

# Uporaba betona u dekorativne svrhe

---

**Đurić, Nika**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:738670>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-19**



Repository / Repozitorij:

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

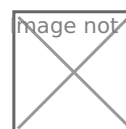


image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Nika Đurić**

**UPORABA BETONA U DEKORATIVNE SVRHE**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Diplomski sveučilišni studij Građevinarstvo  
Hidrotehnika  
Teorija i tehnologija betona**

**Nika Đurić  
JMBAG: 0114025563**

**UPORABA BETONA U DEKORATIVNE SVRHE**

**Diplomski rad**

**Rijeka, rujan 2019.**

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se svim djelatnicima Građevinskog fakulteta u Rijeci na razumijevanju i savjetima tijekom cjelokupnog trajanja studija. Posebno se zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Silviji Mrakovčić na strpljenju, potpori te brojnim savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada. Također zahvaljujem laborantima Dominiku i Dinu na pomoći pri ispitivanju betona te kolegi i prijatelju Mateu Brenku bez kojeg ovaj rad ne bi bio potpun. Hvala obitelji i prijateljima na podršci i lijepim trenucima tijekom studiranja.

## **Sažetak**

**Naslov rada:** Uporaba betona u dekorativne svrhe

**Student:** Nika Đurić

**Mentor:** doc. dr. sc. Silvija Mrakovčić

**Studij:** Diplomski sveučilišni studij Građevinarstvo

**Kolegij:** Teorija i tehnologija betona

U današnje je vrijeme zahvaljujući napretku tehnologije korištenje dekorativnog betona sve učestalije pa čak i u izgradnji namještaja. Beton se jednostavno formira u različite oblike uporabnih predmeta koji mogu biti korišteni u interijeru te eksterijeru. U radu je analizirana mogućnost korištenja samoslijegajućeg betona u izradi betonsko drvenog stola. Samoslijegajući beton vrsta je betona koja ima sposobnost tečenja pod vlastitom težinom bez potrebe za vibriranjem te je odabran radi složenijeg oblika stola.

U radu su eksperimentalno ispitana svojstva svježeg samoslijegajućeg betona te tlačna čvrstoća i čvrstoća na savijanje očvrstulih uzoraka. Projektirana je odgovarajuća betonska smjesa te prikazana sama izrada oplata, proračun i ugradnja armature kao i proračun i izrada drvenog dijela stola. Zaključeno je kako bi se pri izradi namještaja trebao koristiti samo sitan agregat zbog ljepše završne površine betona te da nije potrebno korištenje armature u predmetima koji neće biti pod velikim opterećenjem prilikom upotrebe.

**Ključne riječi:** samoslijegajući beton, vidni beton, izrada oplata, proračun armature, drvena ploča, njega betona

## **Abstract**

**Thesis title:** Use of concrete for decorative purposes

**Student:** Nika Đurić

**Mentor:** Assist. prof. Silvija Mrakovčić

**Study:** Graduate study of civil engineering

**Course:** Theory and Technology of Concrete

Nowadays, thanks to the advancement of technology, the use of decorative concrete is becoming more and more frequent and even in the construction of furniture. Concrete is simply formed into different shapes of usable objects that can be used in the interior and exterior. The study analyzes the possibility of using self-compacting concrete in the construction of a concrete wooden table. Self-compacting concrete is a new type of concrete that has the ability to flow under its own weight without the need for vibration and has been selected because of more complex table shape.

The properties of fresh self-compacting concrete as well as compressive strength and flexural strength of hardened samples were experimentally tested in the paper. The concrete mix was found as well as formwork design, the calculation and installation of the reinforcement were shown, as well as the design and construction of the wooden part of the table. It was determined that only a small aggregate should be used in the production of furniture, because of the finer finish of the concrete and that no reinforcement was required in items that would not be under heavy load during use.

**Key words:** self-compacting concrete, visible concrete, formwork, reinforcement calculation, wood panel, concrete care

## SADRŽAJ

POPIS TABLICA	2
POPIS SLIKA	3
1. UVOD	5
2. UPORABA BETONA U DEKORATIVNE SVRHE	7
2.1. VIDNI BETON	7
2.2. BETONSKI NAMJEŠTAJ	10
2.3. KOMBINACIJA BETONA I DRVA	12
3. BETON ZA IZRADU STOLA	14
3.1. OPĆENITO O SAMOSLIJEGAJUĆEM BETONU	15
3.2. KOMPONENTE SASTAVA SAMOSLIJEGAJUĆEG BETONA	16
3.2.1. CEMENT	17
3.2.2. AGREGAT	18
3.2.3. SILICIJSKA PRAŠINA	19
3.2.4. VODA	20
3.2.5. SUPERPLASTIFIKATOR	20
3.3. METODE ISPITIVANJA SAMOSLIJEGAJUĆEG BETONA	21
4. IZRADA MJEŠAVINE OD SAMOSLIJEGAJUĆEG BETONA	23
5. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA SAMOSLIJEGAJUĆEG BETONA	26
5.1. ISPITIVANJE SVJEŽEG BETONA	26
5.1.1. ISPITIVANJE RASPROSTIRANJA SLIJEGANJEM	27
5.1.2. ISPITIVANJE VISKOZNOSTI V-LIJEVKOM	29
5.1.3. ISPITIVANJE SPOSOBNOSTI ZA OBILAŽENJA PREPREKA L-KUTIJOM	31
5.2. ISPITIVANJE OČVRSLOG BETONA	34
5.2.1. MJERENJE DIMENZIJA I MASE BETONSKIH UZORAKA	34
5.2.2. ISPITIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE	35
5.2.3. ISPITIVANJE ČVRSTOĆE NA SAVIJANJE	38
5.3. ODABIR SMJESE	40
6. IZRADA BETONSKOG STOLA	42
6.1. IZRADA OPLATE	43
6.2. UGRADNJA I NJEGOVANJE BETONA	45
6.3. PRORAČUN I ODABIR ARMATURE	46
6.4. PRORAČUN I IZRADA DRVENE PLOČE	49
7. ZAKLJUČAK	59
8. LITERATURA	60

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Primjeri receptura samoslijegajućeg betona

Tablica 2: Tipična fizikalna i kemijska svojstva cementa i usporedba s normom HRN EN 197-1 i BAS EN 197:1

Tablica 3: Svojstva agregata

Tablica 4: Karakteristike superplastifikatora MasterGlenium Sky 629

Tablica 5: Preporučene metode ispitivanja i razredi samoslijegajućih betona (The Self-Compacting Concrete European Project Group, 2005)

Tablica 6: Karakteristične vrijednosti komponenti samoslijegajućeg betona (The Self-Compacting Concrete European Project Group, 2005)

Tablica 7: Vrijednosti konzistencije betona

Tablica 8: Količine sastojaka izrađenih mješavina

Tablica 9: Razredi rasprostiranja slijeganjem

Tablica 10: Razredi viskoznosti

Tablica 11: Rezultati ispitivanja rasprostiranja i viskoznosti

Tablica 12: Razredi viskoznosti betona

Tablica 13: Rezultati ispitivanja viskoznosti

Tablica 14: Razredi ispitivanja sposobnosti tečenja

Tablica 15: Rezultati ispitivanja sposobnosti zaobilaženja prepreka

Tablica 16: Mase uzoraka kocki

Tablica 17: Mase uzoraka prizmi

Tablica 18: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće

Tablica 19: Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje

Tablica 20: Parcijalni faktori  $\gamma_F$  prema tablici A1.2(A) u Dodatku A norme HRN EN 1990:2008 blica 20: Razredi uporabe – NA HRN EN 1995-1-1

Tablica 21: Razredi uporabe – NA HRN EN 1995-1-1

Tablica 22: Vrijednosti čimbenika faktora  $k_{def}$  za materijal

Tablica 23: Karakteristične vrijednosti čvrstoće i krutosti za puno drvo prema EC5

Tablica 24: Vrijednosti faktora  $k_{mod}$ , prema HRN EN 1995-1-1

Tablica 25: Vrijednosti progiba elementa



## POPIS SLIKA

Slika 1: Upotreba vidnog betona

Slika 2: Beton u arhitekturi (Pinterest)

Slika 3: Betonski ormari za fonograf

Slika 4: Mikrovlakna od stakla

Slika 5: Spoj drva i betona u arhitekturi (Pinterest)

Slika 6: Odabrani oblik betonskog stola (foto autor)

Slika 7: Samoslijegajući beton

Slika 8: Usporedba sastava konvencionalnog i SZB betona

Slika 9: Preporučene granične krivulje optimalnog sastava agregata 0/8 mm

Slika 10: Miješalica za probne mješavine (foto autor)

Slika 11: Stolić za rasprostiranje (foto autor)

Slika 12: Sastojci za betonsku smjesu (foto autor)

Slika 13: Ploča za ispitivanje rasprostiranja slijeganjem (foto autor)

Slika 14: Grafički prikaz rezultata ispitivanja rasprostiranja i viskoznosti

Slika 15: V-lijevak(foto autor)

Slika 16: Grafički prikaz rezultata ispitivanja viskoznosti V-lijevkom

Slika 17: Vertikalni dio L-kutije ispunjen betonom(foto autor)

Slika 18: Horizontalni dio L-kutije ispunjen betonom(foto autor)

Slika 19: Računanje sposobnosti prolaska betona pomoću L-kutije

Slika 20: Grafički prikaz rezultata ispitivanja sposobnosti zaobilazanja prepreka L-kutijom

Slika 21: Mase uzoraka kocki

Slika 22: Mase uzoraka prizmi

Slika 23: Uzorak prije nanošenja opterećenja(foto autor)

Slika 24: Uzorak nakon nanošenja opterećenja(foto autor)

Slika 25: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće

Slika 26: Dijagram sloma betona

Slika 27: Uzorak prije nanošenja opterećenja(foto autor)

Slika 28: Uzorak nakon nanošenja opterećenja(foto autor)

Slika 29: Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje

Slika 30: Dijagram sloma betona

Slika 31: Dobiveni razredi samoslijegajućeg betona

- Slika 32: Uzorci mješavine M1(foto autor)
- Slika 33: Skice betonskog stola(foto autor)
- Slika 34: Skica betonskog stola sa dimenzijama
- Slika 35: Skice naručene oplata
- Slika 36: Izrađena oplata sa potrebnim distancerima(foto autor)
- Slika 37: Ulijevanje betona u oplatu(foto autor)
- Slika 38: Skidanje oplata nakon stvrdnjavanja betona(foto autor)
- Slika 39: Q i R armaturne mreže
- Slika 40: Momenti uporabnog opterećenja
- Slika 41: Skica armature
- Slika 42: Komponente progiba(slika 7.1 norme HRN EN 1995-1-1)
- Slika 43: Dijagrami progiba(staad)
- Slika 44: Dijagrami momenta i poprečnih sila(staad)
- Slika 45: Drvena ploča(foto autor)
- Slika 46: Izrađen betonski stol(foto autor)

## 1. UVOD

Iako je najčešće povezan s izgradnjom industrijskih, poslovnih i višestambenih zgrada beton se sve više koristi u uređenjima interijera i eksterijera. Današnji proizvođači namještaja koriste industrijski materijal za izradu širokog spektra predmeta. Od blagovaonskih stolova, klupa, ormara pa čak i jastuka. Da bi to učinili, dizajneri često agregat koji se koristi u uobičajenom betonu zamjenjuju mikrovlaknima od stakla i čelika. S današnjom tehnologijom možemo od betona koji je fluidan materijal izraditi bilo kakvu trodimenzionalnu formu.

Svaki se uzorak mora ispitati jer male varijacije mogu dovesti do sloma. Za razliku od načina na koji su modernistički arhitekti koristili beton sredinom 20. stoljeća za izgradnju velikih vanjskih građevina, današnji dizajneri fokusiraju se na to kako se od betona može izraditi namještaj. Eksperimentiraju s oblicima koje je teško ponoviti, a rezultati pokazuju svestranost materijala.

U ovom radu prikazano je korištenje samoslijegajućeg betona u izradi namještaja te projektiranje same betonske smjese koja se može koristiti u dekorativne svrhe. Samoslijegajući beton revolucionirao je postavljanje betona jer teče pod vlastitom težinom i ne zahtijeva nikakve vanjske vibracije za zbijanje. Takav beton trebao bi imati visoku sposobnost protoka, umjerenu viskoznost za otpornost na segregaciju i mora održavati homogenost tijekom transporta. Kako bi se postigla velika pokretljivost potrebno je koristiti superplastifikatore koji omogućuju veliko smanjenje vode betonskoj mješavini, a da se pri tom ne promjeni njezina obradljivost. Prilikom izrade odgovarajuće smjese po potrebi se povećavala količina superplastifikatora i vode dok se količine ostalih korištenih sastojaka nisu mijenjale.

Sama izrada započela je pronalaskom željenog oblika predmeta te njegovom skicom sa odabranim dimenzijama. Zbog odabranog složenijeg izgleda betonskog stola koristio se samoslijegajući beton zbog nemogućnosti vibriranja te je njegovoj izradi prethodio odabir odgovarajuće smjese. Prema skici predmeta izrađeni su nacrti oplata koja se kasnije izradila te koristila pri samoj izradi.

Prikazani su rezultati ispitivanja za samoslijegajući beton poput rasprotiranja slijeganjem, viskoznosti V-lijevkom te sposobnost zaobilazanja prepreka L-kutijom. Ispitana je tlačna čvrstoća kao i čvrstoća na savijanje očvrstulih uzoraka nakon 28 dana te je dana analiza dobivenih rezultata. Iako su opterećenja koja bi stol trebao podnijeti mala pa armatura nije

potrebna, korištena je minimalna armatura zbog složenijeg izgleda stola te je prikazan proračun i sam odabir iste. Betonski stol izrađen je u kombinaciji s drvom smreke te je prikazan proračun kao i obrada drvenog dijela stola. Opisan je pristup i njega betona prije i nakon ugadnje.

## 2. UPORABA BETONA U DEKORATIVNE SVRHE

Beton je u građevini jedan od najčešće korištenih materijala. On se široko koristi za izgradnju poslovnih, industrijskih, višestambenih zgrada te gradnju obiteljskih kuća. Iako se beton kao materijal koristio u davnoj prošlosti prava revolucija započela je kada je beton armiran čeličnim šipkama. Tako ojačan, armirani beton postao je upotrebljiv i u onim segmentima gradnje o kojima graditelji do tada nisu ni sanjali. Čelične šipke postavljene na područjima u kojima se očekuju vlačna i posmična naprezanja preuzele su na sebe djelovanja pa je betonu povećana nosivost. Današnji beton može biti običan, beton velike čvrstoće, beton vrlo velike čvrstoće, samoslijegajući, mlazni itd.

Beton je mješavina cementa, agregata (šljunka i pijeska), vode i dodatka. Voda izaziva reakciju s cementom te kemijskim procesom hidratacije nakon miješanja i ugradnje beton očvršćuje. Tijekom procesa očvršćivanja beton razvija određena svojstva od kojih su najbitnija tlačna i vlačna čvrstoća, veoma mala propusnost vode te kemijska i volumenska stabilnost. Mogućnost da se pojedini elementi pripreme u radionici i da se kao gotov element dopreme na gradilište spoznata je relativno kasno, polovicom 20. stoljeća. Zbog velike vlastite težine i male čvrstoće betona izmjere AB stupova bile su prevelike pa su se sve donedavno građevine više od 22 metra u pravilu izvodile od čelika. No, u posljednje vrijeme grade se visoke građevine veće čvrstoće betona te to daje novu sliku na buduću gradnju betonom posebice u visokogradnji. (PRO Gradnja)

### 2.1. Vidni beton



Slika 1: Upotreba vidnog betona (<https://www.peri.com.hr/kompetentnost/sichtbeton.html>)

Vidni beton postao je jedan od najvažnijih oblikovnih čimbenika moderne arhitekture te se koristi u mnogim slučajevima, bez obzira radi li se tehničkim, ekonomskim ili estetskim razlozima (slika 1). Niti jedan drugi građevinski materijal ne može se tako raznoliko primjenjivati i prerađivati. Zato se vidni beton primjenjuje za gotovo sve zadatke u gradnji. Mogućnost oblikovanja svježeg betona uz pomoć odgovarajućih oplatnih sistema i oplatnih ploča dopušta izvedbu oblika i kvaliteta skoro po želji. Različite kvalitete vidnog betona dijele se prema napatku o vidnom betonu u četiri klase vidnog betona. Na izvedbu vidnog betona kao oblikovnog elementa utječu:

- oplatna ploča i sustav oplata
- sastav betona uključujući vrstu cementa i dodatne tvari
- pridodani pigmenti
- izbor prikladnog sredstva za skidanje betona
- naknadna obrada površine (pranje, brušenje, poliranje, zračenje, pjeskarenje)
- hidrofobna impregnacija, glazure u boji, premazi.

Usavršavanjem betona kao građevinskog materijala novim tipovima betona kao što su betoni visoke otpornosti koji su lako stlačivi i samozbijajući te mikroarmirani betoni (čelik i tekstilna vlakna) otvaraju se dodatna područja primjene. Kao mjerodavna norma za izvedbu različitih vrsta betonskih površina vrijedi DIN 18217 „betonske površine i oplatne ploče“. Ovom normom ne reguliraju se upute u pogledu estetike jer ne postoje obvezujući propisi za izvedbu vidnog betona. To se čini razumljivim s obzirom da se stvaralačka nakana projektanta ne može normirati. Njegov je zadatak što sveobuhvatnije i jednoznačnije opisati individualne predodžbe o izgledu betonskog objekta. (PERI Hrvatska)

## **Sustav oplata**

U modernoj tehnologiji primjenjuju se uglavnom oplatae koje se sastoje od sistemskih komponenti jer njihovo korištenje ima više prednosti. Povećava se broj mogućih primjena na gradilištu, smanjuju se troškovi amortizacije uređaja, povećava se šansa za pravilnu primjenu te je sigurnija za gradilišno osoblje. Prilikom primjene sistema oplatae za površine vidnog betona treba voditi računa o kvaliteti oplatae. Investitori i arhitekti prilikom izgradnje kulturnih ili posebno reprezentativnih

objekata ističu beton iznimnim oblicima objekta. 3D površine slobodnih oblika teško se mogu realizirati uobičajenim metodama primjene oplata. Vidljive površine se uglavnom moraju izvoditi u maksimalnoj kvaliteti i s oštrim rubovima. Za ovakvo ekstravagantno oblikovanje objekta mora se razviti individualan koncept oplata usklađen s projektom. Takav koncept oplata razrađuje se na osnovi trodimenzionalnog modela objekta. Sastoji se od statički nosivih osnovnih elemenata i takozvanih 3D tijela oplata koja oblikuju beton. Pojedinačni elementi jednostavno se sastavljaju na gradilištu te pozicioniraju pomoću pozicija za baždarenje, pomoćnih osovina i šablona. Primjena na licu mjesta slična je primjeni sa sistemskom oplatom. (PERI Hrvatska)

### **Oplatna ploča**

Odabir oplatne ploče omogućuje velik broj strukturnih oblika te ona određuje karakter betonske površine. Potrebno je detaljno poznavati oplatnu ploču te njezina svojstva, premaz, obradu i zajedničko djelovanje sredstvom za skidanje betona i svježim betonom te sve uzeti u obzir za vrijeme projektiranja. Krajnji rezultat željene betonske površine mora biti jednoznačan u toj mjeri da izvođač prilikom odabira oplatne ploče bez rizika može uzeti u obzir sve aspekte u pogledu materijala, primjene i tehnologije. Osim toga mora moći procijeniti izvedivost te ukazati na očekivane tolerancije i varijacije krajnjeg rezultata. (PERI Hrvatska)

### **Sastav betona**

Razumijevanje vizije projektanta od bitnog je značaja pri izradi vidnog betona odgovarajuće kvalitete. Da bi se omogućila uspješna realizacija od projektiranja do izvođenja objekta važna je izrada betonske mješavine. Prije korištenja dostupnih materijala (agregat, cement, ...) za odgovarajuću mješavinu betona potrebno je napraviti probnu mješavinu. Njegove prednosti su trajnost i jednostavno održavanje, jeftin je u odnosu na druge sustave, otporan je na mehanička oštećenja, nema potrebe za primjenu premaza ili bojanja te je raznovrstan u dizajniranju. Sastav betonske mješavine mora biti prikladno projektiran za namjeravanu primjenu:

- minimalni sadržaj veziva  $330 \text{ kg/m}^3$
- dopušteno korištenje cementa s dodacima, ali uz uvjet da se radi o istoj vrsti i količini tijekom cijelog trajanja projekta

- maksimalni omjer: voda/cement (v/c omjer) ne smije prelaziti 0,50
- treba se koristiti optimalni granulometrijski sastav agregata maksimalnog zrna 32 mm.
- udio sitnih čestica ( $375 \text{ kg/m}^3$ )
- za povećanje konzistencije/obradivosti treba koristiti kemijske dodatke za smanjenje vode u betonu (superplastifikatori).
- izvor cementa, dodataka cementu, mineralnih dodataka i agregata treba biti isti za cijelo vrijeme trajanja projekta kako bi se smanjio rizik od potencijalne varijacije u boji
- svi materijali koji se koriste u proizvodnji betona poput cementa, agregata, dodataka, pigmentata, vode i vlakana moraju biti u skladu s EN ili ASTM normama
- probnim mješavinama betona proizvođač treba odrediti odgovarajuća doziranja
- probne uzorke predloženog betona treba odobriti projektant i / ili investitor

Svi dodaci mogu se kombinirati kako bi se postigla tražena kvaliteta betona i željeni izgled. Određene kombinacije utječu na svojstva svježeg i očvrsnulog betona pa je potrebno napraviti početna ispitivanja mješavine betona za dokazivanje traženih svojstava iz projektiranog sastava.

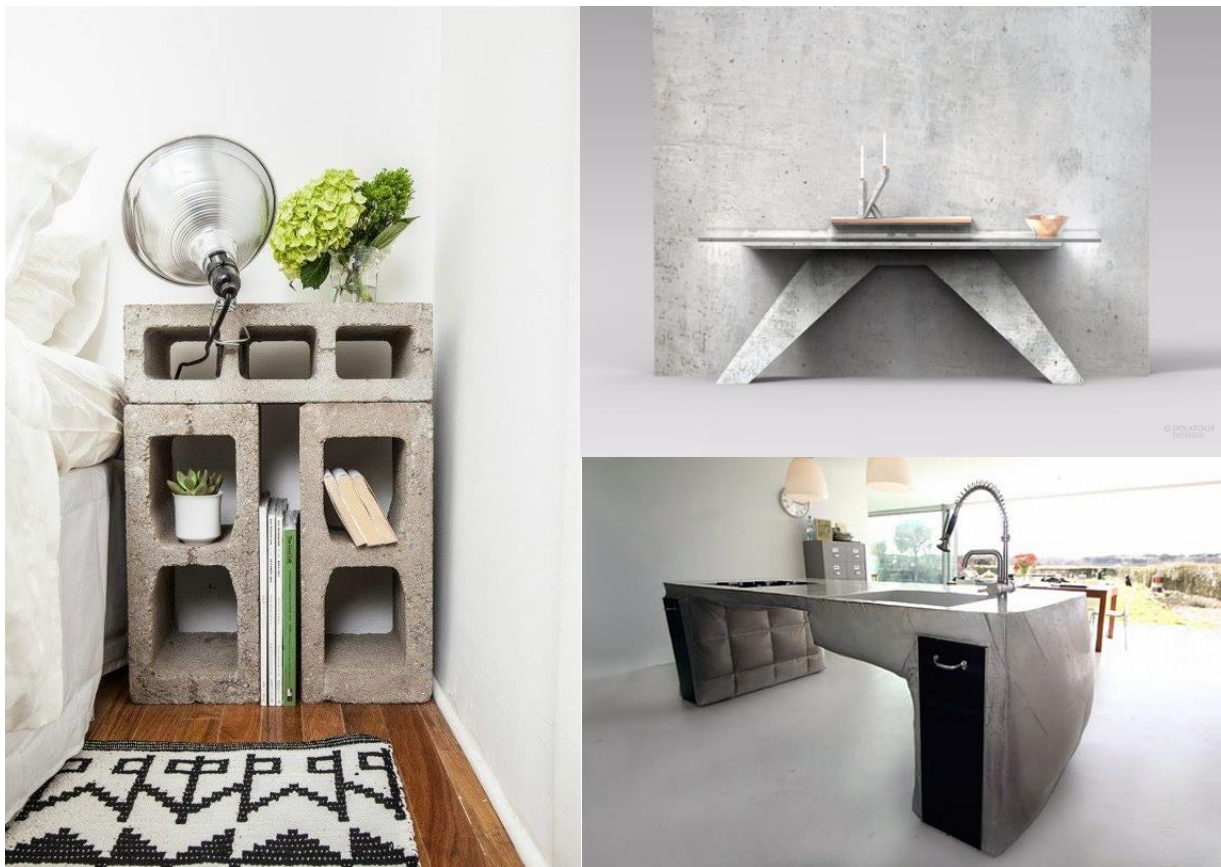
Na završnu površinu treba posebno obratiti pozornost jer značajno utječe na vizualni izgled. Može se obrađivati zaglađivanjem, poliranjem, četkanjem, pjeskarenjem, ispiranjem te korištenjem glatke oplate ili oplate s teksturom. (Gradimo.hr)

## **2.2. Betonski namještaj**

Raznovrsno korištenje betona dovelo je do pojavljivanja betona u brojnim netradicionalnim formatima kao što su skulpture, umjetnost, namještaj te samim time uređenje interijera i eksterijera (slika 1).

Zahvaljujući napretku tehnologije možemo lakše izraditi, oblikovati i upravljati složenijim oblikom namještaja napravljenog od betona. Njegova dodatna prednost je izdržljivost jer ga možemo smjestiti u zatvorenim ili otvorenim prostorima što dovodi do toga da se mnogi nalaze kao uređenje ili uporabni predmeti u gradovima, parkovima i društvenim prostorijama, ali i u privatnim objektima.





*Slika 2: Beton u arhitekturi*

([https://www.pinterest.com/search/pins/?q=concrete%20furniture&rs=rs&eq=&etslf=2116&term\\_meta\[\]=concrete%7Crecentsearch%7C0&term\\_meta\[\]=furniture%7Crecentsearch%7C0](https://www.pinterest.com/search/pins/?q=concrete%20furniture&rs=rs&eq=&etslf=2116&term_meta[]=concrete%7Crecentsearch%7C0&term_meta[]=furniture%7Crecentsearch%7C0))

Nedavna otkrića pokazuju da je beton korišten u Mezopotamiji i antičkom Rimu prije više od 4000 godina. Međutim, primjena betona u uređenju interijera i namještaja počela je mnogo kasnije, početkom 20. stoljeća. Thomas Edison poznat je kao začetnik konkretnog razvoja i prva osoba koja je predvidjela uporabu betonskog namještaja. Njegova tvrtka Edison Portland Cement Company kombinirala je tehnologije mljevenja rude kako bi razvila trajniji cement za izgradnju betonskih kuća i velikih građevnih blokova. Edison je izradio betonske ormare za fonograf (slika 2) i predložio izradu betonskih glazbenih instrumenata, hladnjaka i namještaja. Iako se nisu ostvarila sva njegova predviđanja, tehnologija izrade betonskog i cementnog namještaja se brzo razvija pa dizajneri danas pretvaraju običan građevinski materijal u tanke, elegantne strukture s nevjerojatnom snagom. (Darek R.,2019.)

Današnji proizvođači namještaja koriste industrijski materijal za izradu širokog raspona objekata, od stolova i stolica do svijećnjaka, pa čak i jastuka. Da bi to učinili, dizajneri često zamjenjuju šljunak i pijesak koji se koriste u konvencionalnom betonu s high-tech materijalima, kao što su mikrovlakna od stakla ili čelika (slika 3).



*Slika 3: Betonski ormari za fonograf (lijevo) (<https://www.ics50.com/concrete-history-edison-portland-cement-company/>)*

*Slika 4: Mikrovlakna od stakla (desno) (<https://www.podovi.org/armiranje-i-mikroarmiranje-bolje-performanse-betona-i-usteda-materijala/>)*

### **2.3. Kombinacija betona i drva**

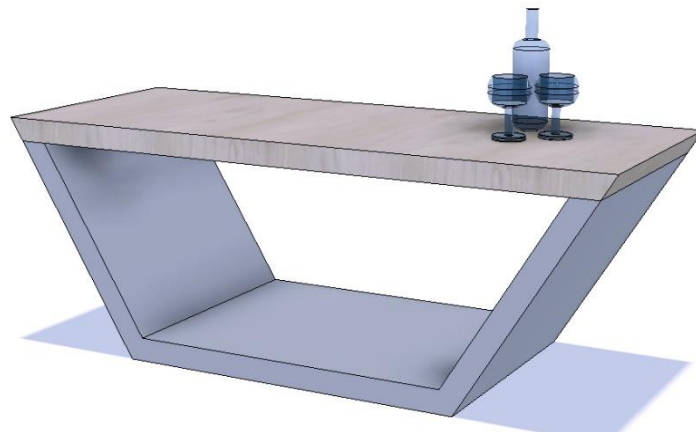
U arhitekturi česta je pojava spajanja materijala drva i betona. Toplina i tekstura prirodnih drvenih elemenata lijepo se uklapa uz hladan građevinski materijal pri dekoriranju interijera i eksterijera omogućujući da svaki element bude u središtu pozornosti. (slika 4)



*Slika 5: Spoj drva i betona u arhitekturi*

*([https://www.pinterest.com/search/pins/?q=concrete%20furniture&rs=rs&eq=&etslf=2116&term\\_meta\[\]=concrete%7Crecentsearch%7C0&term\\_meta\[\]=furniture%7Crecentsearch%7C0](https://www.pinterest.com/search/pins/?q=concrete%20furniture&rs=rs&eq=&etslf=2116&term_meta[]=concrete%7Crecentsearch%7C0&term_meta[]=furniture%7Crecentsearch%7C0))*

U ovom radu bit će prikazani postupci izrade betonskog stola u kombinaciji sa drvom, od izbora idealne recepture za betonsku smjesu, izrade oplata i armature do same ugradnje. Zbog složenijeg oblika samog objekta (slika 5) koristio se samoslijegajući beton zbog nemogućnosti vibriranja.



*Slika 6: Odabrani oblik betonskog stola*



### 3. BETON ZA IZRADU STOLA

Zbog brzog urbanog razvoja i sve većih zahtjeva za većom trajnosti, lakšom ugradnjom, većom čvrstoćom i ekonomičnošću koje običan beton nije mogao ostvariti počele su se tražiti metode kojima bi se poboljšala svojstva betona. Jedno od tih rješenja je upotreba samoslijegajućeg betona.

Samoslijegajući beton (self compacting concrete - SCC) inovativni je beton koji ne zahtjeva vibracije za zbijanje i postavljanje. Sposoban je teći pod vlastitom težinom, potpuno popuniti oplatu uz zaobilaženje armature i postići punu zbijenost (slika 7).

Čvrst beton je gust, homogen i ima inženjerska svojstva i trajnost poput tradicionalno vibriranog betona.

Beton kojemu je potrebno malo vibracija ili zbijanja koristi se u Europi od ranih 1970-ih, ali samozbijajući beton nije razvijen sve do kasnih 1980-ih u Japanu. U Europi je prvi put korišten za građevinske radove transportne mreže u Švedskoj sredinom 1990-ih te se od tada samoslijegajući beton sve više koristi u svim europskim zemljama.

Samoslijegajući beton nudi brzu ugradnju što omogućuje brže izvođenje građevinskih radova i olakšava tečenje betona oko armature. Otpornost na segregaciju i sposobnost tečenja samoslijegajućeg betona osigurava visoku razinu homogenosti, minimalne šupljine i ujednačenu čvrstoću pružajući potencijal za vrhunsku razinu završne obrade i trajnost konstrukcije.



Slika 7: Samoslijegajući beton (<https://tfb.ba/repozitorij/2>)

Samoslijegajući beton često se proizvodi s niskim vodocementnim omjerom koji osigurava visoku ranu čvrstoću te brže korištenje elemenata zbog mogućnosti ranijeg skidanja oplata, dok nekorištenje vibracijske opreme poboljšava uvjete rada zbog smanjenja buke i samih vibracija čime se osigurava veća sigurnost i zdravlje radnika.

Iako samoslijegajući beton može imati koristi i skratiti vrijeme izgradnje treba obratiti posebnu pozornost na njegovo ponašanje prilikom korištenja. Na primjer, na gradilištu miješalica punog kapaciteta neće moći biti izvediva zbog potencijalnog izlivanja što stvara opasnost za okoliš i onečišćenje. Oplata mora biti dizajnirana tako da izdrži veći pritisak tekućeg betona, viši elementi će se trebati ugrađivati u dijelovima te sama proizvodnja samoslijegajućeg betona zahtjeva više iskustva i brige od konvencionalnog vibriranog betona. (Paratibha A.,2008)

### **3.1. Općenito o samoslijegajućem betonu**

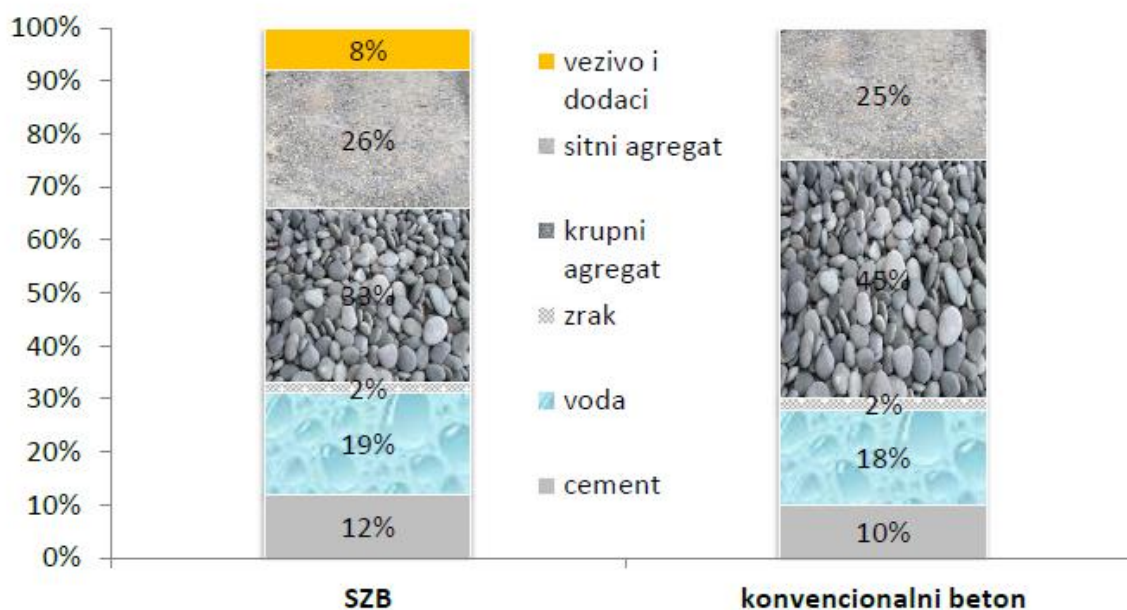
Samoslijegajući beton, koji teče pod vlastitom težinom i ne zahtijeva nikakve vanjske vibracije za zbijanje, revolucionirao je postavljanje betona. Vrlo je obradiv beton koji može teći pod vlastitom težinom kroz ograničene dionice bez segregacije. Takav beton trebao bi imati visoku sposobnost protoka, umjerenu viskoznost za otpornost na segregaciju i mora održavati homogenost tijekom transporta. Uspješan razvoj samoslijegajućeg betona mora osigurati dobru ravnotežu između deformabilnosti i stabilnosti. Istraživači su postavili neke smjernice za raspodjelu njegove smjese, koje uključuju:

- smanjenje omjera volumena agregata prema cementnom materijalu
- povećanje volumena paste i omjera vode i cementa (w / c)
- pažljivu kontrolu maksimalne veličine grudih čestica i ukupnog volumena
- upotrebu različitih dodataka za povećanje viskoznosti

Za samoslijegajući beton potrebno je koristiti superplastifikatore da bi se postigla velika pokretljivost. Dodavanjem veće količine tvari u prahu ili smjese koja mijenja viskoznost može se ukloniti segregacija. Materijali u prahu koji se mogu dodati u smjesu jesu leteći pepeo, silicijska prašina, filer kao prah vapnenca, mramora, kvarca te recikliranog stakla. Jedno od ograničenja samoslijegajućeg betona je da još uvijek nije utvrđen postupak izrade smjese. (Paratibha A.,2008)

### 3.2. Komponente sastava samoslijegajućeg betona

Sastojci koji su korišteni za pripremu samoslijegajućeg betona jednaki su sastojcima koji bi se koristili u pripremi konvencionalnog betona, uz prilagođene omjere i dodatak regulatora viskoznosti (Slika 8). Uz cement, samoslijegajući beton sadrži inertna punila i aktivne dodatke koji zajedno čine vezivo. U nastavku su dani primjeri receptura samoslijegajućeg betona (tablica 1).



Slika 8: Usporedba sastava konvencionalnog i SZB betona

Tablica 1: Primjeri receptura samoslijegajućeg betona

Smjesa kg/m <sup>3</sup>	Cement	Leteći pepeo/ silicijska prašina	Sitan agregat	Krupan agregat	voda	superplastifikatori	w/p	v/v
SCC1	485	135	977	561	254	1,14 %	1,19	
SCC2	485	135	977	561	253	1,14 %	1,18	
SCC3	536		836	771,84	192,96	0,9 % (4,824 kg/m <sup>3</sup> )		0,36
SCC4	380		903,72	905,4	171	3,23 kg/m <sup>3</sup>		0,45
SCC5	439,5	134,4	819,6	774,2	177,7	0,7%		0,31
SCC6	340	60	1051	350	179	7 kg/m <sup>3</sup> Filer 120 kg/m <sup>3</sup>		0,4

### 3.2.1. Cement

Cemet je mineralno vezivo čija je pretežna primjena u građevinarstvu kao vezivo prirodnih ili umjetnih agregata za proizvodnju betona i mortova. Pri izradi betonske mješavine u ovom radu korišten je Holcim Ekspert cement, CEM II/B-M (S-V) 42,5 N.

Holcim Ekspert cement miješani je portlandski cement koji se sastoji od 65-79% portlandskog cementnog klinkera, 21-35% miješanog dodatka (granulirana zgura visoke peći (S) i silicijski leteći pepeo (V)), do 5% filtarske prašine, dobivene iz procesa proizvodnje portlandskog cementnog klinkera i industrijskog gipsa dihidrat (regulator vezivanja). Posebno je prilagođen za nosive betonske konstrukcije i betonske radove više završne čvrstoće. Preporučuje se za: proizvodnju transportnih i pumpanih betona; radove u cestogradnji i izradu cestovnih objekata, tunela, mostova i vijadukata; podzemne radove kod temeljenja; betonske konstrukcije velikog presjeka i zapremine; izradu raznih industrijskih podloga i glazura; izradu gotovih betonskih proizvoda i armiranog betona; izgradnju nosivih betonskih konstrukcija stambenih, poslovnih i industrijskih objekata viših razreda završne tlačne čvrstoće; izradu betonskih konstrukcija u morskom okruženju. Prema „Tehničkom propisu za betonske konstrukcije“ NN 139/09 ovaj cement ima ograničenja u primjeni zbog opasnosti od korozije armature u elementima betonskih konstrukcija s adhezijskim prednapinjanjem. Njegova tipična fizikalna i kemijska svojstva prikazana su u tablici 2. (Tehnička uputa Holcim)

Njegova svojstva su:

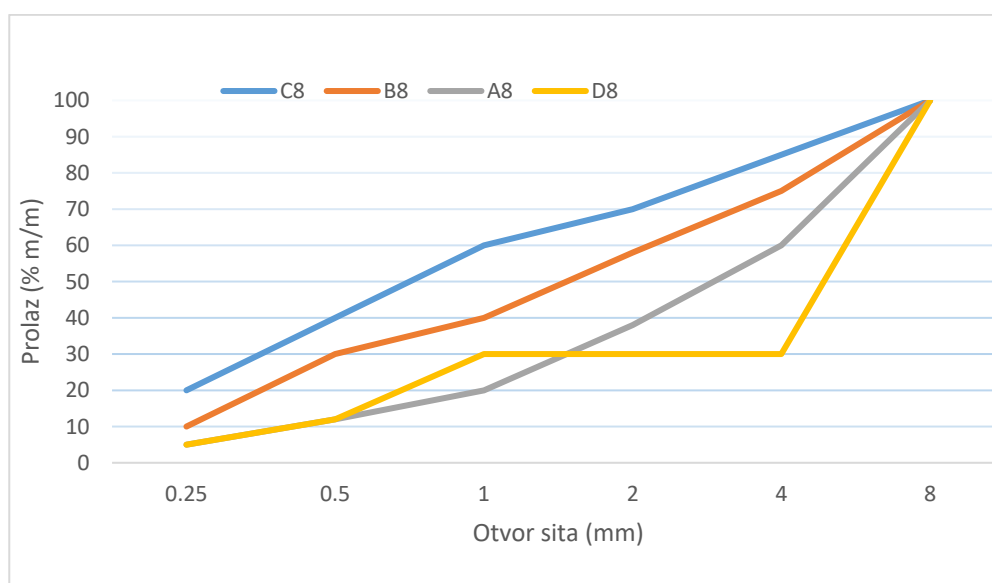
- umjeren zahtjev za vodom
- mali gubitak optimalne početne konzistencije
- optimalno vrijeme vezanje cementa, prilagođeno za mnoge konstrukcije
- srednji razvoj čvrstoće
- vrlo umjeren razvoj topline hidratacije
- dobra otpornost na umjereno agresivne utjecaje zbog dodatka granulirane zgure i silicijskog letećeg pepela

Tablica 2: Tipična fizikalna i kemijska svojstva cementa i usporedba s normom HRN EN 197-1 i BAS EN 197:1

Fizikalna svojstva	JM	Holcim Ekspert Cemet Cem II /B-M (S-V) 42,5	Uvjet normi
postojanost volumena (Le Chatelier)	mm	0	<=10
početak vezivanja	min	180	>=60
tlačna čvrstoća na 2 dana	MPa	23,0	>=10
tlačna čvrstoća na 28 dana	MPa	50,0	>=42,5 <=62.5
Kemijska svojstva	JM	Holcim Ekspert Cemet Cem II /B-M (S-V) 42,5	Uvjet normi
SO <sub>2</sub>	%	2,5	<=3,5
Cl	%	0,02	<=0,1

### 3.2.2. Agregat

Agregat se u prirodi pojavljuje kao šljunak (riječni materijal) ili se proizvodi procesom predrobljavanja stijenske mase (drobljeni). Tijekom izrade betonske smjese u ovom radu koristio se agregat drobljenog vapnenca frakcija 0/4 i 4/8 dobiven u kamenolomu Šumber te su u tablici 3 dana njegova svojstva. Preporučena granična krivulja optimalnog sastava agregata 0/8 mm prema normi HRN 1128 prikazana je na slici 9. Kako bi se odredio udio pojedinih frakcija u ukupnom sastavu agregata korištena je granulometrijska krivulja B8 sa 74% prolaska 0/4 agregata.



Slika 9: Preporučene granične krivulje optimalnog sastava agregata 0/8 mm (Bjegović D., Štirmer N., Teorija i tehnologija betona)



Tablica 3: Svojstva agregata

EN 12620:2002+A1:2008		
Oblik zrna		NPD
Veličina zrna		0/4 G <sub>F</sub> 85
Gustoća zrna	$\rho_a$ -prividna gustoća $\rho_{rd}$ -gustoća osušenih zrna $\rho_{ssd}$ -gustoća površinski suhih zrna	2,72 Mg/m <sup>3</sup> 2,60 Mg/m <sup>3</sup> 2,65 Mg/m <sup>3</sup>
Čistoća čestica -Kvaliteta sitnih zrna -Sadržaj školjki		$f_{10}$ MB=NPD; SE(10)=60 NPD
Otpornost na fragmentaciju		LA <sub>30</sub>
Otpornost na poliranje		NPD
Otpornost na abraziju površine		NPD
Otpornost na habanje		M <sub>DE</sub> 15
Sastav/Sadržaj -Sastav recikliranog agregata -Kloridi -Sulfati topivi u kiselini -Ukupni sumpor -Sulfati topivi u vodi kod recikliranog agregata -Sastojci koji utječu na vrijeme vezanja i stvrdnjavanja betona -Utjecaj recikliranog agregata na vrijeme djelovanja cementa -Sadržaj karbonata		NPD ≤ 0,01 % C AS <sub>0,2</sub> ≤ 1 % S NPD NPD NPD NPD
Stabilnost volumena -Skupljanje pri sušenju -Sastojci koji utječu na volumensku stabilnost		0,026 % WS NPD
Upijanje vode		1,7 % WA
Radioaktivna emisija		NPD
Oslobađanje teških metala		NPD
Oslobađanje poliaromatskih karbonata		NPD
Oslobađanje drugih opasnih supstanci		NPD
Otpornost na smrzavanje i otapanje		MS <sub>18</sub>
Alkalno-silikatna reakcija		NPD

### 3.2.3. Silicijska prašina

Prilikom izrade betonske mješavine u ovom radu korištena je silicijska prašina SikaFume HR/TU. SikaFume HR/TU sadrži posebno fini (0,1-0,5 μm) amorfni, latentno reaktivni silicijumdioksid. Ovaj materijal stvara u svježem betonu jaku unutarnju koheziju i izvanredno dobro smanjenje vodoupojnosti. Beton je vrlo podatan te se poboljšava svojstvo pumpanje betona. U očvrslulom betonu dolazi do kemijske reakcije latentno reaktivne silicijske prašine sa slobodnim vapnom (CaOH<sub>2</sub>), dolazi do dodatnog stvaranja čvrstog hidratantnog proizvoda u matrici cementnog kamena. Ne sadrži kloride i druge tvari koje utječu na koroziju željeza u betonu pa se može koristiti za armirane i prednapregnute betone.(Tehnički list SikaFume)

### 3.2.4. Voda

Tvari koje se nalaze otopljene u vodi koja će se koristiti za izradu betona mogu utjecati na svojstva, a time i na kvalitetu betona. Smije se upotrebljavati samo ona voda koja zadovoljava normirane uvjete kvalitete. Jedino se pitka voda može koristiti bez prethodnog ispitivanja uporabljivosti. Sve ostale vrste voda smiju se koristiti tek kada je za njih izdana svjedodžba o kvaliteti za izradu betona. Voda ne smije sadržavati sulfate, kloride, anorganske i organske soli, šećer, masti, naftu, sapun i dr. Za izradu betonske smjese u ovom radu koristila se voda iz gradskog vodovoda.

### 3.2.5. Superplastifikator

Superplastifikator je kemijski dodatak koji se najčešće primjenjuje kod izrade samoslijegajućih betona, betona vrlo visoke čvrstoće, betona s niskim vodocementnim omjerom te betona sa smanjenim sadržajem cementa. Dodavanjem superplastifikatora povećava se obradivost i žitkost betona te njegova krajnja čvrstoća. Ubrzava se razvoj čvrstoće, čime se može izbjeći zagrijavanje betona te na taj način skratiti vrijeme same ugradnje. Uz to, upotrebom superplastifikatora mogu se postići znatne uštede cementa i vode. Njegov nedostatak je ograničeno vrijeme djelovanja na svježi beton. Tijekom izrade betonske smjese u ovom radu korišten je superplastifikator MasterGlenium Sky 629 čije su karakteristike dane u tablici 4. (The Chemical Company, 2009)

Tablica 4: Karakteristike superplastifikatora MasterGlenium Sky 629

oblik	tekućina
boja	smeđa
gustoća (na 20°C)	1,060-1,100 g/ml
sadržaj klorida	<0,1%
preporučena doza	0,8-1,4 l na 100 kg veziva
maksimalna doza	1,6 l na 100 kg veziva

### 3.3. Metode ispitivanja samoslijegajućeg betona (The European Guidelines for Self-Compacting Concrete)

Samoslijegajući beton nova je vrsta betona te još uvijek nedostaje dovoljan broj ispitivanja njegovih svojstava i primjena. Kompleksnost projektiranja samoslijegajućeg betona veća je nego za obične betone jer ne postoje norme za projektiranje smjese te vrste betona, no u Europskim smjernicama za samoslijegajući beton (The Self-Compacting Concrete European Project Group, 2005) dani su osnovni zahtjevi, metode ispitivanja te preporuke za proizvodnju i ugradnju (tablica 5):

- razred tlačne čvrstoće (HRN EN 206-1)
- razred izloženosti ili granične vrijednosti sastava
- maksimalni vodocementni omjer
- minimalna količina cementa
- najveća veličina zrna agregata  $D_{max}$

Dodatni zahtjevi koje mora zadovoljiti samozbijajući beton su:

- vrijednost t500 (rasprostiranje slijeganjem) ili V-lijevak
- ispitivanje L-kutijom
- otpornost segregaciji
- temperatura svježeg betona ukoliko se razlikuje od HRN EN 206-1
- drugi tehnički zahtjevi

Tablica 5: Preporučene metode ispitivanja i razredi samoslijegajućih betona (The Self-Compacting Concrete European Project Group, 2005)

Svojstva SCC	Preporučene metode ispitivanja	Oznaka razreda
tečenje	rasprostiranje slijeganjem (slump flow)	SF1,SF2,SF3
viskoznost	vrijednost t500 ili V-lijevak	VS1/VF1 VS2/Vf2
sposobnost zaobilaženja prepreka	L-kutija	PA1,PA2

Pri izradi samoslijegajućeg betona vrlo je bitno postići optimalnu viskoznost mješavine kako ne bi došlo do segregacije, ali da se zadrži potrebna obradljivost. Ukoliko je viskoznost prevelika beton teče, gubi sposobnost tečenja i dolazi do preranog skrućivanja betona. Fluidnost i viskoznost svježeg betonske mješavine postiže se pažljivim odabirom cementa i dodataka betonu, uz ograničavanje omjera vode, sitnih čestica i neophodnog dodatka superplastifikatora, uz moguću upotrebu dodatka za reguliranje viskoznosti. Jedna od prvih metoda za projektiranje samoslijegajućeg betona nastala je na temelju istraživanja na Sveučilištu u Tokiju (Okamura i Ozawa, 1994). Osnovni principi projektiranja sastava SZB prema ovoj metodi primjenjuju se i danas:

- volumen krupnog agregata u betonu iznosi maksimalno 50%
- sve čestice veće od 0,09 mm smatraju se agregatom, a manje od 0,09 mm vezivom
- vodovezivni omjer i količina superplastifikatora određuju se ispitivanjem viskoznosti metodom V-lijevka
- preporučena vrijednost rasprostiranja slijeganjem iznosi 650 mm i prema tome se prilagođava udio superplastifikatora

Europske smjernice daju prijedlog okvirnih vrijednosti glavnih sastojaka mješavine samoslijegajućeg betona, naglašavajući kako brojne uspješne mješavine prekoračuju te vrijednosti. (tablica 6)

*Tablica 6: Karakteristične vrijednosti komponenti samoslijegajućeg betona (The Self-Compacting Concrete European Project Group, 2005)*

Komponenta	Karakterističan raspon masenih vrijednosti (kg/m <sup>3</sup> )	Karakterističan raspon volumnih vrijednosti (l/m <sup>3</sup> )
prah	380-600	
pasta		300-380
voda	150-210	150-210
krupni agregat	750-1000	270-360
sitni agregat	Vrijednost ovisi o volumenu ostalih komponenti. Najčešće 48-55% ukupne mase agregata.	
v/v		0.85-1.1

Projektiranje smjese samoslijegajućeg betona zahtijeva izradu probnih mješavina i usavršavanje sastava u nekoliko koraka kako bi se mješavina prilagodila potrebnim karakteristikama i razredima betona. Projektiranje smjese obično se bazira na sljedećim koracima:

- procjeniti potrebnu količinu vode i optimizirati tečenje i stabilnost paste
- odrediti omjer sitnog agregata i aditiva kako bi se dobila potrebna čvrstoća
- ispitati osjetljivost na manje promjene količine komponenti
- dodati potrebnu količinu krupnog agregata
- izmiješati svježi samoslijegajući beton u laboratorijskoj miješalici te ga ispitati preporučenim metodama
- ispitati očvrsnuli beton
- izmiješati probne mješavine

Ukoliko probna mješavina nije zadovoljila specifikacije, potrebno ju je ponovno projektirati. Obzirom na nedostatke i uočene probleme, moguće je postupiti jednom od sljedećih rješenja:

- prilagoditi vodovezivni omjer i omjer cementa i veziva te ispitati tečenje i ostala svojstva paste
- koristiti drugi aditiv
- prilagoditi omjer sitnog agregata i superplastifikatora
- koristiti regulator viskoznosti
- prilagoditi omjer i granulaciju krupnog agregata

#### **4. Izrada mješavine od samoslijegajućeg betona**

Pri izradi mješavine samoslijegajućeg betona izrađene su u miješalici (slika 10) probne mješavine od 1 litre kako bi se, ukoliko je potrebno, korigirale odabrane recepture. Prilikom izrade po potrebi se povećavala količina superplastifikatora i vode dok se količine ostalih sastojaka nisu mijenjale. Nakon što su izrađene probne mješavine svježeg betona, njihova konzistencija ispitivala se pomoću stolića za rasprostiranje. (slika 11) Kada se kalup napuni svježim betonom nakon kraćeg stajanja se taj isti kalup odigne te se stolić za rasprostiranje podiže i spušta 15 puta (1 puta/sekundi). Promjer rasprostiranja mjeri se u dva okomita smjera i izražava u mm. Srednja vrijednost smatra se konzistencijom betona. Za samoslijegajući beton preporučene vrijednosti su preko 200 mm (tablica 7).

Tablica 7: Vrijednosti konzistencije betona

Kategorija	Konzistencija (mm)
kruta	< 140
plastična	140-200
tekuća	> 200



Slika 10: Miješalica za probne mješavine (lijevo)

Slika 11: Stolić za rasprostiranje (desno)

Sastojci (slika 12), korišteni za izradu betonskih uzoraka, prikazani u tablici jesu sljedeći:

- cement-Holcim lumen – CEM I 42,5 R
- silicijska prašina – SikaFume –HR/-TU
- voda iz gradskog vodovoda
- superplastifikator Glenium Sky
- punilo – mljeveni vapnenac
- agregat – drobljeni vapnenac u frakcijama 0/4 i 4/8 mm

Izrađene su 3 mješavine čije su količine prikazane u tablici 8.

Tablica 8: Količine sastojaka izrađenih mješavina

Sastojci	Mješavina M1 Kg/m <sup>3</sup>	Mješavina M2 Kg/m <sup>3</sup>	Mješavina M3 Kg/m <sup>3</sup>
Cement	340	340	340
Silicijska prašina	60	60	60
Voda	179	179	182
Superplastifikator	12 (3%)	14 (3,5%)	13 (3,25%)
Punilo	120	120	120
Agregat 0-4	1036,74	1036,74	1036,74
Agregat 4-8	364,26	364,26	364,26
Vodovezivni omjer	0,4	0,4	0,4



Slika 12: Sastojci za betonsku smjesu

## 5. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA SAMOSLIJEGAJUĆEG BETONA

Laboratorijska ispitivanja izvršena su u Laboratoriju za materijale na Građevinskom fakultetu u Rijeci. Ispitana su svojstva svježeg i očvrsnulog betona triju izrađenih smjesa samoslijegajućeg betona koje su smatrane odgovarajućim za izradu betonskog stola. Od prve recepture napravljeno je jedanaest uzoraka (šest kocki i pet prizmi) čiji volumen odgovara dvostrukom volumenu stola ( $0,048 \text{ m}^3$ ), a od druge i treće po pet uzoraka (tri kocke i dvije prizme) čiji je volumen jednak volumenu stola ( $0,024 \text{ m}^3$ ).

Na svježem betonu izvršeno je ispitivanje rasprostiranja slijeganjem, ispitivanje viskoznosti V-lijevkom te ispitivanje sposobnosti zaobilaženja prepreka L kutijom dok se na očvrsnulim uzorcima betona ispitala tlačna čvrstoća te čvrstoća na savijanje.

Uvjeti koje samoslijegajući beton mora ispuniti (HRN EN 206-9:2010):

- sposobnost tečenja betona uz pomoć svoje vlastite težine
- sposobnost popunjavanja prostora tečenjem u oplati
- sposobnost zaobilaženja prepreka tečenjem oko armature bez segregacije i blokiranja betona
- otpornost segregaciji da se zadrži homogenost tijekom transporta, ugradnje i nakon ugradnje

Cilj laboratorijskih ispitivanja bio je istražiti koja bi smjesa samoslijegajućeg betona bila optimalnija za korištenje u izradi betonskog namještaja.

### 5.1 Ispitivanje svježeg betona

Na betonu u svježem stanju provedena su ispitivanja rasprostiranja slijeganjem, viskoznosti V-lijevkom i sposobnosti zaobilaženja prepreka L-kutijom koja samoslijegajući beton mora ispuniti. Svakoj betonskoj mješavini je uz pomoć rezultata određen razred rasprostiranja, viskoznosti i sposobnosti zaobilaženja prepreka prema normi HRN EN 206-9:2010.



### 5.1.1 Ispitivanje rasprostiranja slijeganjem

Ispitivanje je izvršeno prema normi HRN EN 12350-8 koja određuje viskoznost samoslijegajućeg betona i sposobnost punjenja. Koristio se kalup u obliku krnjeg stošca s promjerom od 200 mm, unutarnje dimenzije 100 mm i visine 300 mm koji se postavio u centar ploče s ucrtanim koncentričnim krugom promjera 500 mm. Lopaticom se cijeli stožac ispunio mješavinom te poravnao bez zbijanja. Nakon toga se stožac vertikalno podignuo i bilježilo se vrijeme potrebno da beton dosegne krug promjera 500 mm (slika 13). Prema istraživanju BriteEuRam vrijeme prihvatljivo za primjenu u građevinarstvu je 3-7 sekundi. Zatim se izmjerio konačan promjer betona u dva okomita smjera. Što je veći rezultat (SF) to je veća sposobnost da beton ispunio oplatu pod vlastitom težinom. Za samoslijegajuće betone ta vrijednost mora biti minimalno 650 mm iako se optimalnim smatra +/- 50 mm. Vrijednost SF je srednja vrijednost promjera  $d_1$  i  $d_2$  zaokružena na 10 mm.(1)

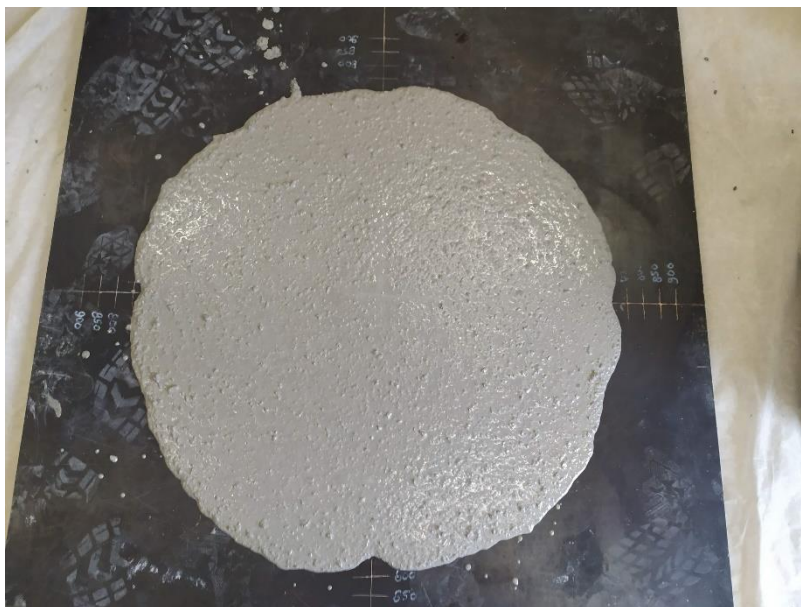
$$SF = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (1)$$

gdje je:

SF - razred rasprostiranja-slijeganjem [mm]

$d_1$  - najveći promjer rasprostrtog betona [mm]

$d_2$  - promjer rasprostrtog betona za 90° u odnosu na  $d_2$  [mm]



Slika 13: Ploča za ispitivanje rasprostiranja slijeganjem

Razredi rasprostiranja slijeganjem prema HRN EN 206-9:2010 (tablica 9):

*Tablica 9: Razredi rasprostiranja slijeganjem*

Razred konzistencije rasprostiranja slijeganjem	Tečenje betona (mm)	Primjena betona
SF1	550-650	nearmirani ili slabo armirani betonski elementi, ugradnja pumpama, elementi malih dimenzija koji ne zahtijevaju veliko horizontalno tečenje betona
SF2	660-750	prikladno za većinu radova (zidovi, stupovi)
SF3	760-850	za elemente s gusto složenom armaturom, složenog oblika

Razredi viskoznosti betona prema HRN en 206-9:2010 (tablica 10):

*Tablica 10: Razredi viskoznosti*

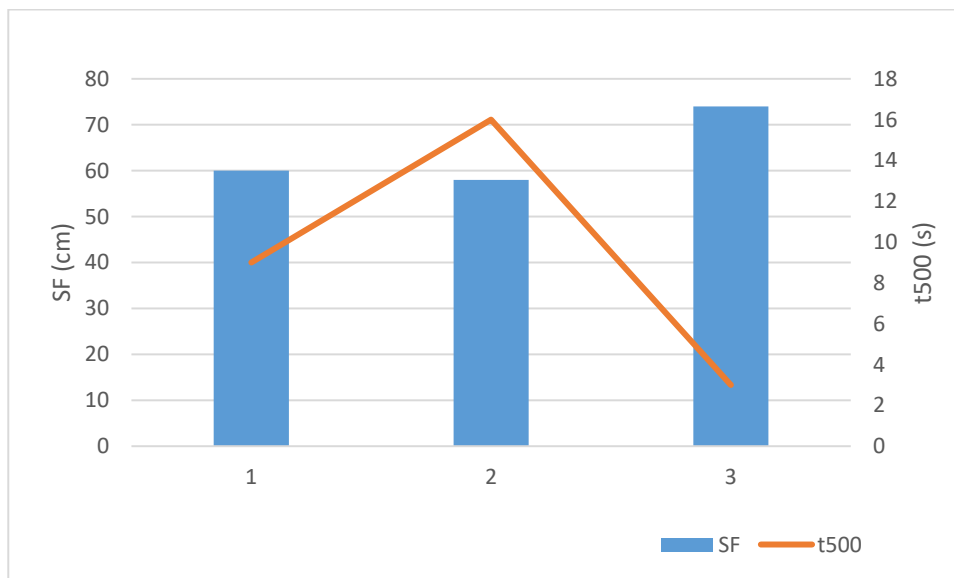
Razred viskoznosti	VS1/VF1	VS2/VF2
T500 (s)	<2	>2
Karakteristike	prikladno za gusto složenu armaturu, dobra završna površina, može doći do izdvajanja vode i segregacije	moguća pojava tiksotropnih efekata (povoljno za smanjenje pritiska na oplatu), poboljšana otpornost na segregaciju, loš izgled površine, veća osjetljivost pri nastavku betoniranja

Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 11 i slici 14.

*Tablica 11: Rezultati ispitivanja rasprostiranja i viskoznosti*

oznaka	mjerna jedinica	mješavina M1	mješavina M2	mješavina M3
d1	cm	60	57	74
d2	cm	60	58	73
SF	cm	60	58	74
t500	s	9	16	3

<b>Razredi rasprostiranja</b>	SF1	SF1	SF2
<b>Razredi viskoznosti</b>	VS2	VS2	VS2



Slika 14: Grafički prikaz rezultata ispitivanja rasprostiranja i viskoznosti

### 5.1.2 Ispitivanje viskoznosti V-lijevkom

Ispitivanje je izvršeno prema normi HRN EN 12350-9 i koristi se za određivanje viskoznosti i sposobnosti popunjavanja betona. Oblik obrnutog stošca je odgovoran za blokiranje betona ukoliko isti sadrži previše krupnog agregata. Duže vrijeme protoka može biti povezano s niskom deformabilnosti zbog visoke viskoznosti paste te s velikim trenjem među česticama. V-lijevak (slika 15) se postavio na čvrstu i ravnu površinu te su se na dnu kalupa zatvorila vratašca ispod kojih se postavila kanta. Lijevak se u potpunosti ispunio betonom bez zbivanja ili nabijanja te se poravnao i očistio višak betona. U prvih deset sekundi su se otvorila vrata na dnu posude i računalo se koliko je potrebno da se izvrši pražnjenje lijevka. Optimalno vrijeme protoka samoslijegajućeg betona je oko 10 sekundi. Razredi viskoznosti betona prema HRN EN 206-9:2010 dani su u sljedećoj tablici.



Slika 15: V-lijevak

Razredi viskoznosti betona prema HRN en 206-9:2010 (tablica 12):

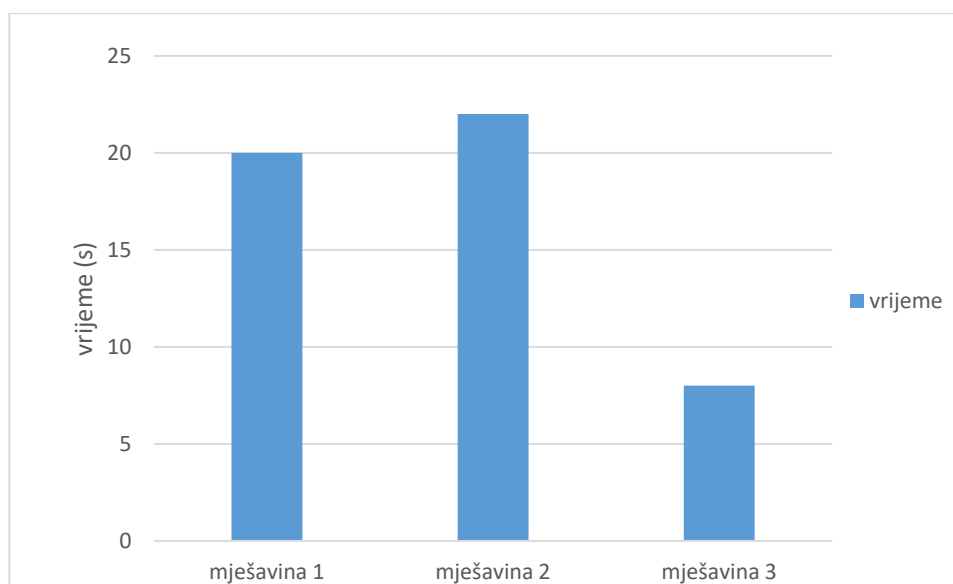
Tablica 12: Razredi viskoznosti betona

Razred viskoznosti	VS1/VF1	VS2/VF2
V-lijevak (s)	<9	9-25
Karakteristike	prikladno za gusto složenu armaturu, dobra završna površina, može doći do izdvajanja vode i segregacije	moguća pojava tiksotropnih efekata (povoljno za smanjenje pritiska na oplatu), poboljšana otpornost na segregaciju, loš izgled površine, veća osjetljivost pri nastavku betoniranja

Rezultati ispitivanja dani su u tablici 13 i slici 16.

Tablica 13: Rezultati ispitivanja viskoznosti

oznaka	mjerna jedinica	mješavina M1	mješavina M2	mješavina M3
vrijeme	s	20	22	8
Razredi viskoznosti		VS2	VS2	VS1



Slika 16: Grafički prikaz rezultata ispitivanja viskoznosti V-lijevkom

### 5.1.3 Ispitivanje sposobnosti zaobilaženja prepreka L-kutijom

Ispitivanje je izvršeno prema normi HRN EN 12350-10 kojima se određuje sposobnost prolaznosti samoslijegajućeg betona kroz uske otvore između dvije ili tri armaturne šipke bez segregacije i blokiranja. Potrebno je postaviti kutiju na ravnu i čvrstu podlogu, osigurati da se klizna vrata mogu otvoriti i zatim ih zatvoriti i potom vertikalni presjek uređaja ispuniti s betonskim uzorkom (slika 17). Nakon što je uzorak odstajao jednu minutu vizualno se provjerilo je li došlo do segregacije. Zatim su se podignula klizna vrata kako bi se dopustilo betonu da isteče u horizontalni dio (slika 18). Kad je gibanje betona prestalo izmjerila se visinska razlika na kraju uređaja između površine betona i gornjeg dijela posude i površine betona i donjeg dijela posude. Mjerenje je izvršeno na tri mjesta, dva na krajevima i jedno

u sredini te se iz tih vrijednosti izračunala srednja vrijednost H1 i H2. Što su vrijednosti bliže 1 protok betona je bolji, a minimalna prihvaćena vrijednost predložena od Europskog udruženja je 0,8.



Slika 17: Vertikalni dio L-kutije ispunjen betonom (lijevo)

Slika 18: Horizontalni dio L-kutije ispunjen betonom (desno)

Sposobnost prolaza betona (2) računa se po formuli (slika 19):

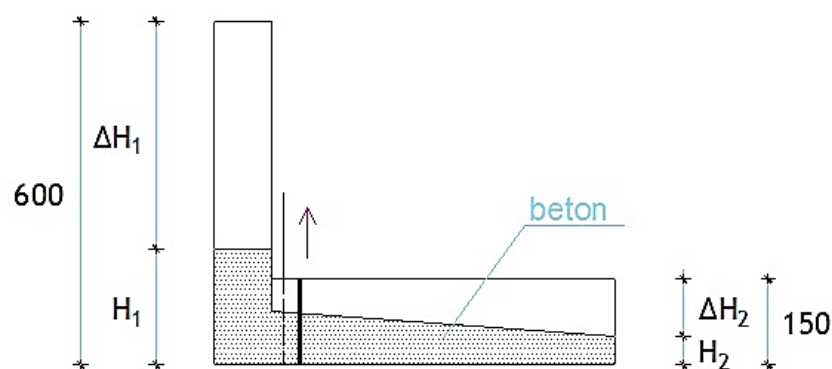
$$Pa = \frac{H_2}{H_1} \quad (2)$$

gdje je:

Pa - omjer sposobnosti prolaska

H1 - srednja dubina betona u vertikalnom dijelu kutije [mm]

H2 - srednja dubina betona na kraju horizontalnog dijela kutije [mm]



Slika 19: Računanje sposobnosti prolaska betona pomoću L-kutije

Razredi ispitivanja sposobnosti zaobilaženja prepreka L-kutijom prema HRN EN 206-9:2010 (tablica 14):

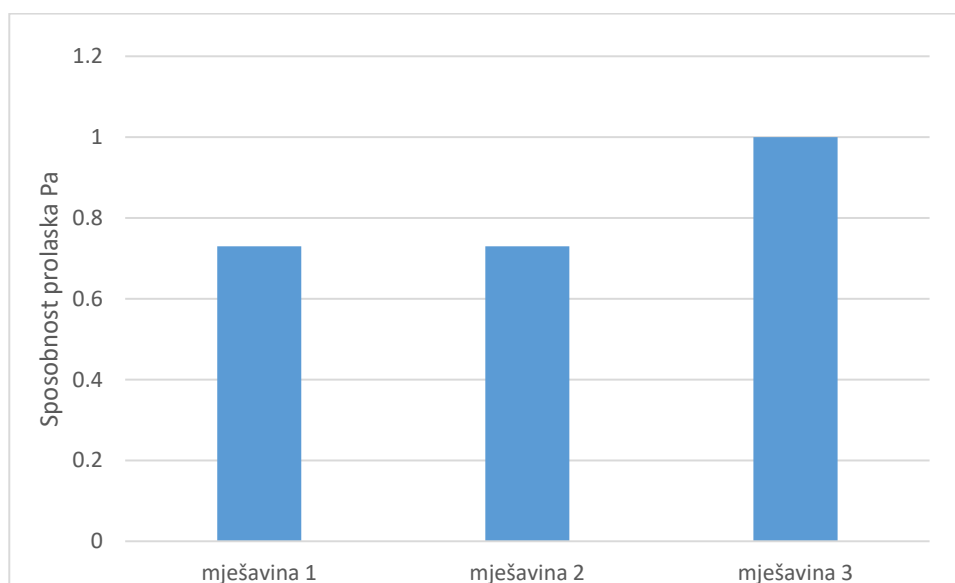
Tablica 14: Razredi ispitivanja sposobnosti tečenja

Razred sposobnosti zaobilaženja prepreka	Specifičnost L kutije
<b>PA1</b>	H2/H1 $\geq$ 0.80 kutija sa dvije armaturne šipke
<b>PA2</b>	H2/H1 $\geq$ 0.80 kutija sa tri armaturne šipke

Rezultati ispitivanja dani su u tablici 15 i slici 20.

Tablica 15: Rezultati ispitivanja sposobnosti zaobilaženja prepreka

oznaka	mjerna jedinica	mješavina M1	mješavina M2	mješavina M3
$\Delta H1$	cm	49	49	51
$\Delta H2$	cm	7	7	6
H1	cm	11	11	9
H2	cm	8	8	9
<b>Sposobnost prolaska (Pa)</b>		0.73	0.73	1
<b>Razred sposobnosti prolaska</b>		PA1	PA1	PA2



Slika 20: Grafički prikaz rezultata ispitivanja sposobnosti zaobilaženja prepreka L-kutijom

## 5.2 Ispitivanje očvrslulog betona

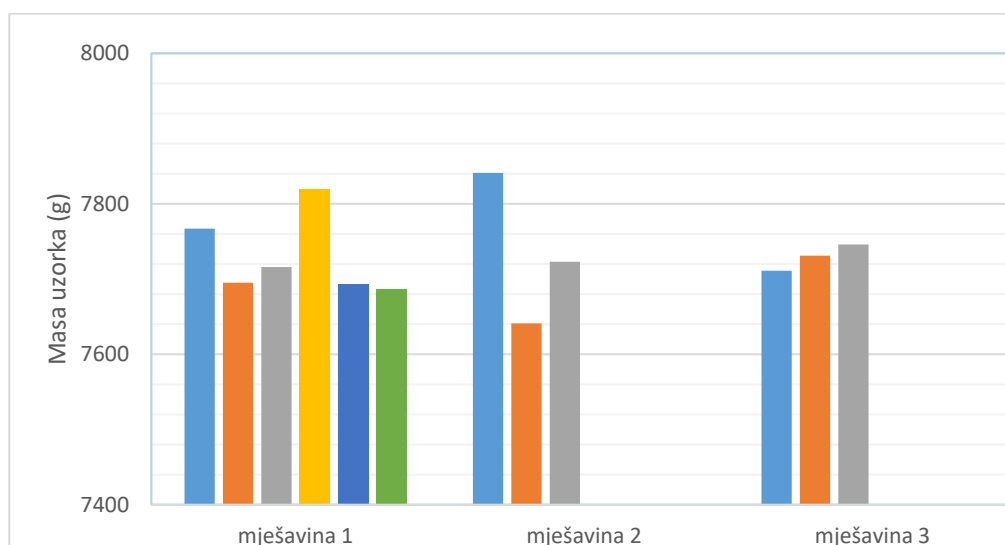
Betonu u očvrslulom stanju ispitivala se tlačna čvrstoća te čvrstoća uzoraka na savijanje. Ispitano je ukupno 12 kocki i 9 prizmi. Od prve mješavine 6 kocki i 5 prizmi, dok je od druge i treće mješavine ispitano 3 kocke i 2 prizme. Ispitivanja su provođena prema normi EN 12390-3:2009 za tlačnu čvrstoću te normi EN 12390-5:2009 za čvrstoću na savijanje.

### 5.2.1 Mjerenje dimenzija i mase betonskih uzoraka

Ispitivanjima su prethodila mjerenja mase uzoraka te širina, duljina i prosječna visina svakog uzorka. Ispitani uzorci bili su površinski suhi iako su njegovani 28 dana u vodi temperature 20°C. Rezultati mjerenja mase uzoraka prikazani su u tablici 16 i 17 te slikama 21 i 22.

Tablica 16: Mase uzoraka kocki

Oznaka uzorka kocke	Masa uzorka (kg)		
	mješavina M1	mješavina M2	mješavina M3
1	7.767	7.841	7.711
2	7.695	7.641	7.731
3	7.716	7.723	7.746
4	7.820		
5	7.693		
6	7.687		
<b>Srednja vrijednost</b>	<b>7.730</b>	<b>7.735</b>	<b>7.729</b>

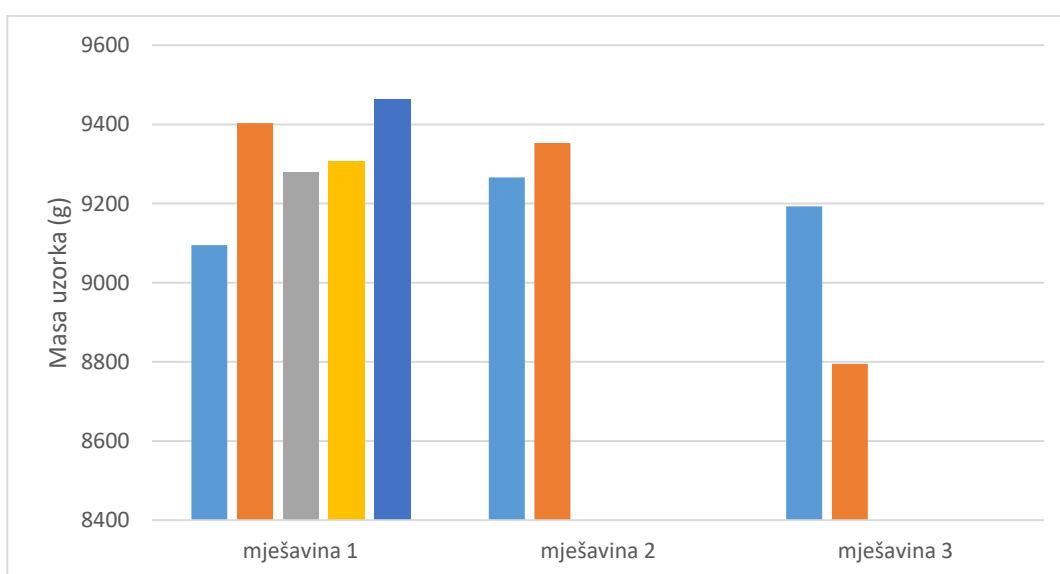


Slika 21: Mase uzoraka kocki



Tablica 17: Mase uzoraka kocki

Oznaka uzorka prizme	Masa uzorka (kg)		
	mješavina M1	mješavina M2	mješavina M3
1	9.095	9.266	9.193
2	9.403	9.353	8.795
3	9.280		
4	9.307		
5	9.462		
<b>Srednja vrijednost</b>	<b>9.309</b>	<b>9.310</b>	<b>8.994</b>



Slika 22: Mase uzoraka prizmi

### 5.2.2 Ispitivanje tlačne čvrstoće

Čvrstoća je maksimalna vrijednost naprezanja u trenutku sloma. Dok u slučaju tlačnog naprezanja, zakazivanje označava stanje kada se već razvilo unutarnje raspucavanje, ali uzorak još uvijek može nositi teret. Kod ispitivanja čvrstoće na tlak, do zakazivanja ispitivanog uzorka dolazi zbog prekoračenja vlačne i posmične čvrstoće. Tlačna čvrstoća betonskih uzoraka ispitana je prema normi HRN EN 12390-3:2009. Ispitano je 6 uzoraka prve mješavine M1 te po 3 uzorka druge M2 i treće M3 mješavine što je ukupno 12 uzoraka kocki duljine brida 15 cm. Uzorci su njegovani 28 dana u vodi temperature  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Ispitivanje se vršilo uređajem za ispitivanje tlačne čvrstoće Controls C56Z00 u kojoj je uzorak pozicioniran okomito i centrirano (slika 23) i potom opterećen stalnim opterećenjem od  $0,6 \pm 0,2 \text{ MPa/s}$  ( $\text{N/mm}^2 \cdot \text{s}$ ). Nakon početnog opterećenja, na uzorak je nanoseno

opterećenje bez udara te je kontinuirano povećavano za 10% do sloma uzorka. Evidentirano je maksimalno opterećenje svakog uzorka u kN (slika 26). Na slikama 23 i 24 prikazan je uzorak prije i nakon što je opterećen silom.



Slika 23: Uzorak prije nanošenja opterećenja (lijevo)

Slika 24: Uzorak nakon nanošenja opterećenja (desno)

Tlačna čvrstoća dobivena je prema (3) :

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3)$$

gdje je:  $f_c$  - tlačna čvrstoća u MPa (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  - najveće opterećenje pri lomu (N)

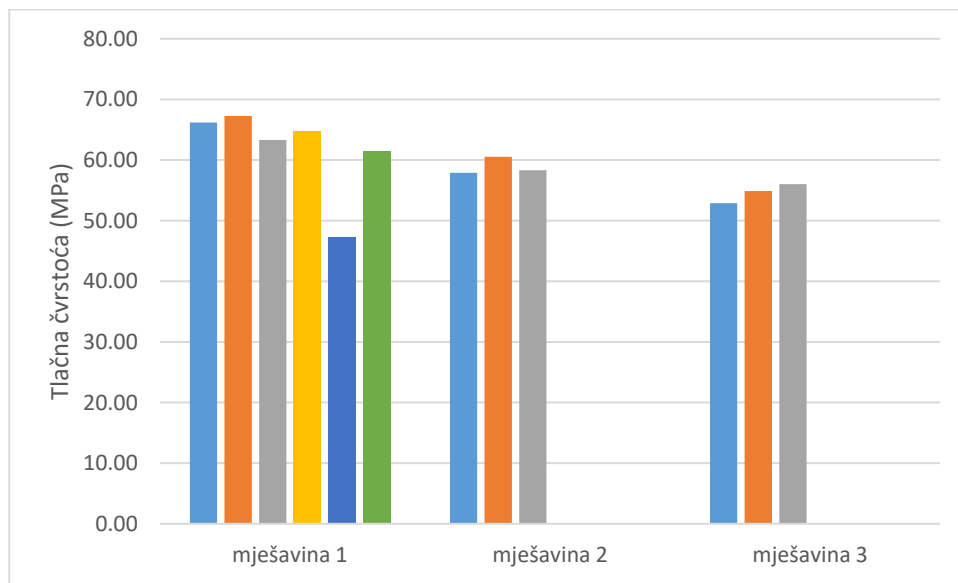
$A_c$ - površina na koju tlačna sila djeluje (mm<sup>2</sup>)

Prema normi HRN EN 12390-3 svi ispitani uzorci imali su prihvatljiv slom. Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 18 i na slici 25.

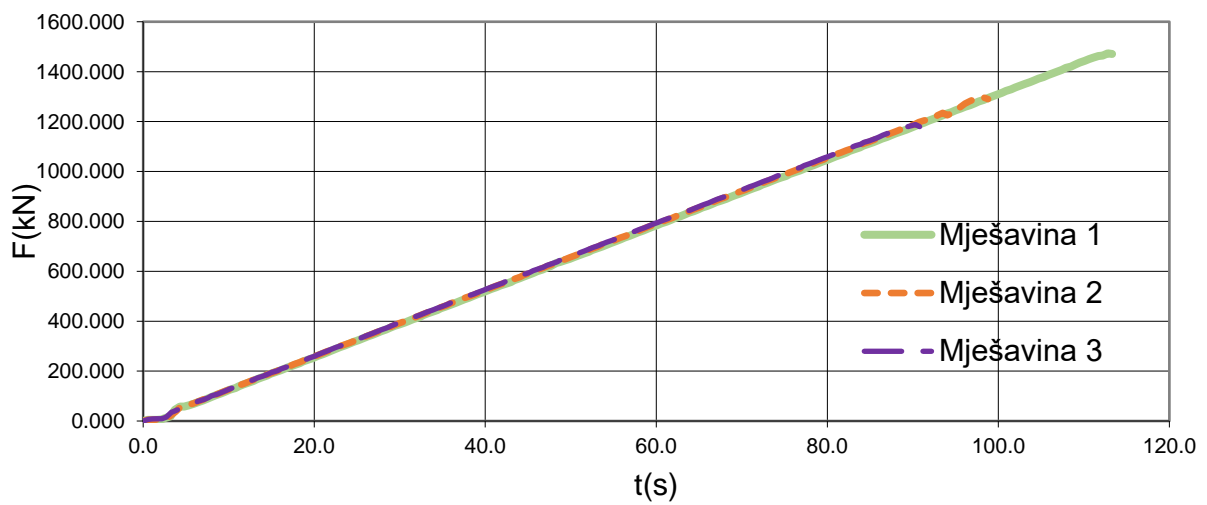
Tablica 18: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće

Oznaka uzorka	Tlačna čvrstoća (MPa)		
	mješavina M1	mješavina M2	mješavina M3
1	66.19	57.90	52.88

2	67.28	60.54	54.89
3	63.32	58.31	56.01
4	64.79		
5	47.18		
6	61.52		
<b>Srednja vrijednost</b>	<b>61.71</b>	<b>58.92</b>	<b>54.59</b>



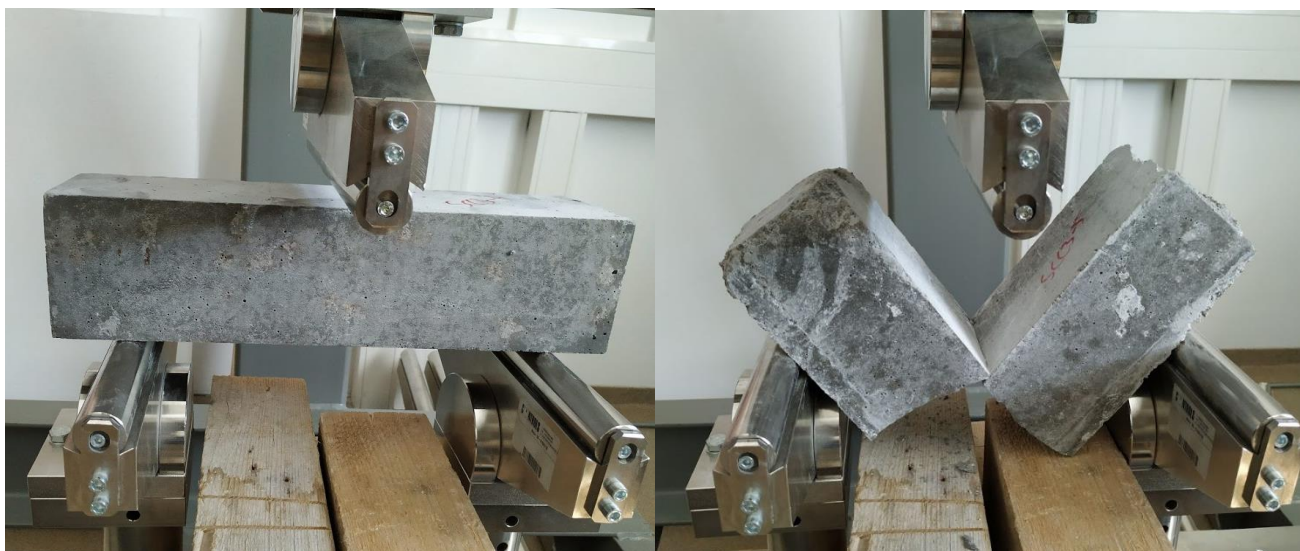
Slika 25: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće



Slika 26: Dijagram sloma betona

### 5.2.3 Ispitivanje čvrstoće na savijanje

Vlačna čvrstoća betona je otpor kojim se materijal suprotstavlja odvajanju na jedinicu površine (otpor kidanju) te je ona višestruko manja od tlačne čvrstoće. Ispitana je savijanjem betonskih prizmi dimenzija 400x100x100 mm nanošenjem tlačnih i vlačnih opterećenja prema normi HRN EN 12390-5:2009. Ispitano je 5 uzoraka prve mješavine M1 te po 2 uzorka druge M2 i treće M3 mješavine što je ukupno 9 uzoraka. Uzorci su njegovani 28 dana u vodi temperature  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Ispitivanje se vršilo uređajem za ispitivanje čvrstoće na savijanje Controls C1601/FR u kojoj je uzorak pozicioniran horizontalno i centrirano s razmakom valjaka 300 mm (slika 27) te tako da plohe lijevanja betona budu okomite na plohe nanošenja sile. Uzorci su zatim opterećeni stalnim opterećenjem od 0,05 MPa/s ( $\text{N}/\text{mm}^2\cdot\text{s}$ ). Prirast nanošene sile iznosi 0,2 MPa/s do sloma uzorka. Evidentirano je maksimalno opterećenje svakog uzorka u kN (slika 30). Na slikama 27 i 28 je prikazan uzorak prije i nakon što je opterećen silom.



*Slika 27: Uzorak prije nanošenja opterećenja (lijevo)*

*Slika 28: Uzorak nakon nanošenja opterećenja (desno)*

Čvrstoća na savijanje dobivena je prema (4):

$$\sigma_c = \frac{M_y}{W_c} \quad (4)$$

gdje je:  $\sigma_c$  - čvrstoća na savijanje u MPa (N/mm<sup>2</sup>)

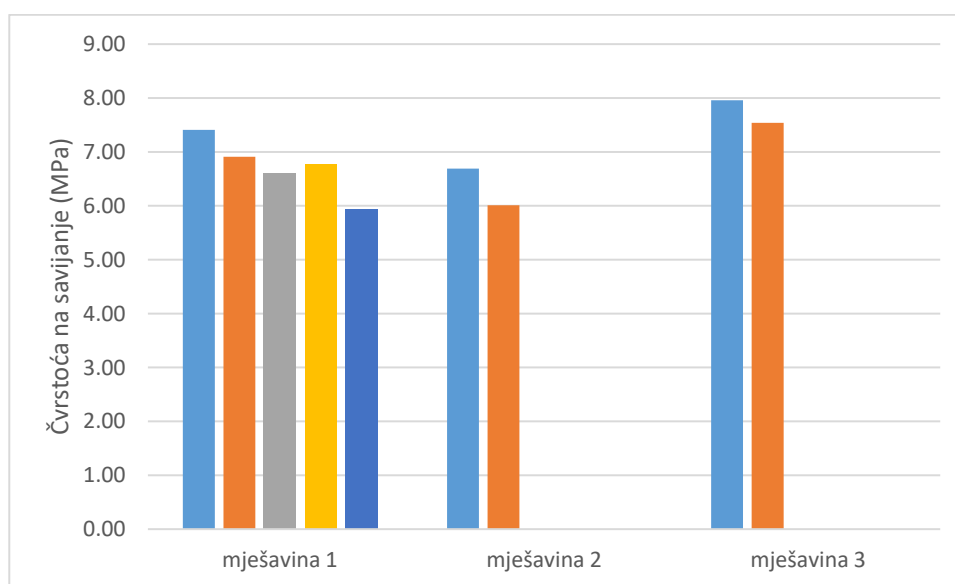
$M_y$  - moment savijanja oko osi

$W_c$  - moment otpora presjeka

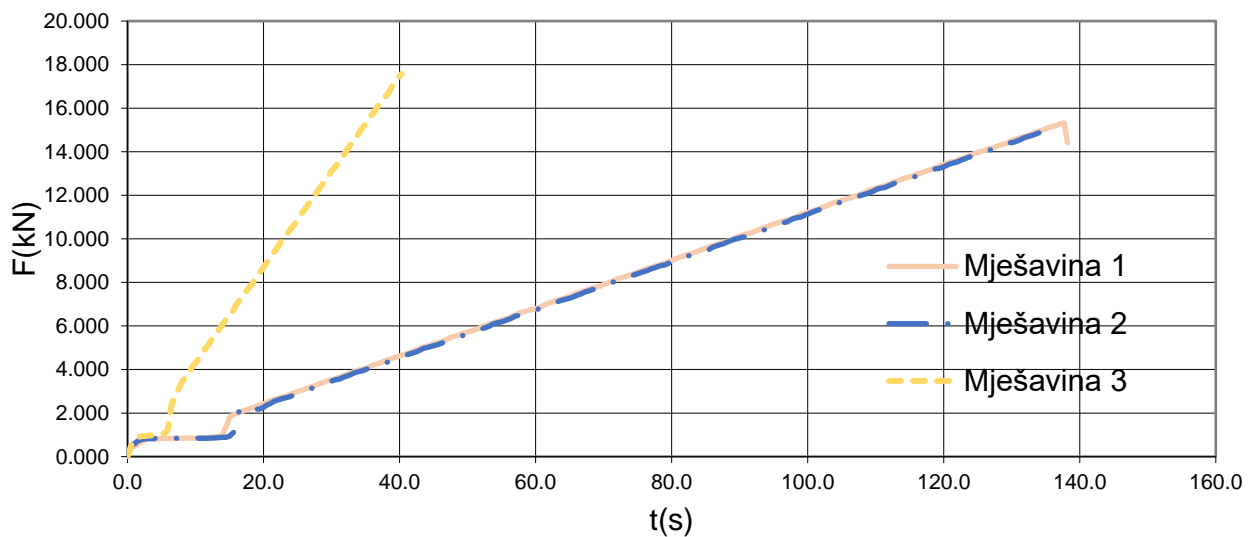
Prema normi HRN EN 12390-5 svi ispitani uzorci imali su prihvatljiv slom. Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 19 i na slici 29.

Tablica 19: Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje

Oznaka uzorka	Čvrstoća na savijanje (Mpa)		
	mješavina M1	mješavina M2	mješavina M3
1	7.41	6.69	7.96
2	6.91	6.01	7.54
3	6.61		
4	6.77		
5	5.94		
<b>Srednja vrijednost</b>	<b>6.73</b>	<b>6.35</b>	<b>7.75</b>



Slika 29: Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje



Slika 30: Dijagram sloma betona

### 5.3 Odabir smjese

Pomoću rezultata dobivenih metodama za samoslijegajući beton ( The Self-Compacting European Project Group,2005) provedena je analiza svojstava svježeg i očvrsnulog samoslijegajućeg betona. Usporedbom rezultata rasprostiranja slijeganjem vidljivo je da samo mješavina 3 ispunjava uvjete razreda SF2 koji je prikladan za većinu radova ( npr. betoniranje zidova i stupova). Ostala 2 uzorka (mješavina 1 i mješavina 2) ispunjavaju uvjete nižeg razreda SF1 koji je pogodan za izgradnju elemenata malih dimenzija te slabo armiranih betonskih elemenata. Rezultate ispitivanja viskoznosti ispunjavaju sve mješavine razredom VS2 koji povoljno djeluje na smanjenje pritiska na oplatu, dok se pri ispitivanju viskoznosti V-lijevkom izdvaja mješavina 3 jer zadovoljava razred VS1 koji je pogodan za dobru završnu površinu. Kod ispitivanja L-kutijom što su vrijednosti bliže 1 protok betona je bolji, a preporučene vrijednosti  $>0,8$  zadovoljava samo mješavina 3 (slika 31).



RAZRED								
SF			VS		VF		PA	
SF1	SF2	SF3	VS1	VS2	VF1	VF2	PA1	PA2
mješavina 1	mješavina 3			mješavina 1	mješavina 3	mješavina 1	mješavina 1	mješavina 3
mješavina 2				mješavina 2		mješavina 2	mješavina 2	
				mješavina 3				

Slika 31: Dobiveni razredi samoslijegajućeg betona

Prilikom izrade betona korišten je cement klase 42,5 što označava tlačnu čvrstoću nakon 28 dana. Prema normi HRNEN 12390-3 svaka mješavina imala je prihvatljivu tlačnu čvrstoću te čvrstoću na savijanje. Kod mjerenja masa srednja vrijednost mase svih uzoraka bila je približno jednaka. Najbolje rezultate tlačne čvrstoće imali su uzorci mješavine 1, dok su uzorci mješavine 3 imali najbolju čvrstoću na savijanje iako su izgledom bili u najlošijem stanju.

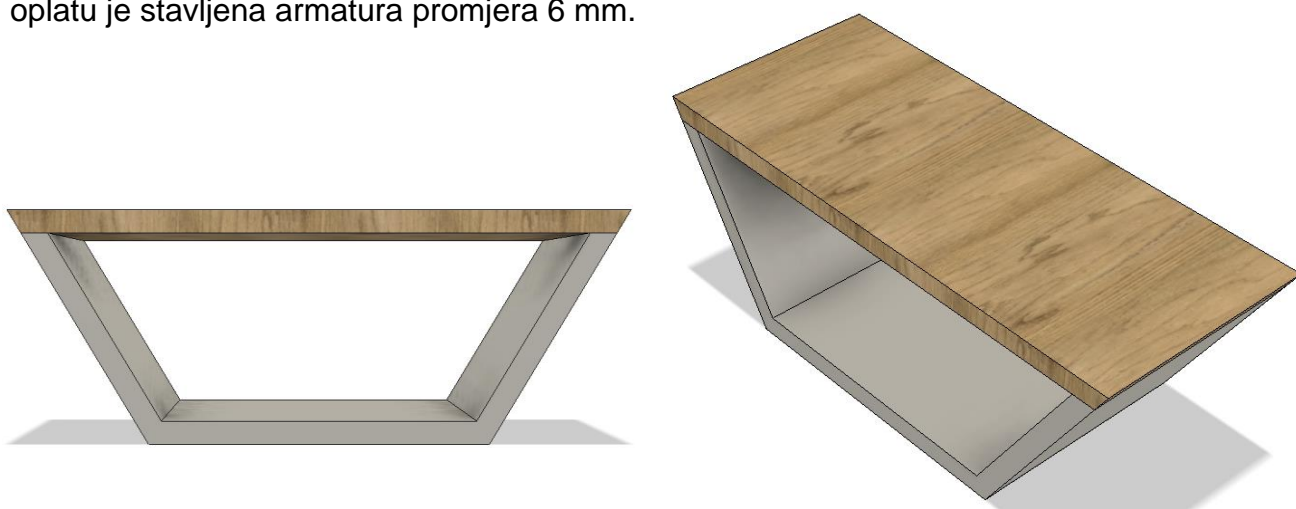
Iako je tijekom izrade mješavina 3 u svježem stanju pokazivala najbolje rezultate, nakon 28 dana uzorci su postali rahli. Kao najbolji očvrslili uzorci pokazali su se uzorci mješavine M1 (slika 32) te je ona odabrana za korištenje u daljnjoj izradi betonskog stola.



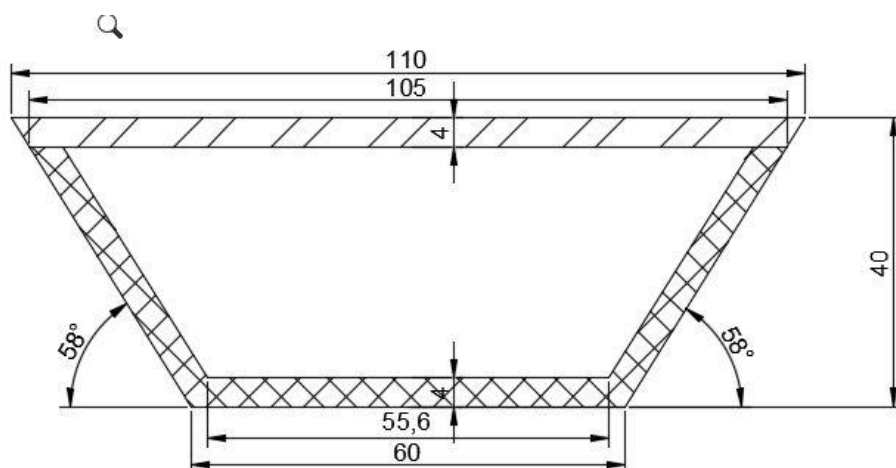
Slika 32: Uzorci mješavine M1

## 6. IZRADA BETONSKOG STOLA

Izrada betonskog stola izvršena je u Laboratoriju za materijale na Građevinskom fakultetu u Rijeci. Sama izrada započela je pronalaskom željenog oblika predmeta (slika 33) te njegovom skicom sa odabranim dimenzijama (slika 34). Zbog odabranog složenijeg izgleda betonskog stola koristio se samoslijegajući beton zbog nemogućnosti vibriranja te je njegovoj izradi prethodio odabir odgovarajuće smjese. Prema skici predmeta izrađeni su nacrti oplata koja se kasnije izradila te koristila pri izradi. Odabrana širina predmeta iznosi 0,45 m. Kako bi se osigurala konačna čvrstoća predmeta prije samog ulijevanja betona u oplatu je stavljena armatura promjera 6 mm.



Slika 33: Skice betonskog stola



Slika 34: Skica betonskog stola sa dimenzijama



U ovom dijelu rada prikazana je izrada betonskog stola od samog nacрта, izrade oplata, proračuna armature te same ugradnje.

### **6.1. Izrada oplata**

U današnjim građevinama gotovo da nema one u kojoj beton nije prisutan u dijelu ili cijeloj konstrukciji. Takve betonske konstrukcije se oplatama oblikuju u stupove, zidove, ploče i grede. Oplata je privremena konstrukcija u koju se izlijeva svježa betonska mješavina te betonskoj konstrukciji daje trajan oblik i površinski izgled.

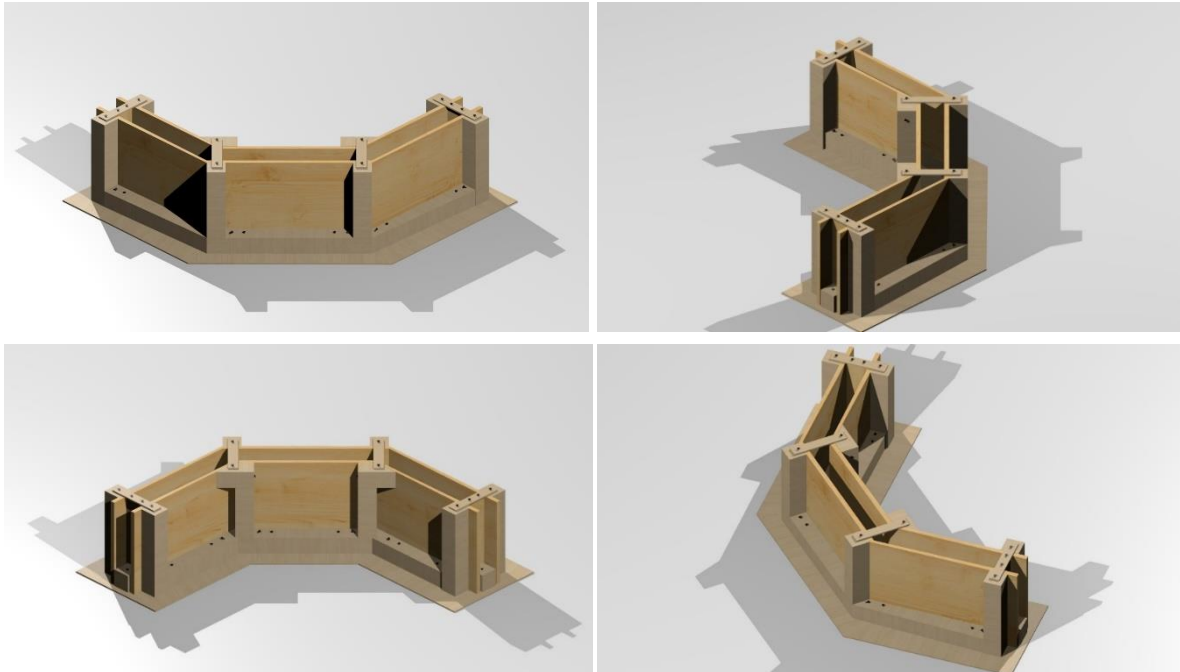
Izbor vrste oplata i postupka rada ovisi o mnogim čimbenicima, kao na primjer, o količini betonskih konstrukcija za koje je potrebno izraditi oplata na građevini ili gradilištu, o obliku i vrsti konstrukcije po visini i prostoru, o zahtjevima za vidljivim površinama konstrukcija, o raspoloživom vremenu i sredstvima itd.

Zahtjevi koje moraju ispunjavati elementi oplata:

- prihvaćaju i prenose opterećenja svježeg betona
- plohe koje su u dodiru sa svježim betonom moraju biti nepropusne
- svi elementi oplata moraju biti vodootporni, pod utjecajem vlage i vode ne mijenjaju fizička svojstva
- elementi i sklopovi moraju biti prilagodljivi i omogućiti izradu različitih oblika i dimenzija betonskih konstrukcija
- povezivanje, sklapanje i skidanje oplatnih sklopova treba biti jednostavno uz mali utrošak ljudskog rada

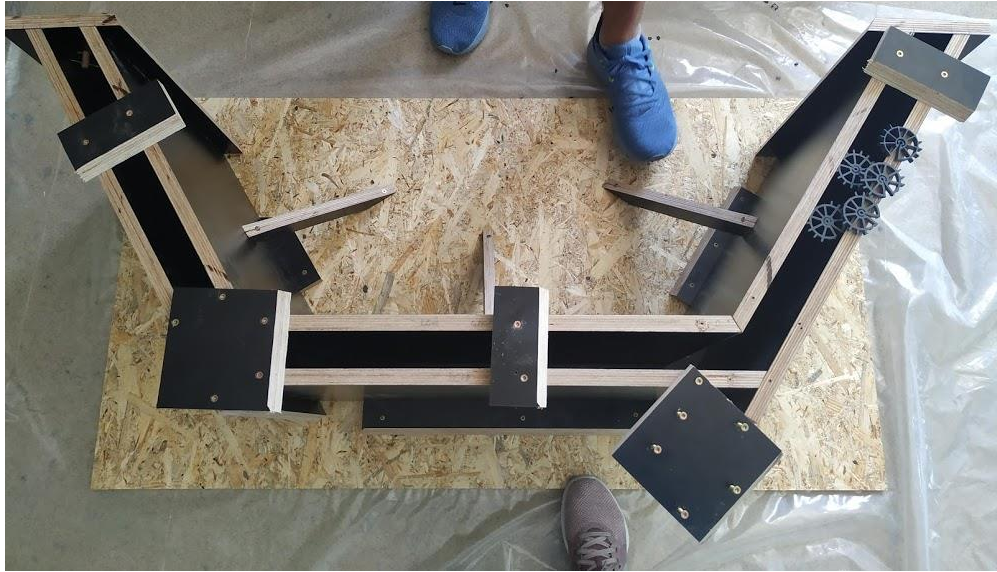
Danas se suvremene oplata najčešće izvode za višestruku upotrebu i to od čelika, čeličnog skeleta i drvenog omotača, drvenih rešetki, drvenog omotača i čeličnih veza. (Mlinarić V., 2010) Za potrebe izrade betonskog namještaja odabrana je oplatna tabla od šperploča (blažujki) naručena u trgovini Drvo Karlovac. Građevinska protuklizna oplatna "blažujka" odlikuje se visokokvalitetnom izradom i pruža optimalnu stabilnost i čvrstoću. Sastoji se od lijepljenih listova furnira te je s obje strane obložena smeđim polimernim slojem gustoće od 120g/m<sup>2</sup>. Površina oplata ima protukliznu strukturu te ju čini prikladnom za upotrebu pri vanjskim uvjetima. Takva oplatna je vodootporna te se uglavnom koristi za horizontalno i vertikalno opločenje. Prije narudžbe bilo je potrebno specificirati komade oplata: dužinu, širinu, visinu i kut rezanja pomoću

prateće skice elementa (slika 35) te također uz to napisati količinu (m<sup>2</sup>) i tip potrebne armature te distancere za istu (kojih dimenzija).



*Slika 35: Skice naručene oplata*

Privremeni držači oplata i ugrađeni elementi kao npr. ploče, ankeri i distanceri trebaju biti čvrsto fiksirani tako da očuvaju projektirani položaj tijekom betoniranja. Ne smiju uzrokovati neprihvatljive utjecaje na konstrukciju te štetiti funkcionalnosti i trajnosti konstrukcijskog elementa. Svaki ugrađeni dio treba imati dovoljnu čvrstoću i krutost da zadrži oblik tijekom betoniranja. Ne smije sadržavati tvari koje mogu štetno djelovati na njih same, beton ili armaturu. Prilikom izrade betonskog stola korišteni su plastični distanceri promjera 4 cm vidljivi na slici 36.



*Slika 36: Izrađena oplata sa potrebnim distancerima*

## **6.2. Ugradnja i njegovanje betona**

Prije početka betoniranja, u cilju izbjegavanja lijepljenja betona za drvo, oplata je premazana sredstvom Oplatol koje ne utječe na svojstva betona te je neposredno prije betoniranja dobro navlažena. Prilikom betoniranja smjesa se ulijevala u oplatu vlastitom težinom zaobilazeći armaturu te bez zbijanja.(slika 37)

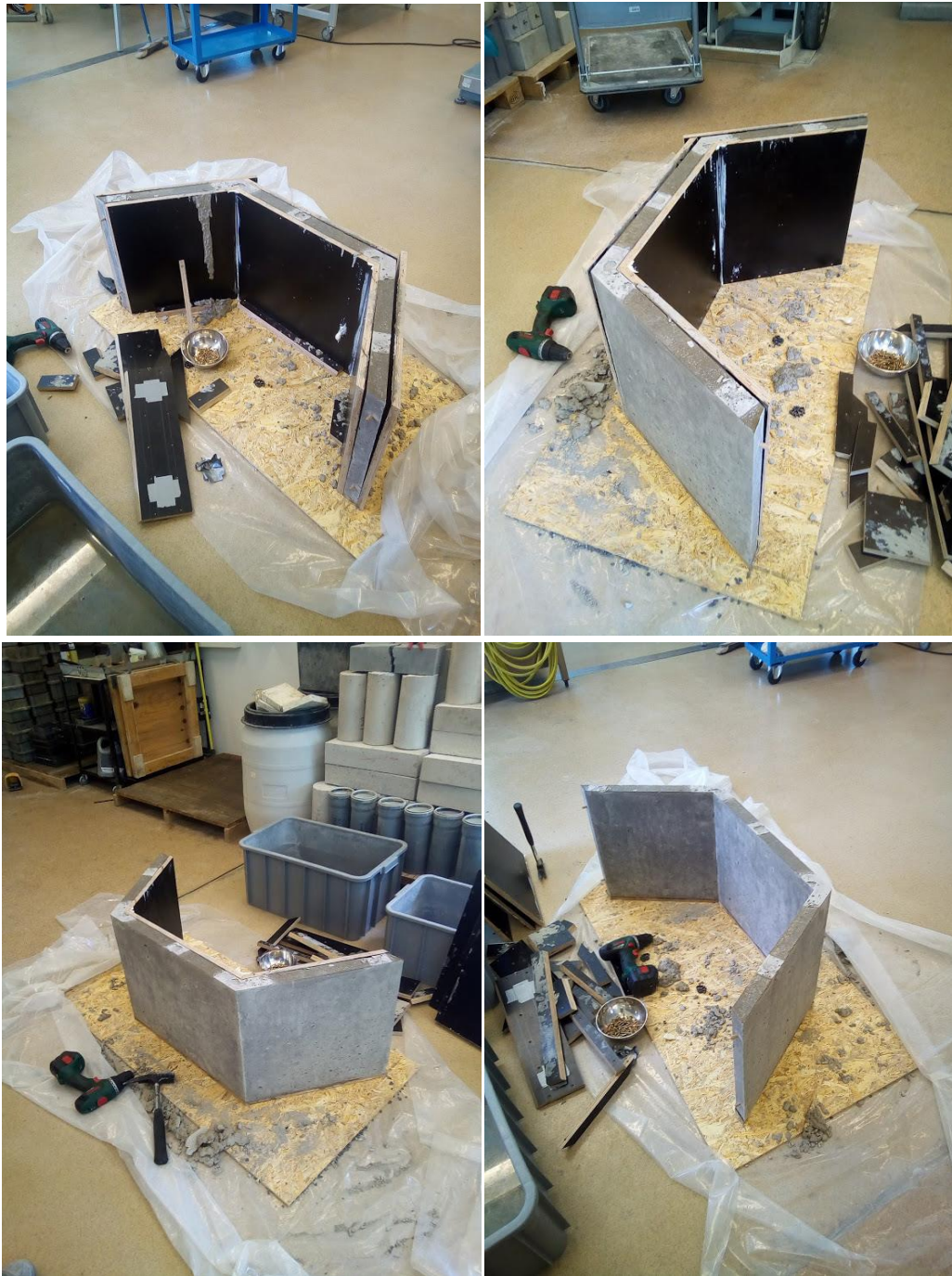


*Slika 37: Ulijevanje betona u oplatu*

Po stvrdnjavanju betona nakon 6 dana oplata je skinuta, očišćena i sortirana te skladištena do ponovnog korištenja. Skidanje oplata izvedeno je na način da se konstrukcija ne



preoptereti i ne ošteti (slika 38). Nakon raskalupljivanja betonski stol je njegovan kako bi se spriječilo isparavanje vode iz betona te pojava pukotina neprekidnim polijevanjem površine betona vodom u trajanju 7 dana.



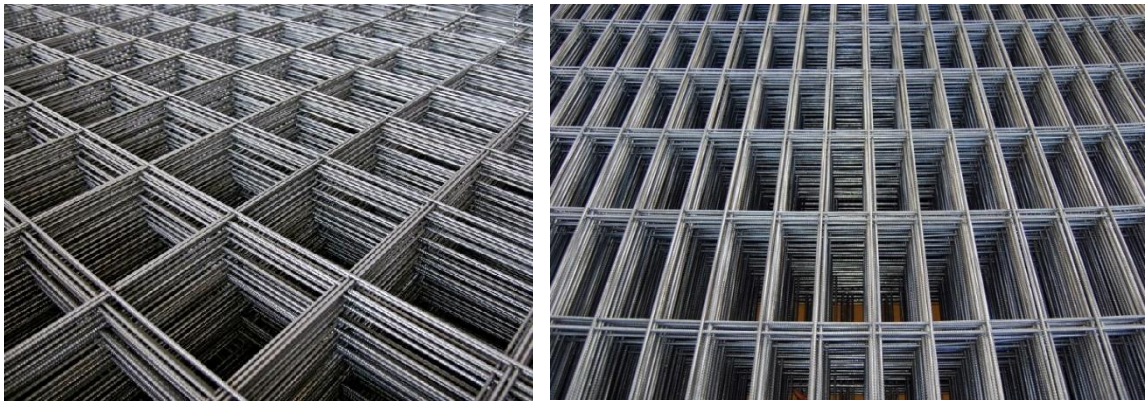
*Slika 38: Skidanje oplata nakon stvrdnjavanja betona*

### **6.3. Proračun i odabir armature**

Armatura je građevinski materijal koji se koristi za ojačanje betona. Beton može sam preuzeti tlačne sile, ali ne i vlačnu silu pa ga moramo dodatno armirati. Beton možemo

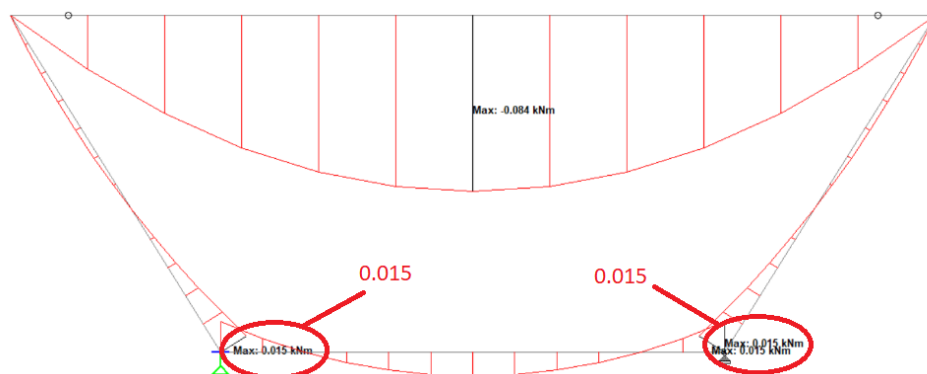
armirati na različite načine, a najčešće ga armiramo čelikom. Kako bi se što bolje armatura povezala s betonom razvijeni su različiti oblici. Najčešće korišteni su glatke rebraste šipke te mreže koje se obično koriste za ojačavanje betonskih ploča. Mrežasta armatura načinjena je od tankih željeznih šipki koje su međusobno ukrižene pod kutem od 90 stupnjeva i zavarene (slika 39) te se proizvode kao:

- R mreže – glavna armatura u jednom smjeru
- Q mreže – jednaka u oba smjera



Slika 39: Q i R armaturne mreže (<https://www.era-commerce.hr/armatruna-mreze-q-131/>)

Prije izrade betonskog stola potrebno je izračunati količinu i potrebnu armaturu koja će se koristiti prilikom same izrade. Za proračun je korištena manja klasa betona C16/20 kako bi bili sigurni da će betonski stol imati potrebnu nosivost i pri najmanjoj čvrstoći. Uporabno opterećenje koje bi betonski stol zajedno sa drvenom pločom trebao podnijeti iznosi  $0,70 \text{ kN/m}^2$ . Pomoću programa Staad dobiveni su momenti prikazani na slici 40.



Slika 40: Momenti uporabnog opterećenja

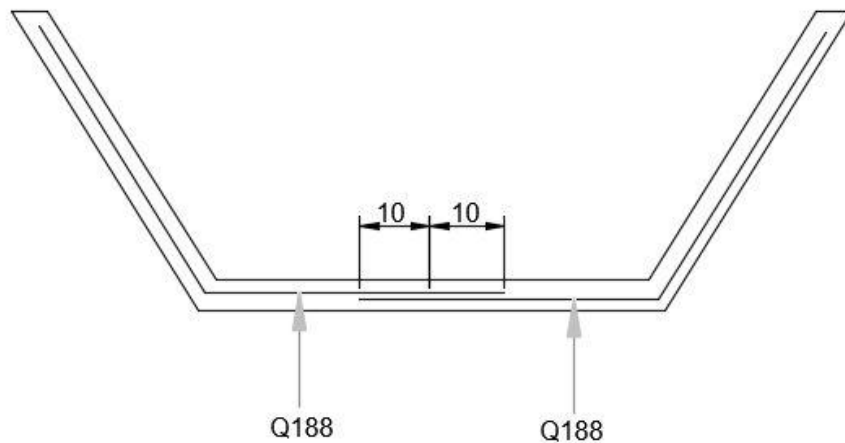
## PRORAČUN ARMIRANO BETONSKE PLOČE (NOSIVE U 1 SMJERU) NA SAVIJANJE, UZDUŽNU SILU I POSMIK

X0 Beton unutar zgrada s vrlo malom vlažnošću zraka		Za beton bez armature ili ugrađenog metala: sve izloženosti osim onih u kojima postoji za mrzavanje/odmrzavanje, abrazija ili kemijska agresivnost		1 Nema rizika od korozije	X0	OSNOVNI PODACI ZA PRORAČUN PLOČE	
Proračunski uporabni vijek 100 god.	ne	Preporučeni razred konstrukcije za proračunski uporabni vijek 50 god. (S4)		S 4			
Element pločaste geometrije	da						
Osigurana posebna kontrola kvalitete proizvodnje betona	ne						
Klasa betona	C16/20	[1]	Razred čvrstoće				
Čelik za armiranje	B500B	[1]	Oznaka čelika za armiranje				
S	S 3	[1]	Razred konstrukcije				
$\phi_{\text{pretpostavka}}$	6	0,6	[mm]/[cm]	Pretpostavljeni promjer glavne armaturene vlačne šipke			
$c_{\text{nom}}$	2,0	[cm]	Nazivni zaštitni sloj				
$h_{\text{pl}}$	4,0	[cm]	Visina ploče				
d	1,70	[cm]	Statička visina presjeka				
$f_{\text{cd}}$	10,7	1,1	[MPa]/[kN/cm <sup>2</sup> ]	Proračunska tlačna čvrstoća betonskog valjka			
Uzeti u obzir jednu od vrijednosti maksimalne armature: (HRN EN 1992-1-1, t. 5.6.3 [13]) Ograničavanje debljine tlačnog područja presjeka, tj. sposobnost zaokretanja u područjima plastičnih zglobova što se <u>nijetko primjenjuje za ploče</u> :					ne		
<b>1.1 Proračun momenta savijanja i koeficijentata presjeka u polju</b>							
Statika	ne	[1]	Odabir statičke sheme: kontinuirani nosači preko jednakih polja				
Broj polja		[1]	Broj polja kontinuiranih nosača				
$M_{\text{Ed}}$		0,02	[kNm]	Proračunski moment savijanja prema statici kontinuiranih nosača/Proračunato			
$N_{\text{Ed}}$ i e	0	0	[kN] i [cm]	Proračunska osna sila s ekscentricitetom			
$\mu_{\text{Eds}}$	0,005		[1]	Bezdimenzijski moment savijanja			
	0,01		[1]	Bezdimenzijski moment savijanja (uzeta veća vrijednost za daljnji proračun)			
$\zeta$	0,995		[1]	Koeficijent kraka unutarnjih sila			
$\xi$	0,012		[1]	Koeficijent položaja neutralne osi			
x	0,02		[cm]	Visina tlačnog područja			
$M_{\text{Rd,lim}}$	0,91	91,25	[kNm/kNcm]	Granični moment savijanja koji jednostruko armirani presjek može preuzeti			
<b>Presjek nije potrebno dvostruko armirati</b>							
<b>1.1.1 Proračun glavne vlačne armature u polju ( donja zona )</b>							
$A_{\text{s1,req}}$	0,02	0,22	[cm <sup>2</sup> ]	Zahtijevana ploština poprečnog presjeka glavne armature			
$A_{\text{s1,min}}$	0,22		[cm <sup>2</sup> ]	Minimalna ploština poprečnog presjeka glavne armature			
$A_{\text{s1,max}}$	8,80		[cm <sup>2</sup> ]	Maksimalna ploština poprečnog presjeka armature			
$s_{1,\text{max,slabs}}$	6		[cm]	Najveći razmak glavne armature za ploče			

Odabrana armatura:

Tip	Profili (mm)	Razmaci (mm)	Dimenzije (m)	kg/m <sup>2</sup>	kg/kom
Q 188	6,0x6,0	150x150	6,00x2,20	3,06	40,40

Iako stol nije potrebno armirati, korištena je minimalna armatura zbog složenijeg geometrijskog oblika stola. Skica armature prikazana je na slici 41.



Slika 41: Skica armature

#### 6.4. Proračun i izrada drvene ploče

Nakon izrade betonskog dijela stola proračunata je i izvedena drvena ploča stola. Za proračun koji je prikazan u nastavku odabrano je cjelovito drvo četinara (meko drvo) klase C18.

#### Kombinacije djelovanja prema GSN-u i prema GSU

Proračunska osnovna kombinacija djelovanja za granično stanje nosivosti za stalne i prolazne proračunske situacije (poglavlje 6.4. norme EN 1990:2002):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$



Proračunska karakteristična kombinacija djelovanja za granično stanje uporabljivosti za drvene konstrukcije u proračunu početnih deformiranja (poglavlje 6.5. norme EN 1990:2002):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Proračunska nazovistalna kombinacija djelovanja za granično stanje uporabljivosti za drvene konstrukcije u proračunu konačnih deformiranja (primjena zamjenskog postupka prema normi HRN EN 1995-1-1):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \cdot (1 + k_{def}) + Q_{k,1} \cdot (1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum_{i > 1} Q_{k,i} \cdot (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

gdje je:

$G_{k,j}$	karakteristična vrijednost stalnog djelovanja
$\gamma_{G,j}$	parcijalni koeficijent za stalno djelovanje
$P$	sila prednapinjanja
$\gamma_P$	parcijalni koeficijent za djelovanje prednapinjanja
$Q_{k,1}$	karakteristična vrijednost vodećeg promijenjivog djelovanja
$\gamma_{Q,1}$	parcijalni koeficijent za vodeće promijenjivo djelovanje
$Q_{k,i}$	karakteristična vrijednost pratećeg promijenjivog djelovanja
$\gamma_{Q,i}$	parcijalni koeficijent za prateće promijenjivo djelovanje
$\Psi_{0,i}$	koeficijent kombinacijske vrijednosti promijenjivih djelovanja
" + ", $\Sigma$	označavaju „kombinirati s“ i „kombinacija učinaka od“
$k_{def}$	faktor izmjene deformiranja za razrede usporebe



Parcijalni koeficijenti  $\gamma_F$  za stalna i promjenjiva djelovanja u proračunu graničnih stanja za zgrade (tablica 20):

Tablica 20: Parcijalni faktori  $\gamma_F$  prema tablici A1.2(A) u Dodatku A

norme HRN EN 1990:2008

Stalne i prolazne proračunske situacije (Granična stanja nosivosti – GSN)	Stalna djelovanja	Promjenjiva djelovanja	
		Vodeće promjenjivo djelovanje, $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	Prateća promjenjiva djelovanja, $\gamma_{Q,i} Q_{k,i}$
Izraz (6.10, HRN EN 1990)	$\gamma_G$	$\gamma_{Q,1}$	$\gamma_{Q,i}$
<b>Provjere otpornosti i statičke ravnoteže – STR i EQU<sup>a)</sup></b>			
Povoljan učinak, $\gamma_{F,inf}$	1,15	0,00	0,00
Nepovoljan učinak, $\gamma_{F,sup}$	1,35	1,50	1,50
<b>Provjere statičke ravnoteže – EQU</b>			
Povoljan učinak, $\gamma_{F,inf}$	0,90	0,00	0,00
Nepovoljan učinak, $\gamma_{F,sup}$	1,10	1,50	1,50
<b>Provjere otpornosti – STR</b>			
Povoljan učinak, $\gamma_{F,inf}$	1,00	0,00	0,00
Nepovoljan učinak, $\gamma_{F,sup}$	1,35	1,50	1,50

<sup>a)</sup>Kad se kombinirana provjera otpornosti i statičke ravnoteže provodi umjesto pojedinačnih provjera otpornosti (STR) i statičke ravnoteže (EQU), a izvjesno je da primjena parcijalnog faktora  $\gamma_{G,inf} = 1,00$  na oba dijela stalnog opterećenja (povoljan i nepovoljan dio) neće proizvesti manje povoljan učinak.

Vrijednosti faktora izmjene deformiranja  $k_{def}$  za razrede uporabe (tablica 21 i 22):

Tablica 21: Razredi uporabe – NA HRN EN 1995-1-1

Razred uporabe 1	Vlažnost drva pri higroskopskoj ravnoteži ne smije prelaziti 12 % ( $\leq 12$ %) za sljedeće uvjete mikroklimе u kojoj se nalazi drvena konstrukcija: 20 °C i 65 % relativne vlažnosti zraka koja smije biti premašena samo dva (2) tjedna u godini.  Sve drvene konstrukcije u grijanim prostorima mogu se razvrstati u razred uporabe 1.	Razred uporabe 3	Vlažnost drva pri higroskopskoj ravnoteži veća je od 20 % (> 20 %), a uvjeti mikroklimе u kojoj se nalazi drvena konstrukcija takvi su da dovode do povećanja vlažnosti u drvu (iznad vrijednosti definiranih za razred uporabe 2).  Sve drvene konstrukcije izložene atmosferilijama mogu se razvrstati u razred uporabe 3.
Razred uporabe 2	Vlažnost drva pri higroskopskoj ravnoteži ne smije prelaziti 20 % ( $\leq 20$ %) za sljedeće uvjete mikroklimе u kojoj se nalazi drvena konstrukcija: 20 °C i 85 % relativne vlažnosti zraka koja smije biti premašena samo dva (2) tjedna u godini.  Sve natkrivene drvene konstrukcije mogu se razvrstati u razred uporabe 2.		

Tablica 22: Vrijednosti čimbenika faktora  $k_{def}$  za materijal

Materijal	Razred uporabe	Razred trajanja djelovanja			
		stalno	dugo	srednje	kratko
Cjelovito drvo	1	0,60	0,50	0,25	0,00
	2	0,80	0,50	0,25	0,00
	3	2,00	1,50	0,75	0,30
Lijepljeno lamelirano drvo	1	0,60	0,50	0,25	0,00
	2	0,80	0,50	0,25	0,00
	3	2,00	1,50	0,75	0,30

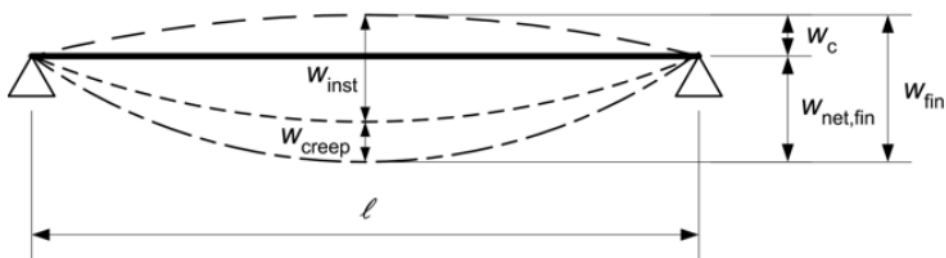
Tablica 23: Karakteristične vrijednosti čvrstoće i krutosti za puno drvo prema EC5

Klase prema EN 338 za meko drvo (1995.)	C 14	C 16	C 18	C 22	C 24	C 27	C 30	C 35	C 40
<b>Čvrstoće</b>									
Savijanje $f_{m,k}$	14,0	16,0	18,0	22,0	24,0	27,0	30,0	35,0	40,0
Vlak    $f_{t,0,k}$	8,0	10,0	11,0	13,0	14,0	16,0	18,0	21,0	24,0
Vlak ⊥ $f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Tlak    $f_{c,0,k}$	16,0	17,0	18,0	20,0	21,0	22,0	23,0	25,0	26,0
Tlak ⊥ $f_{c,90,k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3
Posmik i torzija $f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
<b>Moduli</b>									
Srednji E modul    $E_{0,mean}$	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	13000	14000
Karakteristični E modul    $E_{0,05}$	4700	5400	6000	6700	7400	8000	8000	8700	9400
Srednji E modul ⊥ $E_{90,mean}$	230	270	300	330	370	400	400	430	470
Srednji modul Posmika $G_{mean}$	440	550	560	630	690	750	750	810	880
<b>Gustoća</b> $\rho_k$	290	310	320	340	350	370	380	400	420

Tablica 24: Vrijednosti faktora  $k_{mod}$ , prema HRN EN 1995-1-1

Material	Standard	Service class	Load-duration class				
			Permanent action	Long term action	Medium term action	Short term action	Instantaneous action
Solid timber	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Glued laminated timber	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Plywood	EN 636 Part 1, Part 2, Part 3 Part 2, Part 3 Part 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Particle-board	EN 312 Part 4, Part 5 Part 5 Part 6, Part 7 Part 7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Fibreboard, hard	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 or 2 HB.HLA1 or 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Fibreboard, medium	EN 622-3 MBH.LA1 or 2 MBH.HLS1 or 2 MBH.HLS1 or 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80
Fibreboard, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80

Prema poglavlju 7.2 norme HRN EN 1995-1-1 slijedi:



Slika 42: Komponente progiba (slika 7.1 norme HRN EN 1995-1-1)

$w_c$  nadvišenje elemenata (ako postoji)

$w_{inst}$  početni progib (u vremenu  $t=0$ )

$w_{creep}$  progib prouzročen puzanjem (u vremenu  $t>0$ )

$w_{fin}$  konačni progib

$w_{net,fin}$  konačni netto progib (u odnosu na ravnu spojnicu oslonaca)

Ukupni progib elementa napregnute na koso savijanje je vektorski zbroj vertikalne (5) i horizontalne (6) komponente progiba:

$$w_{inst} = \sqrt{w_{y,inst}^2 + w_{z,inst}^2} \leq l/300 \quad (5)$$

$$w_{fin} = \sqrt{w_{y,fin}^2 + w_{z,fin}^2} \leq l/250 \quad (6)$$

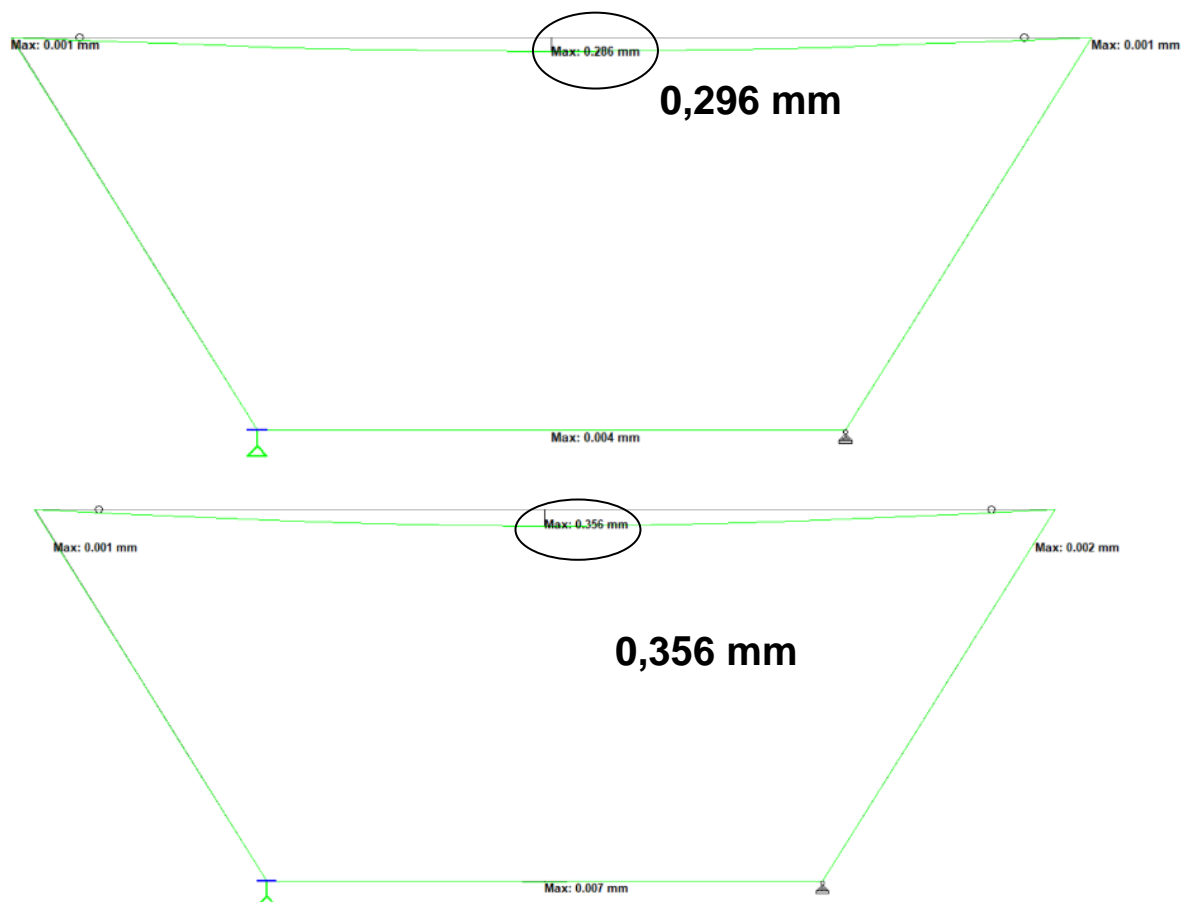
Granične vrijednosti za početni i konačni progib elemenata raspona  $l$  prema tablicama 7.2 norme HRN EN 1995-1-1:2008 i 7.2(HR) nacionalnog dodatka norme HRN EN 1995-1-1:2008/NA:2009 :

Tablica 25: Vrijednosti progiba elemenata

	$w_{inst}$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
Beam on two supports	$l/300$ to $l/500$	$l/250$ to $l/350$	$l/150$ to $l/300$
Cantilevering beams	$l/150$ to $l/250$	$l/125$ to $l/175$	$l/75$ to $l/150$

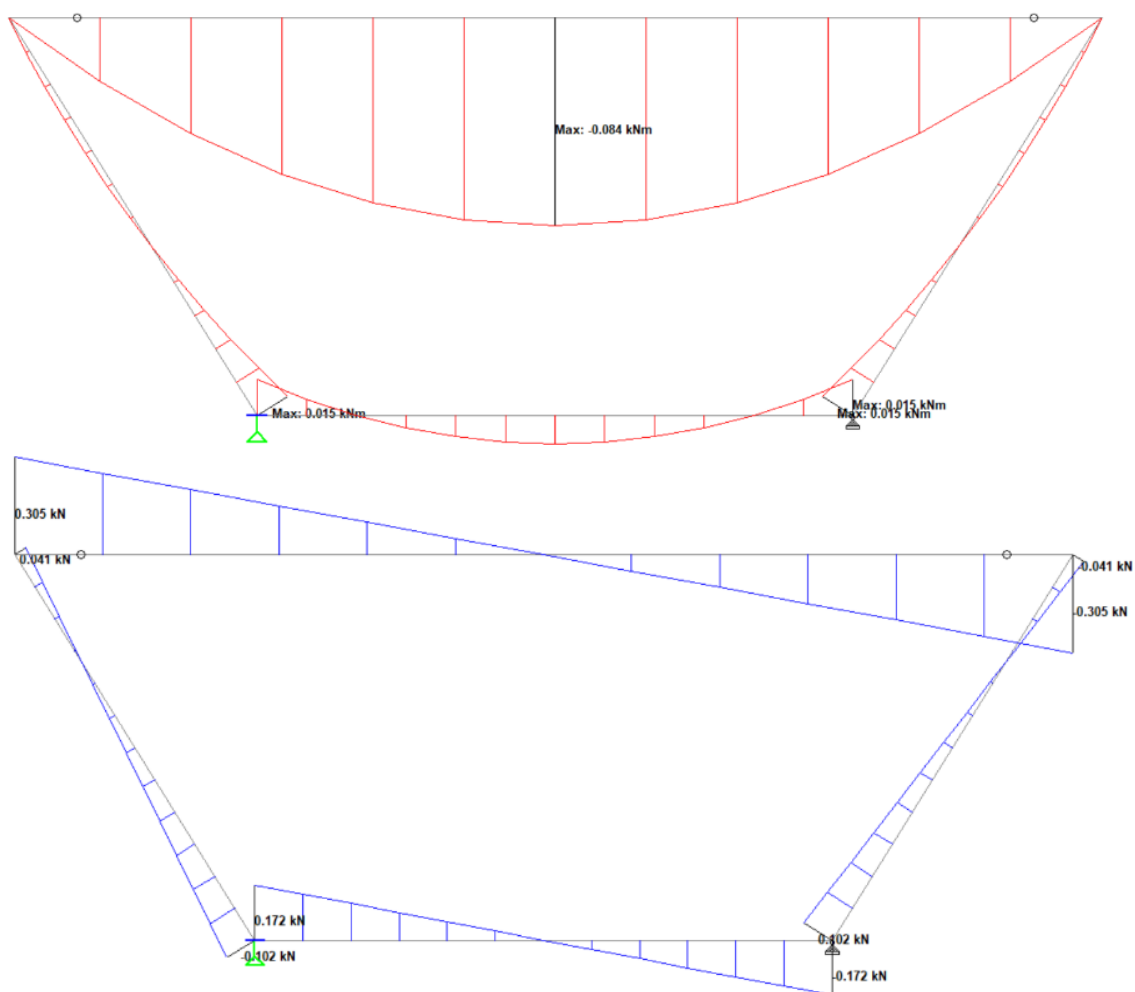
## Proračun ploče od cjelovitog drva

HRN EN 1991-1-1:2012; HRN EN 1991-1-1:2012/NA:2012 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja			
Ploča C18			
visina daske	$h$	0,04	m
širina opterećenja	$b'$	0,45	m
karakteristična gustoća	$\rho_k$	320,00	kg/m <sup>3</sup>
karakteristično opterećenje	$q'_k$	<b>0,06</b>	kN/m
HRN EN 1991-2:2012; HRN EN 1991-2:2012/NA:2012 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije			
Uporabno			
jednoliko vertikalno raspodijeljeno opterećenje	$q_{fk}$	0,70	kN/m <sup>2</sup>
širina opterećenja	$b'$	0,45	m
karakteristično opterećenje	$q'_{fk}$	<b>0,32</b>	kN/m



Slika 43: Dijagrami progiba (staad)

Provedba dokaza uporabljivosti - početne i konačne vrijednosti progiba				
Duljina	L	1,1	m	
Dozvoljeni progibi				
Početno nadvišenje - $w_c$	nema	0,00	mm	
Granični početni progib	L/300	3,67	mm	
Granični konačni netto progib	L/250	4,40	mm	
GSU <sub>inst</sub> - vrijednosti početnih progiba				
Rezultantni vertikalni početni progib	$w_{inst}$	0,29	mm	
GSU <sub>fin</sub> - vrijednosti konačnih netto progiba				
Rezultantni konačni netto progib	$w_{nett,fin}$	0,36	mm	
Provjera progiba				
Provjera ograničenja početnih progiba (polje)	$\frac{w_{inst}}{L/300}$	$\leq 1$	0,08	Zadovoljava
Provjera ograničenja konačnih netto progiba (polje)	$\frac{w_{nett,fin}}{L/250}$	$\leq 1$	0,08	Zadovoljava



Slika 44: Dijagrami momenata i poprečnih sila (staad)

Karakteristika materijala			
Razred čvrstoće		<b>C18</b>	
Razred uporabe		<b>1</b>	
Karakteristična gustoća	$\rho_k$	<b>320</b>	kg/m <sup>3</sup>
Karakteristični modul elastičnosti	$E_{0,05}$	<b>6000</b>	N/mm <sup>2</sup>
Srednji modul posmika	$G_{mean}$	<b>560</b>	N/mm <sup>2</sup>
Karakteristični modul posmika	$G_{0,05}$	<b>375</b>	N/mm <sup>3</sup>
Faktori za presjek, čvrstoću i sigurnost			
Faktor oblika pravokutnog poprečnog presjeka	$k_m$	<b>0,70</b>	[1]
Faktor izmjene čvrstoće	$k_{mod}$	<b>0,90</b>	[1]
Faktor pukotina za cjelovito drvo	$k_{cr}$	<b>0,67</b>	[1]
Faktor početnog deformiranja	$\beta_c$	<b>0,20</b>	[1]
Parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo	$\gamma_M$	<b>1,30</b>	[1]
Karakteristične i proračunske čvrstoće			
Karakteristična čvrstoća na savijanje	$f_{m,k}$	<b>24,00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Karakteristična posmična čvrstoća	$f_{v,k}$	<b>4,00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Karakteristična vlačna čvrstoća (paralelno s vlaknima)	$f_{t,0,k}$	<b>14,00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Karakteristična tlačna čvrstoća (paralelno s vlaknima)	$f_{c,0,k}$	<b>21,00</b>	N/mm <sup>2</sup>
Proračunska čvrstoća na savijanje	$f_{m,d}$	<b>21,60</b>	N/mm <sup>2</sup>
Proračunska posmična čvrstoća	$f_{v,d}$	<b>2,77</b>	N/mm <sup>2</sup>
Proračunska vlačna čvrstoća (paralelno s vlaknima)	$f_{t,0,d}$	<b>12,60</b>	N/mm <sup>2</sup>
Proračunska tlačna čvrstoća (paralelno s vlaknima)	$f_{c,0,d}$	<b>14,54</b>	N/mm <sup>2</sup>
Dimenzije elementa i statičke veličine presjeka			
Visina presjeka	H	<b>40,00</b>	mm
Širina presjeka	B	<b>450,00</b>	mm
Raspon polja grede	L	<b>1,10</b>	m
Faktor utjecaja veličine presjeka na čvrstoću na savijanje za cjelovito drvo	$k_h$	$\frac{1,30}{1,30}$	<b>1,30</b> [1]
Proračunska širina presjeka u provjeri posmika zbog savijanja	$b_{eff}$	<b>301,50</b>	mm
Površina presjeka	A	<b>18000,00</b>	mm <sup>2</sup>
Proračunska ploština pravokutnog poprečnog presjeka na ležaju	$A_{eff}$	<b>12060,00</b>	mm <sup>2</sup>
Moment tromost za savijanje oko osi y-y	$I_y$	<b>2400000</b>	mm <sup>4</sup>
Moment otpora na savijanje oko osi y-y	$W_y$	<b>120000,0</b>	mm <sup>3</sup>
Moment tromost za savijanje oko osi z-z	$I_z$	<b>303750000</b>	mm <sup>4</sup>

Provjera otpornosti presjeka na posmik od posmične sile provedena je prema poglavlju 6.1.7 norme HRN EN 1995-1-1:

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$$

gdje je:  $f_{v,d}$  proračunska posmična čvrstoća (8):

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (8)$$

$\tau_{V,d}$  najveće proračunsko posmično naprezanje pri savijanju pravokutnog

presjeka (9): 
$$\tau_{V,d} = \frac{V_d \cdot S}{I \cdot b} = \frac{V_d \cdot \frac{b \cdot h^2}{8}}{\frac{b \cdot h^3}{12} \cdot b} = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A_{eff}} \quad (9)$$

gdje je:  $A_{eff}$  proračunska površina pravokutnog poprečnog presjeka na ležaju (10):

$$A_{eff} = b_{eff} \cdot h = b \cdot k_{cr} \cdot h \quad (10)$$

$k_{cr}$  faktor pukotina, uzima se u skladu s normama HRN EN 13986 i HRN EN 14374

U provjeri posmične otpornosti elementa pri savijanju treba uzeti u obzir utjecaj pukotina. Za cjelovito drvo iznosi  $k_{cr} = 0,67$ .

Provjera otpornosti presjeka na savijanje provedena je prema poglavlju poglavlju 6.1.6 norme HRN EN 1995-1-1:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{i} \quad k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{gdje je:}$$

$\sigma_{m,y,d}$  proračunsko naprezanje na savijanje oko jače osi y-y gdje iznosi (11):

$$\sigma_{m,y,d} = \sigma_{max,m,y,d} = \frac{M_{max,y,d}}{W_y} \quad (11)$$

$\sigma_{m,z,d}$  proračunsko naprezanje na savijanje oko jače osi z-z gdje iznosi (12):

$$\sigma_{m,z,d} = \sigma_{max,m,z,d} = \frac{M_{max,z,d}}{W_z} \quad (12)$$

$W_y, W_z$  su aksijalni momenti otpora oko y-y (13) odnosno z-z (14) osi i iznose:

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (13) \quad W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} \quad (14)$$

$k_m$  faktor koji se uzima u obzir za preraspodjelu naprezanja za određene poprečne presjeke

Za pravokutni poprečni presjek od cjelovitog drva iznosi  $k_m = 0,7$ , prema normi HRN EN 1995-1-1 poglavlje 6.1.6.

$f_{m,d}$  proračunska čvrstoća na savijanje (15):



$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_h \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (15)$$

Provjera na savijanje oko osi y-y (ROG)			
Proračunski moment savijanja oko osi y-y	$M_{y,d}$	<b>0,08</b>	kNm
Proračunsko naprezanje na savijanje oko osi y-y	$\sigma_{m,y,d}$	<b>0,70</b>	N/mm <sup>2</sup>
Provjera otpornosti presjeka na savijanje (y-y)	<b>0,03</b>	≤ 1	Zadovoljava
Provjera otpornosti presjeka na posmik (ROG)			
Proračunska poprečna sila	$V_{z,d}$	<b>0,31</b>	kN
Proračunsko posmično naprezanje	$\tau_{v,d}$	<b>0,04</b>	N/mm <sup>2</sup>
Provjera otpornosti presjeka na posmik	<b>0,01</b>	≤ 1	Zadovoljava

Pomoću proračuna dobiveno je da za zadano opterećenje drvena ploča zadovoljava na posmik i savijanje. Za izradu su korištene dvije ploče smreke dimenzija 0,018x0,6x1,3 međusobno spojene ljepilom za drvo te izrezane po odgovarajućim dimenzijama. Drvena ploča premazana je lakom naziva Ultratop orah koji daje puniji izgled drvu te dodatnu zaštitu površine.(slika 45)



Slika 45: Drvena ploča



## Gotov proizvod

Po završetku obrade daske lakom, daska je spojena sa betonskim dijelom pomoću drvenih tipli. Na slici 46 prikazan je izrađen proizvod.



*Slika 46: Izrađen betonski stol*

## 7. ZAKLJUČAK

Analizom dobivenih rezultata može se zaključiti da je moguće korištenje samoslijegajućeg betona u dekorativne svrhe. Pravilnom izvedbom te dodavanjem superplastifikatora u određenom omjeru moguće je poboljšati svojstva smjese. Prilikom izrade mješavina najbolje rezultate ispitivanja svježeg betona imala je mješavina M3 sa 3,25 % superplastifikatora, dok se u mješavini M2 sa 3,5 % superplastifikatora nakon nekog vremena počela izdvajati voda. Iako su svi uzorci imali zadovoljavajuću tlačnu čvrstoću kao i čvrstoću na savijanje odabrana je mješavina M1 za korištenje prilikom izrade betonskog stola. Mješavina M3 imala je najbolje rezultate čvrstoće na savijanje, ali su očvrslili uzorci izgledom bili u najlošijem stanju.

Tijekom izrade betonske smjese u ovom radu koristio se agregat drobljenog vapnenca frakcija 0/4 i 4/8. Izrađena je betonska ploča debljine 4 cm pa se preporuča korištenje samo najsitnijeg agregata (0/4) zbog finije završne površine. Proračunima je utvrđeno da upotreba armature u ovom slučaju nije bila potrebna, ali se koristila minimalna armatura promjera 6 mm zbog složenijeg oblika stola. Armatura vlakna nisu korištena zbog hrapave završne površine. Nakon raskalupljivanja betonski namještaj treba njegovati minimalno 3 dana kako bi se spriječilo isparavanje vode iz betona te pojava pukotina neprekidnim polijevanjem i vlaženjem površine betona.

Izrada betonskog namještaja kompleksan je proces u kojem je svaka stavka bitna. Od pronalaska odgovarajuće smjese za samu izradu do pravilnog izvođenja oplata te proračuna armature. Betonski namještaj sam je po sebi težak te treba voditi računa o njegovom transportu i uporabivosti. Potrebno je daljnje projektiranje i analiza poboljšane smjese samoslijegajućeg betona koji bi se koristio u dekorativne svrhe. Primjena samoslijegajućeg betona je raznolika te su rezultati ove analize poziv na daljnje istraživanje.

## 8. LITERATURA

1. A.Ž., Povijest betona, PRO gradnja, 2010
2. Balabanić, G., Teorija betona, materijali s predavanja, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2014.
3. Bjegović, D., Štirmer, N., Teorija i tehnologija betona, Zagreb, 2015
4. D. Vrkljan, M. Klanfar, Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina, Zagreb, 2010
5. Darek R., History of concrete from romans to Thomas Edison, <https://designsbyrudy.com/history-of-concrete-from-romans-to-thomas-edison/>, 19.4.2019.
6. Department of Civil Engineering, National Institute of Technology (Deemed University), Kurukshetra (Haryana), India
7. [file:///C:/Users/nika/Downloads/JCE\\_70\\_2018\\_1\\_4\\_1516.pdf](file:///C:/Users/nika/Downloads/JCE_70_2018_1_4_1516.pdf) , 1.8.2019.
8. <file:///C:/Users/nika/Downloads/Sika%20Fume.pdf> , 1.8.2019.
9. Herak-Marović V., Betonske konstrukcije I, Betonske konstrukcije i mostovi, 2008
10. <http://www.agenziagdl.it/file/schede/GLENIUM%20SKY%20629%20sett-09%20BASF.pdf>, 1.8.2019.
11. <https://www.archdaily.com/903783/wood-and-concrete-impressive-examples-in-indian-architecture>, 17.5.2019.
12. [https://www.holcim.hr/sites/croatia/files/atoms/files/2015\\_07\\_23\\_tehnicka\\_uputa\\_holcim\\_ekspert.pdf](https://www.holcim.hr/sites/croatia/files/atoms/files/2015_07_23_tehnicka_uputa_holcim_ekspert.pdf), 1.8.2019.
13. Kovač B., Brana P., Vidaković D., Oplata, gradimo.hr, 2014
14. Krishna Murthy.N, Mix Design Procedure for Self Compacting Concrete, [https://www.iosrjen.org/Papers/vol2\\_issue9%20\(part-3\)/E0293341.pdf](https://www.iosrjen.org/Papers/vol2_issue9%20(part-3)/E0293341.pdf), 15.4.2019.
15. nHRN EN 1992-1-1:2017/NA, Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija-nacionalni dodatak, 2017
16. nHRN EN 1995 -1-1:2013/NA, Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija onstrukcija-nacionalni dodatak, 2013
17. Paratibha A., Self-Compacting Concrete - Procedure for Mix Design, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, India, 2008

18. Primjena industrijskih nusproizvoda kao mineralnih dodataka za samozbijajući beton, Građevinar, 1/2018
19. Self compacting self curing concrete with lightweight aggregates, Građevinar, 4/2016
20. Štimer, N., Banjad Pečur, I., Projektiranje sastava samozbijajućeg betona, Građevinar, 61 (2009) 4, 2009.
21. The Self-Compacting Concrete European Project Group, The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use, 2005.
22. Mlinarić V., Gradnja i održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i vodnih građevina za melioracije, 2010.