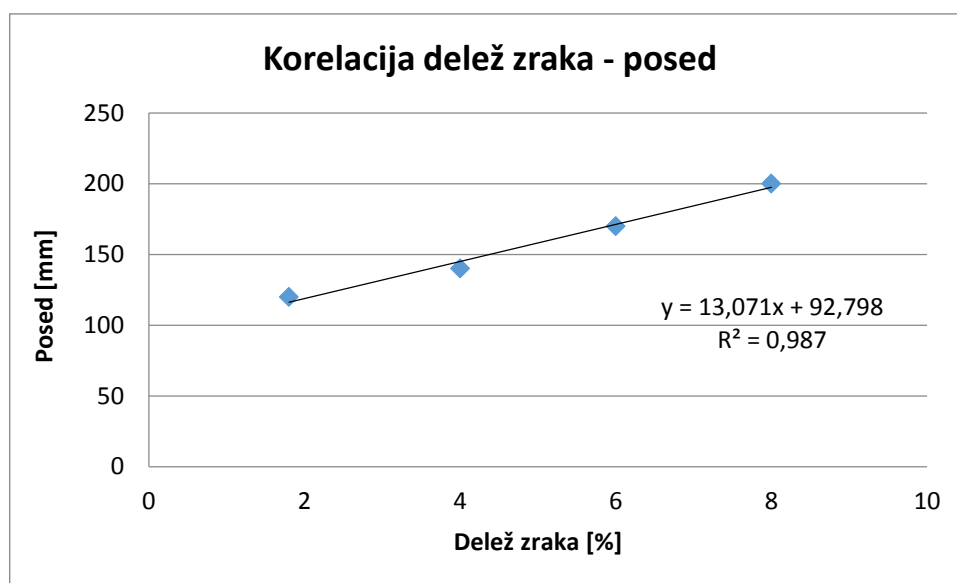
Graf 1: Prikaz rezultatov poseda za štiri sestave betonov



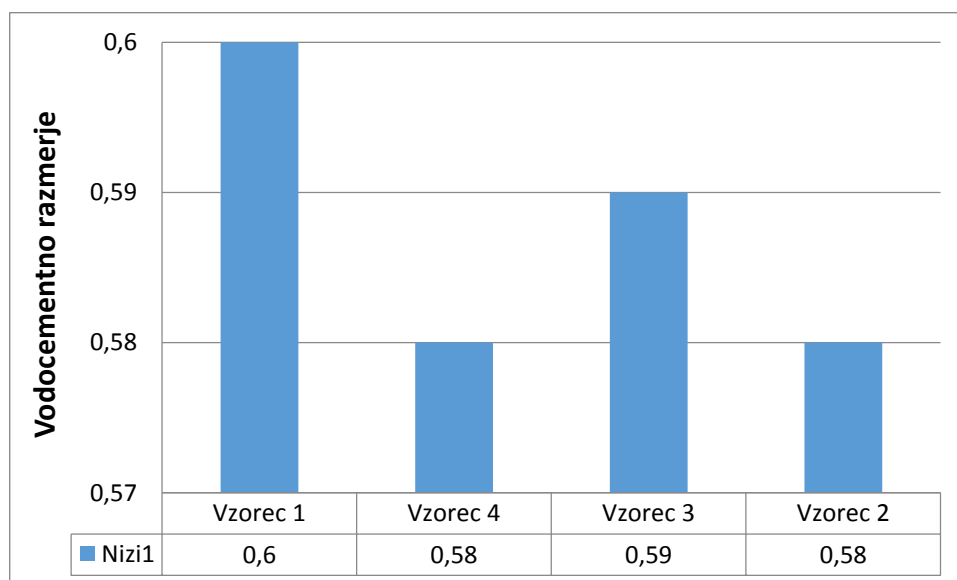
Graf 2: Prikaz vsebnosti zračnih mehurčkov v % za štiri sestave betonov

Rezultati preiskav svežih betonov so podani v Tabeli 14 in na grafih 1, 2, 4 in 5. Iz rezultatov v Tabeli 14 in Grafu 1 vidimo, da ima najmanjši posed referenčna mešanica brez aeranta (120 mm), potem pa posed narašča z naraščanjem deleža zraka v betonu in pri največjem deležu zraka (8 %) doseže 200 mm. V skladu s pričakovanji se je prostorninska masa svežega betona z večanjem deleža vnesenih zračnih mehurčkov manjšala (Graf 5). Vsebnost zraka se je z večanjem vsebnosti aeranta večala, in sicer je imel referenčni beton

1,8 % zraka (zajetega), beton z 0,30 % aeranta je dosegel 4 % poroznost, betona s 0,35 in 0,40 % aeranta pa 6 % in 8 % poroznost. Vidimo lahko, da celotna poroznost svežega betona, izmerjena s porozimetrom, narašča v koraku 2 % od referenčnega betona 1 proti betonu 4 (Graf 2). Ker smo tudi vsebnost aeranta enakomerno povečevali od betona 2 do betona 4, obstaja torej popolna korelacija med povečanjem deleža aeranta in povečanjem deleža zraka v svežem betonu. Tudi korelacija med deležem zraka v svežem betonu in njegovim posedom je dobra (Graf 3).

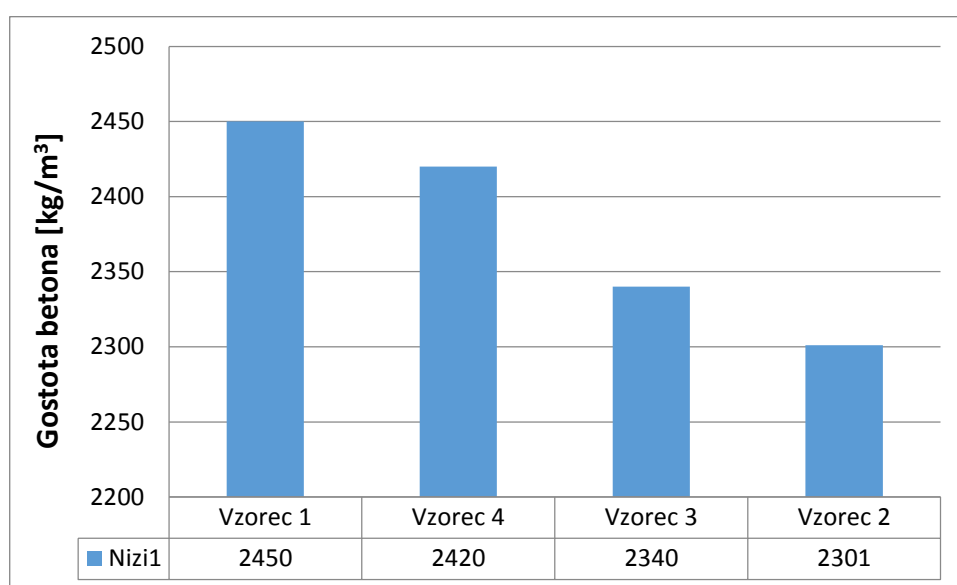


Graf 3: Korelacija med deležem zraka in posedom svežega betona



Graf 4: Vodocementno razmerje za štiri sestave betona

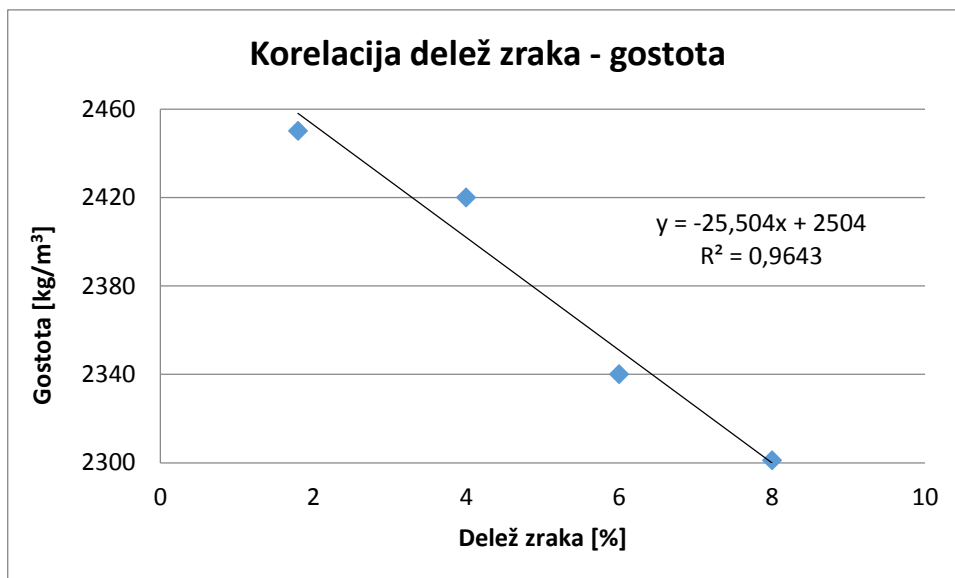
Graf 4 prikazuje rezultate za vodocementno razmerje. Vidimo, da smo največje vodocementno razmerje določili na referenčnem betonu (0,6), sledi beton 3 z razmerjem, enakim 0,59, najmanjše razmerje, enako 0,58, pa smo določili na betonih 2 in 4. Projektirano vodocementno razmerje je bilo 0,62. Manjše izmerjene vrednosti vodocementnih razmerij so lahko posledica uporabe suhega agregata ali premajhnega števila ponovitev preiskave.



Graf 5: Prikaz gostot za štiri sestave betona

Iz Grafa 5 vidimo, da je gostota sveže betonske mešanice največja pri betonu 1, ki vsebuje 1,8 % zraka, in najmanjša pri betonu 4, ki vsebuje 8 % zraka. Če opravimo napoved gostot svežega betona pri različnih vsebnostih zraka, glede na vrednost pri referenčnem betonu, ugotovimo, da bi pričakovali naslednje prostorninske mase: 2400 kg/m<sup>3</sup> pri 4 % deležu zraka, 2350 kg/m<sup>3</sup> pri 6 % deležu zraka ter 2305 kg/m<sup>3</sup> pri 8 % deležu zraka. Dejansko izmerjene vrednosti so 2420 kg/m<sup>3</sup> pri 4 % deležu zraka, 2340 kg/m<sup>3</sup> pri 6 % deležu zraka ter 2301 kg/m<sup>3</sup> pri 8 % deležu zraka. Vidimo, da je največje odstopanje med napovedano in izmerjeno gostoto svežega betona pri najmanjšem deležu vnesenega zraka, najmanjše pa pri največjem deležu zračnih mehurčkov v betonu. Kljub temu je tudi pri prostorninski masi svežega betona korelacija med prostorninsko maso in deležem zraka v betonu dobra (Graf 6).



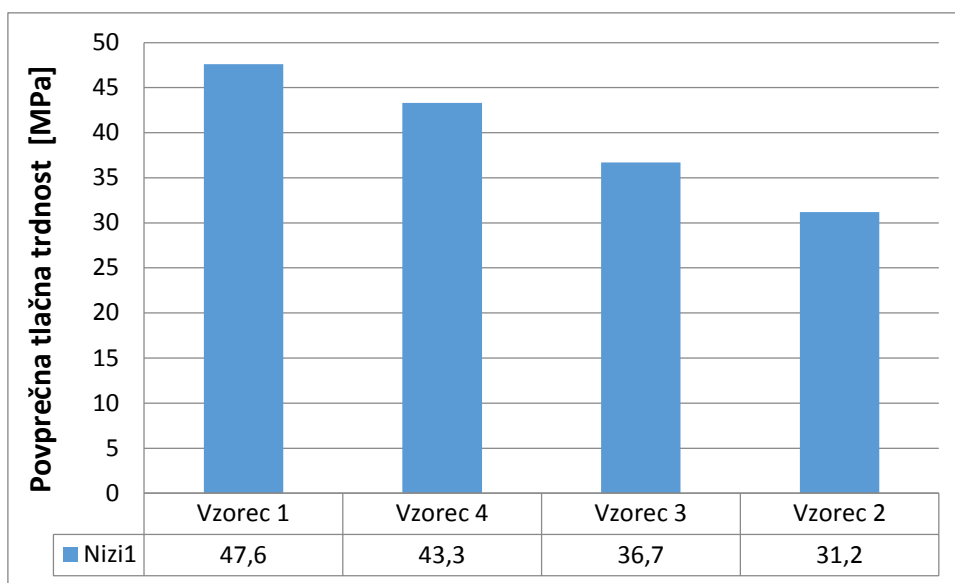


Graf 6: Korelacija med deležem zraka in gostoto svežega betona

#### 9.4 REZULTATI PREISKAV TLAČNE TRDNOSTI BETONA

Tabela 15: Povprečne tlačne trdnosti betonov pri starosti 28 dni

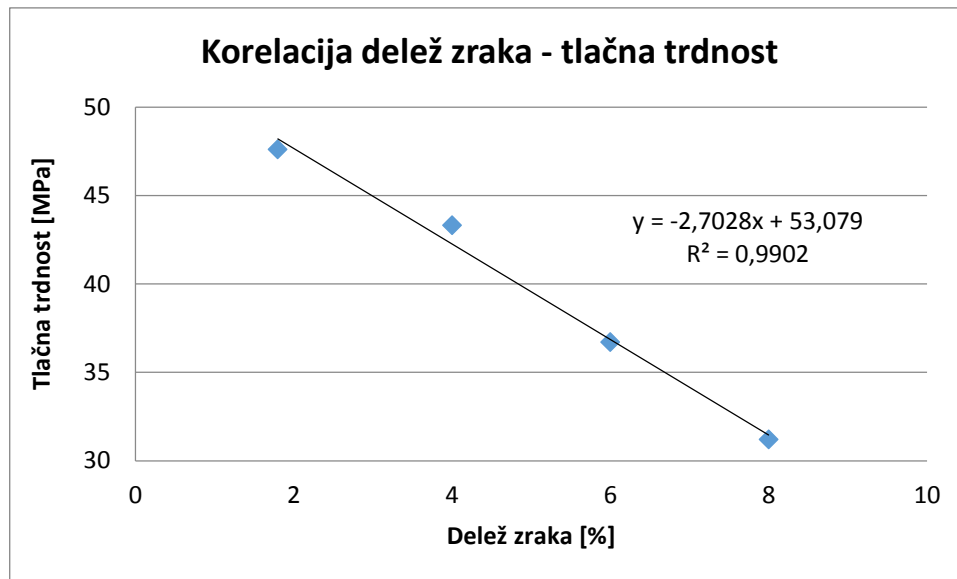
Številka vzorca	Povprečna tlačna trdnost [MPa]
1	47,6
2	31,2
3	36,7
4	43,3



Graf 7: Prikaz povprečne tlačne trdnosti betonov pri starosti 28 dni

Iz Grafov 7 in 8 je razvidno, da večja, kot je vsebnost zraka v betonu, manjša je njegova tlačna trdnost, kar je pričakovan rezultat. Opravljena korelacija pokaže tudi (Graf 8), da povečanje deleža zraka za 1 % pomeni padec tlačne trdnosti za 2,7 MPa ali okrog 5 %, seveda pri sestavah, ki so bile predmet raziskav.

Ugotovimo lahko tudi, da bi vsaj za sestavo betona brez aeranta bilo treba razred tlačne trdnosti povečati na C 30/37, v isti razred pa bi lahko uvrstili še vzorec 4. Po drugi strani pa je vprašanje, ali beton z največjim deležem zraka (8 %) izpolnjuje zahteve za razred tlačne trdnosti C25/30 (projektirani razred tlačne trdnosti), saj je povprečna tlačna trdnost samo 1 MPa višja od karakteristične tlačne trdnosti. Vsekakor bi za uvrstitev sestav aeriranih betonov v ustrezne razrede potrebovali rezultate preiskav na večjem številu vzorcev.



Graf 8: Korelacija med deležem zraka in tlačno trdnostjo strjenega betona

## 10 VPELJAVA NOVIH STANDARDOV

Z novima standardoma za beton, SIST EN 206:2013 in SIST 1026:2016, so postale vrednosti najmanjšega razreda tlačne trdnosti, najmanjše količine cementa ter največjega vodocementnega razmerja pri določeni stopnji izpostavljenosti zahteva (prej so bile vrednosti priporočene). Zahtevane so tudi lastnosti, ki jih mora izpolnjevati beton, da bo odporen na okolje, ki ga predstavlja določena stopnja izpostavljenosti. Konkretno to pomeni, da so določila, zbrana v preglednici N.3 standarda SIST 1026:2016, postala zahteva. Za betonarno to pomeni ali dvig količine cementa v recepturah ali uporabo hiperplastifikatorjev, ki omogočajo večjo redukcijo vode kot superplastifikatorji. Posledično je treba spreminjati recepture.

Kot je razvidno iz primerjave med Tabelo 11 in Tabelo 12, se spremeni tudi pogostost vzorčenja za stalno proizvodnjo, ki je večja.

Iz Slike 36, na kateri je prikazana preglednica N.3, lahko razberemo stopnje izpostavljenosti in pripadajoče mejne vrednosti sestave in lastnosti betona. Kot primer smo na Sliki 36 z rdečo barvo označili stopnjo izpostavljenosti XD3, s pomočjo katere želimo opisati novosti. Vidimo, da mora beton, ki je izpostavljen stopnji izpostavljenosti XD3, imeti vodocementno razmerje največ 0,45, razred tlačne trdnosti najmanj C35/45 in količina cementa najmanj 320 kg. Poleg tega mora biti stopnja odpornosti betona proti prodoru vode pod pritiskom enaka PV-III. Če nastopa XD3 v kombinaciji z eno od stopenj XF, pri kateri se zahteva aeriranje betona, je lahko razred tlačne trdnosti C 30/37 (oznaka »« pod razredom tlačne trdnosti).

Bistvene razlike med starim standardom SIST EN 206-1:2003 ter novim standardom SIST EN 206:2013 so zbrane v Tabeli 17.

Tabela 16: Bistvene razlike po standardu SIST EN 206-1:2003 ter SIST EN 206:2013

SIST EN 206-1:2003	SIST EN 206:2013
/	Vključeni konsistenčni razredi za SCC (samozgoščevalni beton).
/	5. poglavje, temeljne zahteve za osnovne materiale, vključena tudi vlakna.
5. poglavje, temeljne zahteve za sestavo betona, klasificiranje agregatov z $D_{max}$ .	5. poglavje, temeljne zahteve za sestavo betona, klasificiranje agregatov z $D_{max}$ mora biti označeno z $\leq D_{lower}$ in $\geq D_{upper}$ .
/	Priporočilo za reciklirani agregat.
/	7. poglavje, podatki o vsebnosti vlaken v betonu.
Pogostost vzorčenja (Tabela 12)	Pogostost vzorčenja (Tabela 12).
/	Pri dobavnici za transportni beton mora biti obvezno navedena projektirana vsebnost por.

Ni nevarnosti korozije ali agresiv- nega delovanja	Stopnje izpostavljenosti																				
	Korozija zaradi karbonatizacije				Korozija zaradi kloridov				Zmrzovanje/tajenje				Kemijsko agresivna okolja	Odpornost proti obrabi površine							
	Morska voda								Drugi kloridi												
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3	
v/c <sup>e</sup> največ	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50	0,45
Trdosilni razred najmanj	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37 <sup>g</sup>	C30/37 <sup>g</sup>	C35/45 <sup>g</sup>	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37 <sup>g</sup>	C35/45 <sup>g</sup>	C30/37 <sup>g</sup>	C30/37 <sup>g</sup>	C30/37 <sup>g</sup>	C35/45 <sup>g</sup>
Vsebnost cementa <sup>e</sup> kg/m <sup>3</sup> najmanj	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360	320	340	340	360
Vsebnost zrnatih por. % najmanj										4,0 <sup>a d</sup>				4,0 <sup>a d</sup>							
PV		PV-I	PV-I	PV-II	PV-I	PV-II	PV-III	PV-I	PV-II	PV-III	PV-I	PV-I	PV-II	PV-III	PV-I	PV-II	PV-III				
NOZT													NOZT- 150								
OPZT												OPZT- S10		OPZT- S25							
OO																		OO-1	OO-2	OO-3	
Druga zahteve											Agregati z zadovoljivo odpornostjo proti zmrzovanju/tajenju po EN 12620				Sulfatno odporni cementi <sup>e</sup>						

<sup>a</sup> Kadar beton ni aeriran, je obnašanje betona treba preveriti s primerno preskusno metodo. Odpornost betona proti zmrzovanju in tajenju se za posamezno stopnjo izpostavljenosti upošteva primerjalno z betonom, za katerega je dokazana ustreza odpornost.  
<sup>b</sup> V sulfatnem okolju, ki pomeni stopnjo izpostavljenosti XA2 in XA3, je nujna uporaba sulfatno odpornih cementov, skladnih z EN 197-1 ali drugimi nacionalnimi standardi SIST.  
<sup>c</sup> Pri uporabi koncepcije k-vrednosti se največje vodocementno razmerje in najmanjša vsebnost cementa izračunata v skladu s točko 5.2.5.2.  
<sup>d</sup> Glej opombo v dodatku F.  
<sup>e</sup> Pri uporabi aeriranega betona in ob označevanju betona tudi s stopnjo izpostavljenosti XF, je vrednosti razred lažko za en razred nižji.

Slika 36: Mejne vrednosti sestave in lastnosti betona po SIST 1026:2016

## 11 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo predstavili delovanje in sestavne dele Betonarne Boštanj, ki se nahaja v bližini Hidroelektrarne Boštanj. Na kratko smo predstavili tudi osnovne materiale, ki jih potrebujemo za pripravo sveže betonske mešanice, to so agregat, cement, kemijski dodatki ter voda. Pri vsakem materialu smo predstavili tudi strojno opremo za skladiščenje, tehtanje in transport posameznega materiala. V nadaljevanju diplomske naloge smo predstavili preizkuse sveže betonske mešanice, ki jih izvajajo v Betonarni Boštanj v okviru kontrole skladnosti in kontrole proizvodnje, v skladu s standardoma SIST EN 206:2013 in SIST EN 1026:2016. Osrednji praktični del diplomske naloge je primerjava lastnosti referenčnega, neaeriranega betona ter lastnosti treh sestav aeriranega betona. Količina agregata, cementa, dodatka Hiperplast 182 in vode je bila enaka za vse sestave. Dodatek Eta S 06, ki je kemijski dodatek tipa aerant, smo dodali v količinah  $0,4 \text{ kg/m}^3$ ,  $0,35 \text{ kg/m}^3$  ter  $0,30 \text{ kg/m}^3$ . Na vseh štirih vzorcih betona smo opravili preiskave lastnosti sveže betonske mešanice v skladu s standardom SIST EN 206:2013. Določili smo temperaturo, vodocementno razmerje, konsistenco s posedom, delež zraka ter prostorninsko maso (gostoto) svežega betona. Na strjenem betonu pa smo določili povprečno tlačno trdnost pri starosti 28 dni. Rezultate smo prikazali v obliki tabel in grafov. Določene sovisnosti med dobljenimi karakteristikami smo preverili z uporabo linearne regresije. Ugotovili smo, da se je s postopnim večanjem deleža aeranta linerano večala tudi vsebnost zračnih por v svežem betonu. Poleg tega smo dobili dobro koleracijo med deležem zračnih por ter gostoto svežega betona oziroma konsistenco svežega betona merjeno s posedom. Na strjenem betonu pa med deležem zračnih por in tlačno trdnostjo betona. Ugotovili smo, da povečanje deleža zraka v betonu za 1 % pomeni padec povprečne tlačne trdnosti betona za 2,7 MPa ali okrog 5 %.

Delo v okviru diplomske naloge je potekalo v celoti v podjetju Gradnje d.o.o., natančneje v Betonarni Boštanj. V tem času sem pridobili veliko novih praktičnih izkušenj, ki jih ne bi dobil, če bi preiskave izvajal v laboratoriju katerega od inštitutov ali na fakulteti.

## 12 VIRI IN LITERATURA:

[1] Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C. 2002. Design and control of concrete mixtures, 14th edition. Skokie, Portland cement association

[2] Černilogar, L. 2014. Dodatki za beton: plastifikatorji, superplastifikatorji, hiperplastifikatorji. V: Gradbenik, revija 12/2010 – 01/2011, str. 100 – 103. [http://www.tkk.si/si/files/default/prakticni\\_nasveti/clanki/gr\\_12\\_2010\\_tkk.pdf](http://www.tkk.si/si/files/default/prakticni_nasveti/clanki/gr_12_2010_tkk.pdf) (Pridobljeno 15.5.2015)

[3] SIST EN 206:2013. Beton. Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost.

[3.3] SIST 1026:2016. Beton. Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost - Pravila za uporabo SIST EN 206.

[4] Celab, Laboratorijska oprema. Oprema za preiskave betona – preizkus konsistence svežega betona s stožcem.2014. Klaro web agencija.

[https://www.google.si/search?q=laboratorij+za+beton+vodni+zaboji+s+kockami&hl=sl&biw=1600&bih=746&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiy08j6-KnNAhUBXhQKHT0FBu4Q\\_AUIBigB#hl=sl&tbm=isch&q=preizkus+poseda+sto%C5%Beca&imgrc=\\_xJn-Tjxb-PO-M%3A](https://www.google.si/search?q=laboratorij+za+beton+vodni+zaboji+s+kockami&hl=sl&biw=1600&bih=746&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiy08j6-KnNAhUBXhQKHT0FBu4Q_AUIBigB#hl=sl&tbm=isch&q=preizkus+poseda+sto%C5%Beca&imgrc=_xJn-Tjxb-PO-M%3A) (Pridobljeno 15.5.2015)

[5] Alsing, industrijska avtomatizacija. Ostala gradbena oprema. 2013.

[https://www.google.si/search?q=laboratorij+za+beton+vodni+zaboji+s+kockami&hl=sl&biw=1600&bih=746&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiy08j6-KnNAhUBXhQKHT0FBu4Q\\_AUIBigB#hl=sl&tbm=isch&q=vibracijska+miza&imgrc=xppmcyTiBaLBM%3A](https://www.google.si/search?q=laboratorij+za+beton+vodni+zaboji+s+kockami&hl=sl&biw=1600&bih=746&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiy08j6-KnNAhUBXhQKHT0FBu4Q_AUIBigB#hl=sl&tbm=isch&q=vibracijska+miza&imgrc=xppmcyTiBaLBM%3A) (Pridobljeno 13.4.2015.)

[6] Žnidaršič, A. 2007. Vpliv konsistence, aeriranja in trajanja mokre nege na odpornost betona z večjim deležem kamene moke proti zmrzovanj/tajanju v prisotnosti soli.



Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba, Žnidaršič, A.): 289f.

[7] SLONEP. Gradnja in montažne hiše. 2013.

<http://www.slonep.net/gradnja/gradbeni-materiali/mineralni-agregat> (Pridobljeno 08.09.2016)

[8] Muravljov, M. 2000. Osnovi teorije i tehnologije betona. Beograd, DIP "Građevinska knjiga"

[9] Wikipedija. Cement.

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Cement> (Pridobljeno 8.9.2016)

[10] SIST EN 934. manjkajo podatki:naslov in podobno kot že imaš

[11] SIST EN 12350-2. Preskušanje svežega betona - 2. del: Preskus s posedom stožca.

[12] SIST EN 12350-7. Preskušanje svežega betona - 7. del: Vsebnost zraka - Metode s pritiskom.

[13] SIST EN 12390-1:2013. Preskušanje strjenega betona - 1. del: Oblika, mere in druge zahteve za vzorce in kalupe.

[14] SIST EN 12390-2:2009. Preskušanje strjenega betona - 2. del: Izdelava in nega vzorcev za preskus trdnosti.

[15] STANDARDA ZA BETON SIST EN 206 IN SIST EN 1026. Prilagoditev novostim. Gradivo izobraževanja na GZS. Ljubljana, marec 2016.

[16] Lasten vir

[17] Kuhar Mehta, P., Monteiro, P. J. M. 2006. Concrete Microstructure, Properties and Materials. ZDA, The McGraw-Hill Companies, Inc.: str. 31