

SREDNJA GRADBENA ŠOLA IN GIMNAZIJA  
MARIBOR  
SMETANOVA ULICA 35, 2000 MARIBOR

# Potencial dodatkov v betonu

*Raziskovalno področje:* Gradbeništvo

Raziskovalna naloga

**Avtorji:** Ajša Cvetko

Eva Jurkovič

**Mentor:** mag. Sašo Turnšek

Maribor, 2025

## Kazalo vsebine

POVZETEK.....	<b>Napaka! Zaznamek ni definiran.</b>
ZAHVALA .....	7
1 UVOD.....	8
1.1 Cilji raziskovalnega dela .....	8
1.2 Hipoteze .....	8
1.3 Metodologija dela.....	9
2 BETON.....	11
2.1 Zgodovina betona.....	11
2.2 Beton .....	15
2.3 Sestava betona .....	16
2.4 Vrste betona.....	22
2.5 Uporaba betona .....	25
3 PRIPRAVA BETONA ZA TESTIRANJE.....	27
3.1 Testiranje betona .....	27
3.1.1 Tlačna trdnost betona .....	28
3.1.2 Standardi za izračun trdnosti betona .....	29
3.1.3 Natezna in upogibna trdnost betona .....	29
3.1.4 Vpliv sestave betona na trdnost.....	30
3.1.5 Izračun trdnosti betona na podlagi predpisov.....	30
4 LASTNOSTI UPORABLJENIH MATERIALOV IN PRIPRAVA PRESKUŠANCEV ...	31
4.1 Osnovni materiali - Beton .....	31
4.2 Voda .....	32
4.3 Naši dodatki v betonu.....	32
4.3.1 Mirko armatura - Jeklena vlakna za ojačan beton .....	32
4.3.2 Polipropilenska vlakna .....	33
4.3.3 Alternativna ojačitvena vlakna.....	36
4.4 Metoda testiranja in dela .....	38
4.4.1 Metoda določanja sklerometričnega indeksa.....	38
4.4.2 Določanje tlačne trdnosti betona .....	40

4.5	Priprava preizkušancev .....	41
4.5.1	Analiza rezultatov .....	45
4.6	Rezultati preizkušanja trdnosti na površini .....	49
4.7	Rezultati preizkušanja otrdelega betona .....	52
5	DISKUSIJA DELOVNIH HIPOTEZ.....	57
6	DRUŽBENA ODGOVORNOST .....	59
7	ZAKLUČEK.....	60
8	VIRI IN LITERATURA.....	62

## **Kazalo slik**

Slika 1: Uporaba betona v grabeništvu .....	11
Slika 2: Začetki betona.....	12
Slika 3: Sodobni betoni .....	15
Slika 4: Beton ojačan z vlakni.....	16
Slika 5: Cement .....	17
Slika 6: Agregat za beton .....	18
Slika 7: Voda.....	18
Slika 8: Dodatki v betonu – mikor jeklena armatura.....	20
Slika 9: Negovanje betona - močenje betona .....	21
Slika 10: Samorazlivni betoni .....	23
Slika 11: Beton z vlakni .....	23
Slika 12: Armirani beton.....	24
Slika 13: Prednapeti beton.....	24
Slika 14: Tlačni test betona .....	27
Slika 15: HobbyBeton od Baumita.....	32
Slika 16: Jeklena mikroarmatura.....	33
Slika 17: Sintetična mikro vlakna .....	34
Slika 18: Sintetična makro vlakna.....	35
Slika 19: Stekljena vlakna .....	36
Slika 20: Slama .....	37
Slika 21: Majica razrezana na trakcih .....	37
Slika 22: Metoda določanja sklerometričnega indeksa .....	39
Slika 23: sestava sklerometra .....	39
Slika 24: Prikaz tehtanja posameznih dodatkov v betonu .....	40
Slika 25: Prikaz tehtanja posameznih dodatkov v betonu .....	42
Slika 26: Tehntanje .....	42
Slika 27: Kalup z pripravljenimi dodatki .....	43
Slika 28: Priprava betona .....	43
Slika 29: Razopaževanje betonskih vzorcev, drugi dan po betoniranju.....	44
Slika 30: Prikaz staranja vzorcev vodi .....	44
Slika 31: Tehtanje betonskih kock .....	47
Slika 32: Stiskanje betonskih kock.....	47
Slika 33: Merjenje površinske trdnosti betona .....	48
Slika 34: Porušene in neporušeni kocke betona .....	48

## **Kazalo tabel**

Tabela 1: Označevanje vzorcev.....	46
------------------------------------	----

## **Kazalo grafikonov**

Graf 1: Mikro jeklo .....	49
Graf 2: Sintetična mikro vlakna .....	50
Graf 3: Slama .....	50
Graf 4: Tkanina .....	50

Graf 5: Steklena vlakna .....	51
Graf 6: Sintetična makro vlakna.....	51
Graf 7: Površinska tlačna napetost - dodatki v betonu po normativih .....	52
Graf 7: Beton z mikro jeklom .....	53
Graf 8: Beton s sintetičnimi mikro vlakni.....	53
Graf 9: Beton s slamo.....	54
Graf 10: Beton s tkanino .....	54
Graf 11: Beton s steklenimi vlakni.....	55
Graf 12: Beton s steklenimi makro vlakni.....	55
Graf 13: Prikaz tlačne trdnosti betona na preizkušancih z dodatki po normativu .....	56

## **POVZETEK**

Beton je eden najpogosteje uporabljenih gradbenih materialov na svetu, saj se uporablja za gradnjo mostov, stavb, cest, prelivov, in še mnogo drugega. Zaradi njegove razširjene uporabe je bistveno raziskovati njegove lastnosti, trdnost, trajnost in druge značilnosti, ki vplivajo na njegovo uspešno uporabo v različnih konstrukcijskih projektih.

Preiskovanje betona omogoča pridobitev pomembnih ugotovitev o njegovi kakovosti, kar pa omogoča boljše načrtovanje, gradnjo in vzdrževanje infrastrukturnih objektov. V tem kontekstu je to preiskovanje ključno tudi za razvoj inovativnih gradbenih tehnik ter za izpolnjevanje okoljskih standardov in trajnostnih pristopov v gradbeništvu.

Raziskovanje vključuje različne metode za merjenje fizikalnih, mehanskih in kemijskih lastnosti betona. Pomembne preiskave vključujejo določanje trdnosti betona, gostote, vodoprepustnosti, odpornosti proti zmrzali, obrabe ter druge lastnosti, ki so ključne za njegovo trajnost in uporabnost. Rezultati preiskav betona so ključni pri projektiranju, gradnji in vzdrževanju betonskih konstrukcij, saj pomagajo zagotoviti varnost in dolgo življenjsko dobo teh struktur.

Mi se bomo v našem primeru osredotočili na trdnost betona in na različne dodatke oz. veziva, ki jih bomo primešali k betonu.

## **SUMMARY**

Concrete is one of the most commonly used construction materials in the world, as it is used for building bridges, buildings, roads, pavements, and much more. Due to its widespread use, it is essential to explore its properties, strength, durability, and other characteristics that influence its successful application in various construction projects.

Investigating concrete allows for important insights into its quality, which in turn enables better planning, construction, and maintenance of infrastructure projects. In this context, such research is also crucial for the development of innovative construction techniques and for meeting environmental standards and sustainability practices in the construction industry.

Research involves various methods for measuring the physical, mechanical, and chemical properties of concrete. Key investigations include determining the strength, density, water permeability, freeze resistance, wear resistance, and other properties that are critical for its durability and usability. The results of these investigations are crucial for the design, construction, and maintenance of concrete structures, as they help ensure the safety and long lifespan of these structures.

In our case, we will focus on the strength of concrete and the different additives or binders that will be mixed with the concrete.

## ZAHVALA

Zahvaljujemo se vsem, ki so nama pomagali, nama stali ob strani pri izdelavi raziskovalne naloge.

Predvsem bi se zahvalili mentorju, ki nama je pomagal pri pisanju raziskovalne naloge, nama dajal nasvete ter pomagal pri samem betoniranju testnih kock betona. Zahvaljujemo se tudi vsem profesorjem na šoli, ki so nama prav tako pomagali s tem, da so nama pokazali še kak drugačen pogled na raziskovalno nalogo, ter šoli se zahvaljujemo za ves material ter pripomočke, ki sva si jih lahko uporabljale med samo izdelavo raziskovalne naloge. Ter katedri za materiale na UM Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, dekanu dr. Andreju Ivaniču, da smo skupaj izvajali testiranje betona v njihovem laboratoriju.

Iskrena hvala vsem.

## 1 UVOD

Beton je osnovni gradbeni material, ki je prisoten v skoraj vseh infrastrukturnih in gradbenih projektih po svetu. Njegova uporabnost je brezmejna, saj je ključni gradbeni material za izgradnjo stavb, mostov, cest, predorov, nasipov in mnogih drugih objektov. Beton se uporablja predvsem zaradi svoje trdnosti, trpežnosti, dostopnosti in prilagodljivosti. V tej raziskovalni nalogi bomo raziskali zgodovino betona, sestavo betona, različne vrste betona, predvsem armiran beton, postopek priprave betona za testiranje, metode testiranja betona ter postopke za izračunavanje trdote betona.

### 1.1 Cilji raziskovalnega dela

Cilji pri tej raziskovalni nalogi so:

- nadgraditi znanje o betonu,
- Izbrati primerne materiale, ki bi lahko nadomestili armaturo v betonu,
- ugotoviti, kateri izbrani material ima najboljše lastnosti za povečanje trdnosti in kako vpliva procent vsebnosti izbranih materialov na to trdnost.

### 1.2 Hipoteze

Raziskave v smeri izboljšanja lastnosti armiranega betona s pomočjo različnih alternativnih materialov so v zadnjih letih vse bolj priljubljene. V iskanju trajnostnih in okolju prijaznih rešitev se vse pogosteje raziskujejo možnosti za nadomeščanje ali dopolnjevanje tradicionalnih materialov z novimi vlakni, kot so slama, blago, steklena vlakna in mikro armatura. Ti materiali obljublajo povečanje trajnosti, zmanjšanje teže in izboljšanje mehanskih lastnosti betonskih kompozitov. V kontekstu tlačne trdnosti armiranega betona pa se pojavlja vprašanje, ali in kako ti materiali vplivajo na odpornost betona proti kompresiji, saj tlačna trdnost ostaja ključna lastnost za varnost in stabilnost betonskih struktur.

Cilj te raziskave je preučiti vpliv različnih vrst alternativnih vlaken, kot so slama, blago, steklena vlakna in mikro armatura, na tlačno trdnost armiranega betona. Razumevanje teh vplivov bi omogočilo razvoj nove generacije betonskih materialov, ki bi bili lažji, bolj

trajnostni in cenejši, hkrati pa bi obdržali visoke mehanske lastnosti, ki jih zahteva gradbeni sektor.

- **Hipoteza 1 - Ali obstaja optimalno razmerje dodatkov in betona**

*Obstaja optimalno razmerje med količino armature in volumnom betona, pri katerem se doseže največja tlačna trdnost armiranega betona. Presežna količina dodatkov ne bo dodatno povečala trdnosti, temveč bo lahko povzročila negativne učinke na mehanske lastnosti.*

- **Hipoteza 2 – Naravni dodatki lahko imajo enako tlačno trdnost kot armirani**

*Vrsta armature (npr. jeklena, kompozitna) vpliva na tlačno trdnost armiranega betona. Pri čemer predvidevamo da se bodo sta naravna material slama in tkanina, ob določenem razmerju z betonom obnašajo enako kot tradicionalni dodatki, ki jih uporabljamo v gradbeništvu.*

- **Hipoteza 3 – Dodatki imajo vpliv na površinsko tlačno trdnost betona**

*Dodatki vplivajo na površinsko tlačno trdnost, saj spreminjajo mikrostrukturo, gostoto in adhezijo materiala. Nekateri, kot so mikrosilika in polimeri, jo izboljšajo z zmanjšanjem poroznosti, drugi pa jo lahko oslabijo zaradi povečane krhkosti ali neenakomernega strjevanja. Zato je ključna natančna izbira in doziranje dodatkov za optimalne mehanske lastnosti.*

### **1.3 Metodologija dela**

V prvi fazi bomo preučili vse kar se tiče betona in armiranega betona. Njegovo sestavo, vrste cementa, vrste agregata, vrste ojačitvenih materialov, itd. V tej raziskavi bomo preučevali vpliv različnih ojačitvenih materialov (vlakna iz slame, blaga, steklena vlakna in mikro armatura) na mehanske lastnosti betona, s posebnim poudarkom na tlačni trdnosti. Za preučitev vpliva teh materialov bomo izvedli različne eksperimentalne teste, ki bodo omogočili objektivno oceno njihovega vpliva na beton. Metodologija raziskave bo zajemala faze priprave vzorcev, testiranja, analize rezultatov in sklepanja.

V drugi fazi bomo za začetek bomo pripravili betonske vzorce z različnimi ojačitvenimi materiali. Vse mešanice bodo vključevale komercialni cement, standardne agregate

(pesek, prod) in vodo, vendar bomo v vsako mešanico vključili tudi enega izmed štirih ojačitvenih materialov: slamo, blago, steklena vlakna in mikroarmaturo. Slama bo obdelana in mleta ter vmešana v beton, blago bo predstavljalo sintetična ali naravna vlakna, steklena vlakna pa bodo kompozitna vlakna, ki se bodo enakomerno porazdelila v betonski mešanici. Mikro armatura bo predstavljala mikroskopske delce, bodisi polimerne bodisi kovinske, ki bodo vplivali na porazdelitev napetosti v betonski strukturi.

Tretja faza je faza preizkušanja. V tej fazi smo opravili vse preizkusa, za katere smo se dogovorili in se na njih pripravili. Preizkusili smo devetnajst preizkušancev na prej omenjenih področjih. Te preizkuse smo opravili v laboratoriju in jih kasneje podrobneje opišemo. Za vsako vrsto armature bomo pripravili več različnih mešanic z različnimi količinami ojačitvenega materiala. Te količine bomo določili na osnovi mase cementa, pri čemer bomo preizkusili različen procent armature glede na maso cementa. Mešanice bomo nato pripravili po standardni metodi, pri čemer bomo natančno nadzorovali količine materialov, da bomo dosegli enotno konsistenco. Ko bodo vse mešanice pripravljene, jih bomo vlili v standardizirane forme za testiranje, kjer bodo vzorci imeli kubično obliko (250 mm x 250 mm x 250 mm), kar bo omogočilo natančno testiranje tlačne trdnosti.

Četrta faza je faza analize podatkov. V tej fazi smo analizirali rezultate preizkusov in jih opisali. Kasneje smo tudi te podatke vstavili v grafe, tabele ter jih medsebojno primerjali in analizirali. Na podlagi analiziranih rezultatov bomo oblikovali sklepne ugotovitve o vplivu različnih ojačitev na tlačno trdnost armiranega betona. Predstavili bomo priporočila za uporabo teh materialov v gradbeništvu, ob upoštevanju trajnosti, okoljskih lastnosti in mehanskih lastnosti betona. Raziskava bo prispevala k boljšemu razumevanju uporabe alternativnih ojačitev v betonu in odprla možnosti za razvoj bolj trajnostnih gradbenih materialov.

Na koncu bomo upoštevali morebitne omejitve raziskave, kot so neenakomerna distribucija vlaknastega materiala v mešanici ali specifični vpliv vrst betonskih mešanic na končne rezultate. Naša priporočila bodo vključevala tudi potrebo po nadaljnjih raziskavah, ki bi se osredotočile na preučevanje dolgotrajne odpornosti betonskih mešanic z alternativnimi ojačitvami na različne okoljske dejavnike, kot so vlaga, temperaturne spremembe in kemijski vplivi.

## 2 BETON

Beton je eden najpomembnejših in najstarejših gradbenih materialov, ki je skozi stoletja preстал številne faze razvoja. Od svojih začetkov v starih civilizacijah do današnjega dne, ko je neizogiben del vseh večjih gradbenih projektov, je beton odigral ključno vlogo pri razvoju gradbeništva. Ta raziskovalna naloga bo podrobno predstavila zgodovino betona in njegovih predhodnikov v gradbeništvu, z osredotočenostjo na evolucijo betonskih materialov, ki so omogočili gradnjo velikih in trajnih struktur, kot so mostovi, ceste, stavbe in drugi infrastrukturni objekti.



*Slika 1: Uporaba betona v gradbeništvu*

### 2.1 Zgodovina betona

Beton je eden najpomembnejših in najstarejših gradbenih materialov, ki je skozi stoletja preстал številne faze razvoja. Od svojih začetkov v starih civilizacijah do današnjega dne, ko je neizogiben del vseh večjih gradbenih projektov, je beton odigral ključno vlogo pri razvoju gradbeništva. Ta raziskovalna naloga bo podrobno predstavila zgodovino betona in njegovih predhodnikov v gradbeništvu, z osredotočenostjo na evolucijo betonskih materialov, ki so omogočili gradnjo velikih in trajnih struktur, kot so mostovi, ceste, stavbe in drugi infrastrukturni objekti.

## **Začetki betona**

Prvi znani uporabi betona segajo v obdobje več tisočletij pred našim štetjem. V tem zgodnjem obdobju so ljudje uporabljali različne vrste gradbenih materialov, da bi zagotovili trdnost in vzdržljivost svojih zgradb. Uporaba materialov, kot so blato, apnenec in gline, je bila pogosta v starodavnih civilizacijah.



*Slika 2: Začetki betona*

### ***Egipt in Mezopotamija***

Prvi zgodovinski dokazi o uporabi betona prihajajo iz Egipta in Mezopotamije. V Egiptu so zgradili piramide, kjer so za temelje in notranje strukture uporabljali preproste betonske mešanice iz peska, apna in vode. V tem zgodnjem obdobju so že poznali prednosti mešanice apna in peska, vendar niso imeli znanja o cementu kot vezivu, kot ga poznamo danes. Mezopotamci so uporabljali zelo podobne mešanice, vendar so dodajali večje količine vlage, da so povečali trdnost svojih gradbenih struktur. Za enostavne objekte, kot so nasipi, kanali in skladišni prostori, so uporabljali betonske mešanice, ki so omogočile dolgotrajno stabilnost.

### ***Rimska doba***

Rimski imperij je imel ključno vlogo pri razvoju betona, kot ga poznamo danes. Rimljani so izboljšali prejšnje mešanice in začeli uporabljati novo vrsto cementa, ki je bil narejen iz vulkanskega pepela, imenovanega pozolana. Rimski beton, znan kot opus

caementicium, je bil izjemno trpežen in odporen na vlago. Uporaba pozolanskega pepela v kombinaciji z apnom in vodo je omogočila gradnjo impresivnih struktur, ki so preživela stoletja. Rimljani so beton uporabljali za gradnjo ne le temeljev in zidov, temveč tudi za akvadukte, ceste, mostove, kopeli in druge infrastrukturne objekte. Na primer, Kolosej v Rimu in Panteon so znani po svoji uporabi betona. Zlasti Panteon je bil zgrajen iz betona z uporabo rimskega cementa, kar je omogočilo gradnjo velikih betonskih kupol. Ta struktura je še danes najstarejša in največja nezaključena betonska kupola na svetu.

### ***Zaton znanja in ponovno odkritje betona***

Po padcu rimskega imperija je uporaba betona v Evropi močno upadla. V srednjem veku so se gradbeni materiali spremenili in prevladovala sta les in kamen. Gradnja betonskih zgradb je bila v tem obdobju redka, znanje o rimskem betonu pa je bilo skorajda pozabljeno.

### ***Obdobje Renesanse in zgodnje nove dobe***

Čeprav so se v srednjem veku na evropskih tleh pojavili občasni poskusi z uporabo betonskih mešanic, so večje inovacije prišle šele v 17. stoletju, ko so se inženirji začeli zavedati potrebnosti razvoja novih, bolj trpežnih gradbenih materialov. Leta 1690 je angleški kemik in inženir, John Smeaton, ponovno odkril mešanico betona, podobno rimski različici, ko je gradil svetilnik na morju v Eddystoneu. Pri tem je uporabil posebno vrsto apnenca, ki je bila odporna na vodo, kar je bil pomemben korak v razvoju betonskih materialov.

V 18. stoletju se začne postopen prehod od naravnih apnencev k bolj sofisticiranim in stabilnim cementnim mešanicam. Po Smeatonovem odkritju so znanstveniki in inženirji začeli eksperimentirati z različnimi materiali, ki bi omogočili izgradnjo bolj trpežnih in dolgotrajnih konstrukcij.

### ***Industrijska revolucija in izum portlandskega cementa***

Prava revolucija v betonski industriji se je zgodila konec 18. in v začetku 19. stoletja. Leta 1824 je angleški kamenoklesar Joseph Aspdin patentiral Portlandski cement, ki je postal ključna sestavina sodobnega betona. Portlandski cement je bil revolucionaren, ker

je omogočil nadzorovan proces proizvodnje cementa, ki je bil bolj stabilen in trajen kot predhodni materiali. Aspdin je ime »Portlandski« cementu dal po podobnosti s kamnom, ki so ga uporabljali v portlandskih kamnolomih na jugovzhodu Anglije.

Portlandski cement je bil prvi tip cementa, ki je omogočil bolj enotno in nadzorovano mešanje betonskih zmesi, kar je pripomoglo k večji trdnosti betona. Ta napredek je omogočil širšo uporabo betona v gradbeništvu, predvsem v industriji, kjer so se začeli pojavljati veliki infrastrukturni projekti, kot so železniške proge, mostovi in industrijski objekti.

### ***Nastanek armiranega betona***

Sredi 19. stoletja se je začela razvojna faza, ki je vključila uporabo jeklenih palic (armature) za ojačanje betona, kar je pomenilo nastanek armiranega betona. Leta 1849 je francoski inženir Joseph Monier prvič uporabil kovinske mreže v betonu za gradnjo ograj in cvetličnih loncev, kar je bil prelomni trenutek v zgodovini betona.

Kasneje so drugi inženirji začeli razvijati različne oblike armiranega betona za večje in bolj zahtevne projekte. Eden od najpomembnejših prebojev v zgodovini armiranega betona je bil razvoj tehnologije prednapetega betona, ki je omogočil gradnjo daljših mostov in večjih stavb brez uporabe težkih nosilnih stebrov.

## **20. stoletje in razvoj betona**

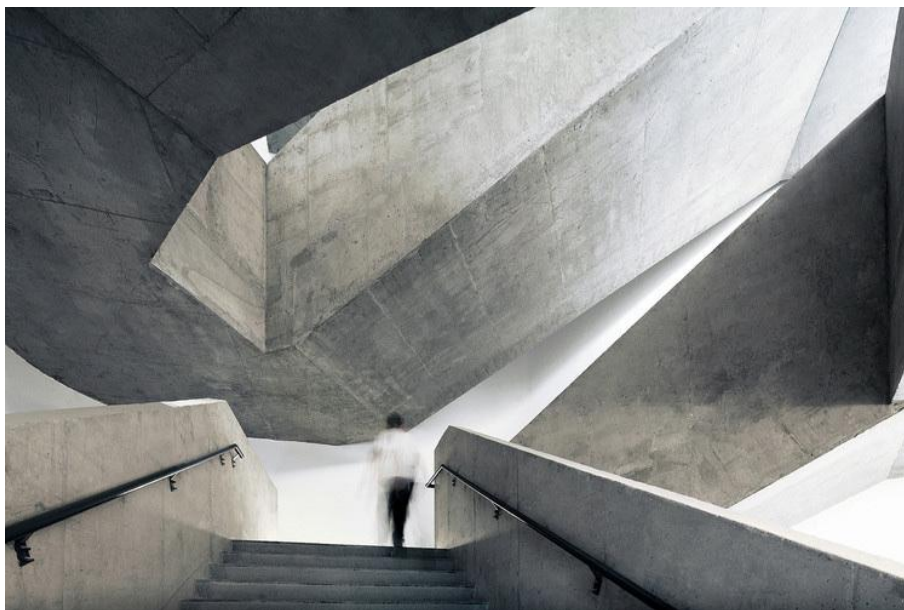
V 20. stoletju je beton postal še bolj razširjen in priljubljen gradbeni material. Hiter tehnološki napredek v industriji betona je omogočil gradnjo velikih in visokih stavb, mostov, predorov, letališč in drugih infrastrukturnih objektov. Beton je postal pomemben material za gradnjo vseh vrst infrastrukturnih projektov, od stanovanjskih blokov do industrijskih objektov.

### ***Sodobni beton in inovacije***

V drugi polovici 20. stoletja so se pojavile številne inovacije v gradbeni industriji, ki so vključile uporabo posebnih vrst betona, kot so visokotrden beton, samorazlivni beton, beton z vlakni in beton z izboljšano odpornostjo na vremenske vplive. Z uvedbo novih

tehnologij za mešanje betona in dodajanje posebnih aditivov se je kakovost in vsestranskost betona še povečala.

Sodobni beton je zdaj prilagodljiv, trpežen in izjemno močan, kar omogoča gradnjo velikih infrastrukturnih projektov, kot so nebotičniki, mostovi, športne dvorane in letališča. Razvoj betona v 21. stoletju je omogočil gradnjo ekoloških in energetsko učinkovitih stavb, ki uporabljajo beton z nizko vsebnostjo ogljikovega dioksida, da bi zmanjšali okoljski vpliv gradbeništva.



*Slika 3: Sodobni betoni*

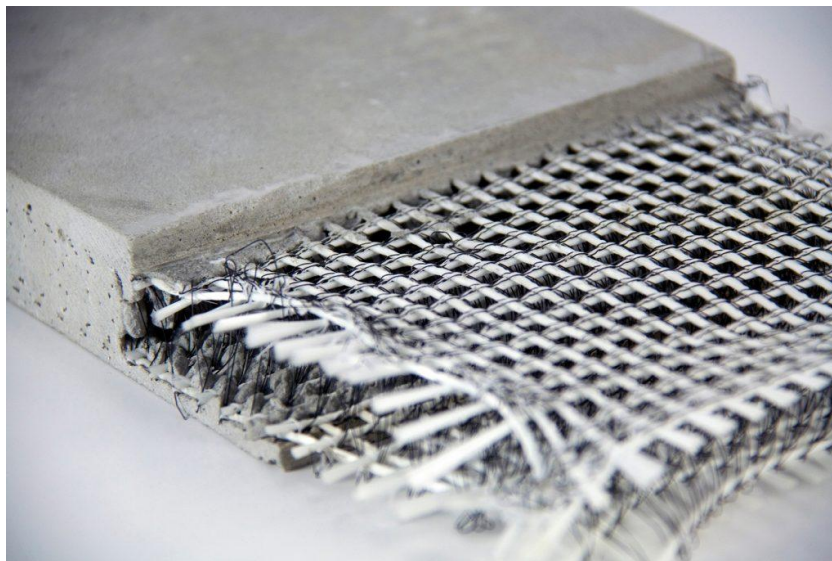
## **2.2 Beton**

Beton je ena najbolj široko uporabljenih gradbenih materialov na svetu. S svojo vsestranskostjo, trdnostjo in dostopnostjo je ključni element v številnih gradbenih in infrastrukturnih projektih. To raziskovalno delo se osredotoča na definicijo betona, njegov sestavi, značilnostih ter na širok spekter uporabe, ki sega od gradnje stavb in mostov do infrastrukture in umetniških projektov.

Beton je trden gradbeni material, ki nastane z mešanjem dveh osnovnih sestavin: veziva (cementa), ki je običajno portlandski cement, in agregatov, ki vključujejo pesek, drobljen kamen ali prod, ter vode. Ko se te sestavine zmešajo, se kemijska reakcija hidracije začne, kar povzroči strjevanje mešanice in tvorbo trdne mase. Beton lahko vsebuje tudi različne

dodatke ali aditive, ki izboljšajo njegove lastnosti, kot so plastičnost, trdnost, odpornost proti vremenskim vplivom ali požaru.

Beton je izjemno prilagodljiv material, ki ga je mogoče oblikovati v različne oblike in velikosti, kar omogoča široko uporabo v gradbeništvu. Ko je svež, je beton plastičen in omogoča enostavno oblikovanje v kalupih, vendar ko se strdi, postane trden in stabilen, kar omogoča dolgotrajno uporabo v različnih okoljih.



*Slika 4: Beton ojačan z vlakni*

## **2.3 Sestava betona**

Beton sestavljajo tri glavne sestavine:

### **2.3.1 Cement**

Cement je vezivni material, ki omogoči trdnost in stabilnost betona. Ob mešanju s vodo cement tvori pasto, ki veže druge sestavine betona. Najpogosteje uporabljen cement v gradbeništvu je portlandski cement. Cement ima ključno vlogo v betonu, saj deluje kot vezivo, ki povezuje agregate in jim omogoča, da tvorijo trdno strukturo. Najpogosteje uporabljamo portland cement, ki je znan po svoji moči in trajnosti. Cement se meša z vodo, kar sproži kemijsko reakcijo, znano kot hidracija, ki povzroči strjevanje in utrjevanje betona. Poleg portland cementa poznamo tudi druge vrste, kot so bel cement, hitro strjevalni cement in cement za posebne namene, kot je odporen na sulfat.



*Slika 5: Cement*

### **2.3.2 Agregati**

Agregati so delci, kot so pesek, drobljen kamen in prod, ki so ključni za strukturo betona. Fine agregate (pesek) zapolnijo prostor med večjimi agregati (drobljen kamen), kar omogoča, da beton doseže optimalno gostoto. Agregati imajo pomemben vpliv na lastnosti betona, saj predstavljajo večji del njegove prostornine. Delimo jih na fine agregate, kot je pesek, in grobe agregate, kot so drobljenec in kamen. Fini agregati izboljšujejo delovanje betona in zmanjšujejo poroznost, medtem ko grobi agregati prispevajo k trdnosti in stabilnosti. Različne vrste agregatov, kot so naravni, reciklirani ali umetni agregat, vplivajo na končne lastnosti betona, kot so odpornost na zmrzal, trajnost in nosilnost. Pravilna izbira agregatov je ključna za dosege želenih lastnosti betona in njegovo dolgotrajno uporabo.



*Slika 6: Agregat za beton*

### **2.3.2 Voda**

Voda je ključna sestavina vsake betonske mešanice, saj omogoča proces hidracije cementa, brez katerega beton ne bi mogel nastati. Poleg tega voda zagotavlja potrebno viskoznost sveže mešanice, omogoča enostavno vgradnjo in končno obdelavo betona. Za pripravo betona je pomembno, da se uporablja primerna voda, ki ne vsebuje snovi, ki bi negativno vplivale na hidracijo cementa ali povzročale korozijo armature v armiranobetonskih konstrukcijah.



*Slika 7: Voda*

### **2.3.2 Dodatki**

Glede na sestavo in vpliv na lastnosti betona lahko dodatke razvrstimo v tri glavne skupine: površinsko aktivne snovi, topne kemikalije in praktično netopne minerale. Ti dodatki se v beton dodajajo zaradi njihovega kemijskega ali fizikalnega delovanja, ki učinkovito spreminja lastnosti cementne paste. Običajno jih dodajamo v zelo majhnih količinah (v promilih ali odstotkih glede na količino cementa v mešanici), kar vpliva na lastnosti svežega ali otrdelega betona. Pomembnejši učinki dodatkov so:

- povečanje obdelovanja svežega betona brez povečanja količine vode, ali zmanjšanje količine vode ob ohranjeni vgraditvi,
- zavlacavanje ali pospeševanje začetka vezanja cementa,
- zmanjšanje ali preprečevanje plastičnega krčenja ter povzročanje ekspanzije,
- sprememba hitrosti izcejanja ali količine izcejane vode iz betona,
- zmanjšanje segregacije,
- izboljšanje črpanosti betona,
- preprečevanje zmrzovanja svežega betona,
- zadrževanje ali zmanjšanje razvoja toplote zaradi hidratacije v mladem betonu,
- povečanje trdnosti betona,
- povečanje trajnosti betona,
- zmanjšanje propustnosti betona,
- preprečevanje škodljivih vplivov bazičnih komponent cementa na sestavine betona,
- izboljšanje povezave med novim in starim betonom,
- povečanje udarne in erozijske odpornosti,
- izboljšanje zaščite armature v betonu,
- barvanje malte in betona.

Mineralni dodatki, kot so drobno mlete pucolane, granulirana žlindra visokih peči, elektrofilterski pepel, odpadni prah pri proizvodnji ferosilicija in silicija ter apnenec, se dodajajo svežemu betonu v večjih količinah. Ti dodatki pozitivno vplivajo na tehnične

lastnosti betona, kot so termične lastnosti, kemična odpornost, preprečevanje nastanka razpok, izboljšanje obdelave svežega betona ter povečanje trdnosti.

Polimerni dodatki, ki se vedno pogosteje uporabljajo v večjih količinah pri betonu pripravljene s portlandskim cementom, so na voljo v obliki praškov, disperzij, vodotopnih polimerov, tekočih smol ali monomerov. Najpogosteje uporabljeni polimerni dodatki so polivinil acetat in 100 % akrilni polimer, saj omogočajo izdelavo betona z večjo žilavostjo in boljšo odpornostjo na kemijsko korozijo.



*Slika 8: Dodatki v betonu – mikor jeklena armatura*

### **2.3.3 Negovanje betona**

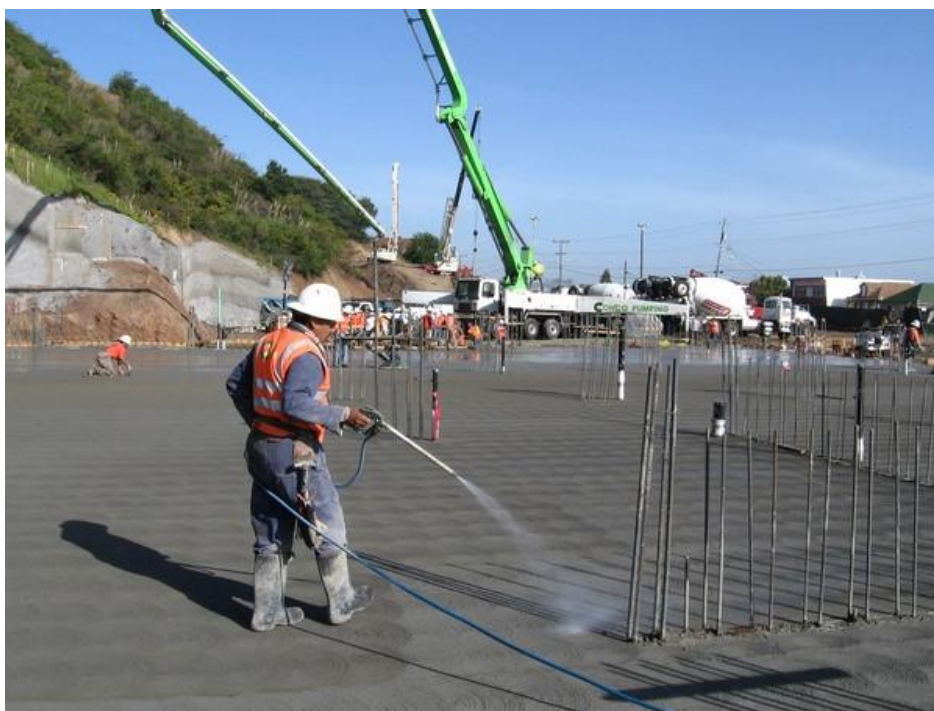
Negovanje betona je ključno za doseg optimalnih lastnosti in dolgotrajnih betonskih konstrukcij. Po vlivanju betona je pomembno, da zagotovimo ustrezne pogoje za njegovo strjevanje in zorenje. Prvih nekaj dni po vlivanju so kritična, saj v tem času beton razvija svojo trdnost. Eden izmed najpomembnejših vidikov negovanja je ohranjanje vlažnosti betona. Sušenje betona lahko povzroči nastanek razpok, kar negativno vpliva na njegovo trdnost in trajnost.

Obstajajo različni načini za negovanje betona. Eden izmed najpogostejših načinov je prekrivanje betona z mokrimi platnenimi krpami ali plastičnimi folijami, ki preprečujejo

izhlapevanje vode. Prav tako je priporočljivo, da se beton redno zaliva z vodo, še posebej v vročem vremenu, da se ohrani ustrezna vlažnost. Uporaba posebnih negovalnih premazov, ki zadržujejo vlago, je prav tako učinkovita metoda.

Poleg ohranjanja vlažnosti je pomembno tudi, da se beton ščiti pred ekstremnimi temperaturnimi pogoji. V hladnih mesecih je priporočljivo, da se beton zaščiti pred zmrzaljo, medtem ko v vročih mesecih lahko uporaba senčnikov zmanjša izpostavljenost neposredni sončni svetlobi.

Ustrezno negovanje betona ne le da izboljša njegove mehanske lastnosti, ampak tudi podaljša njegovo življenjsko dobo. S pravilnim pristopom k negovanju lahko zagotovimo, da bo beton dosegel svojo maksimalno trdnost in trajnost, kar je ključno za varnost in zanesljivost betonskih konstrukcij.



*Slika 9: Negovanje betona - močenje betona*

#### **2.3.4 Uporaba betona**

Beton je eden najbolj vsestranskih gradbenih materialov, ki se uporablja v številnih panogah zaradi svoje trdnosti, vzdržljivosti in prilagodljivosti. Beton se uporablja v gradbeništvu, kjer je ključni material za gradnjo temeljev, sten, stropov, mostov, cest in drugih infrastrukturnih objektov. Temelji stavb so običajno izdelani iz betona, saj

zagotavljajo trdno in stabilno osnovo, ki lahko prenese velike obremenitve. Beton se uporablja tudi za gradnjo sten in stropov, saj omogoča gradnjo trajnih in požarno odpornih struktur.

V cestni infrastrukturi se beton uporablja za gradnjo cest, avtocest, pločnikov in parkirišč. Betonirane ceste so trpežne in imajo dolgo življenjsko dobo, kar zmanjšuje potrebo po pogostem vzdrževanju. Poleg tega se beton uporablja za gradnjo mostov in viaduktov, saj omogoča gradnjo velikih in trdnih konstrukcij, ki lahko prenesejo velike obremenitve in vremenske vplive.

Beton se uporablja tudi v industrijski gradnji, kjer je osnova za gradnjo tovarn, skladišč in drugih industrijskih objektov. Industrijski objekti pogosto zahtevajo trdne in trajne konstrukcije, ki lahko prenesejo velike obremenitve in so odporne na kemikalije in druge škodljive vplive. Beton je zaradi svoje trdnosti in odpornosti na obrabo idealen material.

Poleg tega se uporablja tudi v stanovanjski gradnji, kjer je priljubljen material za gradnjo hiš, stanovanjskih blokov in drugih stanovanjskih objektov. Beton omogoča gradnjo energetsko učinkovitih in trajnih stavb, ki so odporne na požare, poplave in druge nesreče. Beton se uporablja tudi za gradnjo bazenov, teras, vrtnih poti in drugih zunanjih objektov, saj je odporen na vremenske vplive in obrabo.

V zadnjem času se beton uporablja tudi v umetnosti in oblikovanju, kjer se uporablja za izdelavo različnih umetniških del, pohištva in dekorativnih elementov. Beton je priljubljen material med oblikovalci in umetniki zaradi svoje prilagodljivosti in možnosti oblikovanja v različne oblike in teksture.

## 2.4 Vrste betona

Obstaja več vrst betona in armiranega betona, ki se prilagajajo različnim potrebam in specifičnim zahtevam v gradbeništvu:

1. **Standardni beton** – To je najpogosteje uporabljena vrsta betona v gradbeništvu, ki se uporablja za osnovne gradbene konstrukcije, kot so temelji, plošče in zidovi.
2. **Visokotrden beton** – Beton, ki ima povečano tlačno trdnost, je zasnovan za uporabo v objektih, kjer so potrebne visoke trdnosti, kot so mostovi, viadukti in visokih stavbah.

3. **Samorazlivni beton** – Ta vrsta betona ima posebne lastnosti, ki omogočajo, da se brez težav razlije in prilagodi oblikam kalupov, kar omogoča enostavno uporabo v različnih gradbenih elementih.



*Slika 10: Samorazlivni betoni*

4. **Beton z vlakni** – V tovrstnem betonu so vključena vlakna (steklena, jeklena ali sintetična), ki izboljšajo odpornost na razpoke in povečajo trdnost.



*Slika 11: Beton z vlakni*

5. **Armiran beton** – Beton, ki vsebuje jekleno armaturino (palice, žice ali mreže), da izboljša njegovo odpornost na natezne in upogibne sile.



*Slika 12: Armirani beton*

6. **Prednapeti beton** – V tej vrsti betona so jekleni kabli ali palice prednapeti, kar ustvarja notranjo napetost, ki omogoča, da beton prenese večje obremenitve, kot bi jih sicer zdržal.



*Slika 13: Prednapeti beton*

### ***Vrste armiranega betona***

Poznamo različne vrste armiranega betona, odvisno od načina uporabe in potrebnih lastnosti betonskih struktur:

1. ***Preprosti armiran beton*** – To je najpogostejša vrsta armiranega betona, kjer so jeklene palice ali žice enakomerno porazdeljene znotraj betonske zmesi. Ta vrsta betona je primerna za osnovne gradbene strukture, kot so temelji, stene in plošče.
2. ***Prednapeti armiran beton*** – Prednapeti armirani beton vključuje tehniko, kjer so jeklene žice napete pred vlivanjem betona. Po tem, ko beton strdi, se žice sprostijo, kar povzroči dodatno kompresijo betona. Ta vrsta betona je primerna za mostove in velike daljinske konstrukcije, kjer je potrebna večja odpornost proti upogibanju.
3. ***Beton z vlakni*** – V tej vrsti armiranega betona se vmešajo vlakna (steklena, jeklena ali sintetična vlakna), ki pomagajo izboljšati trdnost betona in zmanjšajo tveganje za nastanek razpok. Takšen beton se uporablja za talne plošče, industrijske objekte in ceste.
4. ***Beton z mikrovlakni*** – Mikrovlakna so dodatno vključena v beton za povečanje odpornosti na razpoke in večjo fleksibilnost betona. Ta vrsta betona se uporablja predvsem v tankih konstrukcijah, kjer so potrebne dodatne lastnosti odpornosti na udarce.

## **2.5 Uporaba betona**

Beton je zaradi svojih odličnih lastnosti nepogrešljiv gradbeni material, ki se uporablja v širokem spektru gradbenih področij. Nekatere glavne uporabe betona vključujejo:

### **1. Gradnja stanovanjskih in komercialnih objektov**

Beton se pogosto uporablja v gradnji stanovanjskih zgradb, komercialnih prostorov, tovarn in drugih industrijskih objektov. Temelji, zidovi, plošče, tlaki in strehe so pogosto izdelani iz betona, saj je material trden, stabilen in trpežen. Beton omogoča gradnjo dolgoročnih in varnih struktur, ki prenesejo različne vremenske razmere.

### **2. Mostovi in viadukti**

Beton je ključni material za gradnjo mostov in viaduktov, saj zagotavlja trdnost in dolgotrajnost teh velikih infrastrukturnih projektov. Armirani beton in prednapeti beton

se pogosto uporabljata pri gradnji mostov, ker omogočata, da konstrukcija prenese velike obremenitve in upogibanje, ki nastaneta zaradi prometa in drugih dejavnikov.

### **3. Ceste, pločniki in avtoceste**

Beton se uporablja tudi za gradnjo cest, pločnikov, avtobusnih postajališč in drugih infrastrukturnih objektov, ki so izpostavljeni velikim obremenitvam in so pogosto v stiku z vodo in vremenskimi vplivi. Beton omogoča dolgotrajno in trpežno površino, ki vzdrži težka vozila in različne vremenske razmere.

### **4. Pregradne stene in temelji**

Beton je zelo uporaben pri gradnji temeljev, saj omogoča stabilne in trdne strukture, ki lahko prenesejo težo stavb. Pregradne stene in temelji so pogosto narejeni iz betona, ker zagotavljajo trdnost in zaščito pred poškodbami ter omogočajo prenapetost, če je potrebna.

### **5. Umetniški in dekorativni projekti**

Beton ni uporabljen le v gradbeništvu, ampak tudi v umetniških in dekorativnih projektih. Različni umetniki in oblikovalci uporabljajo beton za ustvarjanje skulptur, fontan, spomenikov in drugih estetskih struktur, saj je enostaven za oblikovanje, omogoča ustvarjanje različnih tekstur in zaključkov ter zagotavlja dolgotrajnost.

### **6. Vodovod in kanalizacija**

Beton je ključni material pri gradnji vodovodnih sistemov, kanalizacijskih cevovodov, vodnih rezervoarjev in drugih vodovodnih infrastrukturnih objektov. Betonske cevi so trpežne in odporne na korozijo ter zagotavljajo dolgoročno rešitev za prevoz vode in odpadnih voda.

### **7. Energijski objekti**

Beton se uporablja tudi v energetskih objektih, kot so termoelektrarne, hidroelektrarne, jedrske elektrarne in drugi objekti, kjer so potrebni materiali z visoko odpornostjo na visoke temperature, tlak in kemične vplive. Beton omogoča varnostne strukture, ki ščitijo pred morebitnimi tveganji.

### 3 PRIPRAVA BETONA ZA TESTIRANJE

Za testiranje betona je pomembno, da pripravimo standardizirane vzorce, ki bodo omogočili natančne meritve njegovih lastnosti. Osnovni koraki priprave betona za testiranje so:

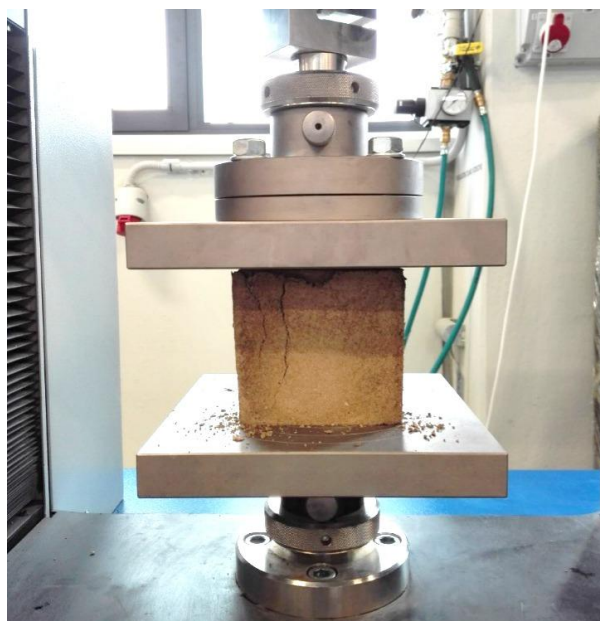
Mešanje betona – Beton pripravimo z mešanjem cementa, peska, agregata in vode v predpisanem razmerju. Mešanje mora biti enakomerno, da se zagotovi homogena zmes.

Priprava vzorcev – Za testiranje se običajno pripravijo standardni vzorci v obliki kock, cilindrov ali drugih oblik, odvisno od vrste testa. Vzorce vlijemo v kalupe in jih pustimo, da se strdijo v primernih pogojih (na primer pri določeni temperaturi in vlagi).

#### 3.1 Testiranje betona

Testiranje betona se izvaja, da se določi njegova tlačna, upogibna in druge mehanske lastnosti. Najpogostejši testi vključujejo:

**Tlačni test** – Testiranje tlačne trdnosti betona se izvaja s stiskanjem vzorca betona v stiskalnici, dokler se ne zlomi. Tlačna trdnost je ključni kazalnik kakovosti betona in je odvisna od sestave betona, starosti vzorca ter pogojev strjevanja.



*Slika 14: Tlačni test betona*

**Upogibni test** – Ta test meri odpornost betona na upogibanje, kjer se betonski vzorec izpostavi močnemu zunanjemu pritisku, ki povzroči upogib. Ta test je pomemben pri gradnji elementov, kot so plošče ali nosilci.

**Testiranje na odpornost proti zmrzali** – Pri testiranju odpornosti betona na zmrzal se beton izpostavi ciklom zmrzovanja in odmrzovanja, da se ugotovi, ali bo prišlo do poškodb strukture zaradi zmrzali.

*V naši nalogi se bomo osredotočili na tlačno trdnost betona in pa sklerometrični preizkus, ki je ena od najenostavnejših metod neporušnega testiranja, ki omogoča testiranje na mestu samem.*

Trdnost betona je ključna lastnost, ki določa, kako dobro beton prenese različne vrste obremenitev, kot so tlačne, natezne, upogibne in zračne sile. Trdnost betona je tesno povezana z njegovim sestavom, mešanjem, strjevanjem in morebitnimi dodatki, ki so vključeni v njegovo sestavo. Za izračun trdnosti betona se uporablja več različnih metod, ki temeljijo na različnih preizkusih, ki omogočajo oceno sposobnosti betona, da prenese obremenitve brez poškodbe ali loma.

### **3.1.1 Tlačna trdnost betona**

Tlačna trdnost je najpomembnejša lastnost betona in je pogosto glavna meritev, ki se uporablja pri izračunih in načrtovanju betonskih konstrukcij. Tlačna trdnost betona je opredeljena kot največja obremenitev, ki jo beton prenese, ne da bi se strgal ali zlomil, ko je izpostavljen kompresiji (pritisku).

Za izračun tlačne trdnosti betona je najpogosteje uporabljen test, imenovan **test na tlačni trdnosti**, ki se izvaja na vzorcih betona v obliki kubesov ali valjev. Najpogosteje uporabljeni testni vzorci so kubes velikosti 150 mm x 150 mm x 150 mm ali valji z višino 300 mm in premerom 150 mm. Test se izvaja tako, da se vzorec betona počasi stiska do točke, ko material ne more več prenesti obremenitve in se začne zlomiti.

### 3.1.2 Standardi za izračun trdnosti betona

Tlačna trdnost betona se meri v **megapascalih (MPa)**. Standardi, kot so **Eurocode 2** (za gradbene konstrukcije v Evropi) ali ameriški standard **ACI (American Concrete Institute)**, določajo minimalne vrednosti tlačne trdnosti betona glede na vrsto projekta. Na primer, za običajno gradnjo stanovanjskih objektov se običajno zahteva trdnost betona med 20 in 40 MPa, medtem ko za večje infrastrukturne projekte, kot so mostovi in visokih stavb, lahko trdnost doseže 50 MPa ali več.

Vrednost tlačne trdnosti betona običajno narašča s časom, saj beton sčasoma dozoreva in postaja močnejši. To pomeni, da trdnost, izmerjena v prvih 28 dneh strjevanja, ni nujno enaka trdnosti, ki jo bo beton dosegel po več mesecih ali letih.

Tlačna trdnost betona je po navadi podana kot funkcija sestave betona:

$$f_c = k * \frac{C*(1-w)}{V}$$

Kjer:

- $f_c$  - tlačna trdnost betona (MPa),
- $C$  - količina cementa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),
- $w$  - delež vode v mešanici,
- $V$  - prostornina betona ( $\text{m}^3$ ),
- $k$  - korekcijski faktor za določene pogoje.

### 3.1.3 Natezna in upogibna trdnost betona

Čeprav je tlačna trdnost najpomembnejši dejavnik pri določitvi trdnosti betona, je tudi natezna in upogibna trdnost pomembna za določanje zmogljivosti betonskih konstrukcij. Beton je šibkejši pri natezni trdnosti, ker nima dovolj moči, da bi prenesel sile, ki delujejo v nasprotni smeri, kot pri upogibanju ali natezanju.

Za izračun natezne trdnosti se pogosto uporabljajo poskusi, kot je test na natezno upogibanje, kjer vzorec betona izpostavimo upogibnim obremenitvam, dokler se ne začne lomiti. V praksi je natezna trdnost betona običajno približno 10-15% njegove tlačne trdnosti.

### 3.1.4 Vpliv sestave betona na trdnost

Sestava betona, vključno s količino cementa, vode, agregatov in morebitnimi dodatki (kot so plastifikatorji, vlakna ali zrakopihalci), ima neposreden vpliv na trdnost betona.

**Razmerje med vodo in cementom** (W/C razmerje) je ključen dejavnik, ki vpliva na trdnost. Manjša količina vode v mešanici običajno pomeni večjo trdnost, vendar premajhna količina vode lahko povzroči težave pri mešanju in obdelavi betona. Prav tako uporaba kakovostnih agregatov in cementa, ki imata visoke tlačne in druge trdnostne lastnosti, pozitivno vpliva na končno trdnost betona.

### 3.1.5 Izračun trdnosti betona na podlagi predpisov

Pri načrtovanju betonskih konstrukcij se upoštevajo tudi predpisi in standardi za izračun trdnosti betona. Temeljijo na rezultatih testov in opazovanjih, ki določajo, kako se beton obnaša pri različnih obremenitvah in okoljskih pogojih. Izračun trdnosti betona pogosto vključuje tudi upoštevanje faktorjev varnosti, da se zagotovi, da konstrukcija ne bo ogrožena. Poleg tega se pri načrtovanju upoštevajo tudi vplivi vremenskih razmer, staranja betona in drugih zunanjih dejavnikov, ki lahko vplivajo na trdnost skozi čas. Trdnost betona je ključna lastnost, ki določa, kako dobro se bo beton obnašal pod obremenitvijo. Trdnost betona se meri s testiranjem tlačne trdnosti, ki se običajno izvaja pri 28 dneh starosti vzorca. Formule za izračun trdnosti betona so odvisne od tipa testiranja. Osnovna formula za tlačno trdnost je:

$$F_c = \frac{P}{A}$$

kjer:

- $F_c$  - tlačna trdnost betona (v MPa),
- $P$  - največja sila, ki jo je beton prenesel (v N),
- $A$  - površina preseka vzorca (v mm<sup>2</sup>).

## 4 LASTNOSTI UPORABLJENIH MATERIALOV IN PRIPRAVA PRESKUŠANČEV

### 4.1 Osnovni materiali - Beton

Kot osnovni material smo uporabili HobbyBeton, da smo imeli vedno enako sestavo in razmerje betona. HobbyBeton je posebna vrsta betona, namenjena predvsem za uporabo v manj zahtevnih gradbenih projektih, kot so dekorativni betonski izdelki, vrtni elementi, manjših konstrukcijah in za hobi ali amaterske gradbene dejavnosti. HobbyBeton je pogosto priljubljen med posamezniki, ki želijo ustvariti betonske predmete za osebno uporabo ali kot projekt za prosti čas. Sestava HobbyBeton-a se lahko prilagodi glede na specifične potrebe uporabnika, vendar je osnovna sestava običajno enostavna.

Sestava *HobbyBeton*:

- **Cement (Portlandski cement)** – Glavna vezivna snov, ki omogoča nastanek trdne mase pri hidrataciji. Za HobbyBeton se običajno uporablja običajni portlandski cement.
- **Pesek** – Drobnozrnat material, ki je odgovoren za strukturo betona. Pesek se običajno uporablja v razmerju z cementom v razmerju 2:1 (pesek:cement), vendar je razmerje lahko prilagojeno glede na želeno konsistenco mešanice.
- **Drobljenec** – Grob material, ki omogoča večjo trdnost betona. Pri HobbyBetonu se pogosto uporablja manjši drobljenec (2-8 mm), saj omogoča enostavnejšo obdelavo.
- **Dodatki (opcijsko):**
  - Plastifikatorji – Za boljšo obdelavnost in zmanjšanje porabe vode.
  - Barvila – Za doseg specifične barve betonskih izdelkov.
  - Polimeri – Za povečanje žilavosti in odpornosti betona na zunanje vplive.
  - Mineralni dodatki – Kot so pesek, žlindra ali pucolane, ki lahko izboljšajo nekatere lastnosti betona, kot so trdnost in trajnost.



*Slika 15: HobbyBeton od Baumita*

## **4.2 Voda**

Uporabili smo navadno pitno vodo, ki jo lahko uporabljamo tudi brez posebnega dokaza o primernosti za izdelavo betona.

## **4.3 Naši dodatki v betonu**

Torej izbrali smo si 6 različnih dodatkov. Izbrali smo 4 tipične dodatke, ki jih dodajamo v betone in pa dva dodatka, ki ravno nista vsakdanja pri današnji gradnji. Med običajne dodatke smo tako uvrstili mirko armaturo, tri različna polipropilenska vlakna različnih dolžin in oblik. Kot alternativna ojačitvena vlakna pa so izbrali slamo in pa tekstilna vlakna – raztrgana oblačila.

### **4.3.1 Mirko armatura - Jeklena vlakna za ojačan beton**

Armiranobetonska jeklena vlakna so kompozitni materiali iz betonske mešanice, ojačane z jeklenimi vlakni. Dodatek jeklenih vlaken betonu zagotavlja izboljšane mehanske lastnosti, kot so povečana odpornost proti razpokam, boljša vzdržljivost in večja natezna trdnost. Jeklena vlakna iz armiranega betona so običajno izdelana iz ogljikovega jekla ali

nerjavečega jekla in se betonski mešanici pogosto dodajajo v majhnih količinah, da se zagotovi homogenost. Ojačitev, ki jo zagotavljajo ta jeklena vlakna, omogoča, da beton bolje prenese težke okoljske razmere, kot so temperaturna nihanja, seizmična aktivnost in izpostavljenost kemikalijam.

**Običajno dozacija vlaken od 20 kg do 40 kg na m<sup>3</sup> betona.**

Prednosti:

- Okrepite beton v njegovem utrjenem stanju
- Zagotovite vrhunske zmogljivosti v pogojih intenzivnega nalaganja
- Zmanjšano krčenje in razpoke
- Fleksibilnost
- Odpornost proti koroziji



*Slika 16: Jeklena mikroarmatura*

### **4.3.2 Polipropilenska vlakna**

Za polipropilenska vlakna smo izbrali.

- **Sintetična mikro vlakna**

*Sintetična mikro vlakna* (Polipropilenska vlakna) za armiranje betonov in malt. Beton ali malto ojačajo in preprečujejo nastanek mikrorazpok v fazi krčenja. Mikro vlakna imajo premer manj kot 0,3 mm in so monofilamentna ali vlaknasta. Mikro vlakna je treba

uporabiti za plastično krčenje (razpoke, ki se lahko pojavijo v prvih 24 urah betoniranja betona), zaščito pred udarci in zmanjšanje eksplozivnega brizganja med požarom. Mikro vlakna se pogosto uporabljajo za zamenjavo varjenih žičnih vlaken zaradi temperaturnih in krčenja. Dolžina vlaken 0.12 mm.

**Doziranje običajno 600 g na m<sup>3</sup> betona.**

Prednosti:

- Zmanjša razpoke zaradi plastičnega krčenja
- Zmanjša poravnavo plastike
- Zmanjša krvavitve
- Nadomestna mreža za nadzor razpok



*Slika 17: Sintetična mikro vlakna*

- **Marko polipropilenska vlakna**

**Sintetična makro vlakna** Strukturna makro vlakna imajo premer večji od 0,3 mm. Makro vlakna se uporabljajo kot nadomestek za ojačitev temperature in krčenja ali kot armatura v betonu ali brizganem betonu. Makro vlakna se uporabljajo, kadar je potrebno povečati upogibno trdnost.

### **Doziranje običajno znaša od 3 – 6 kg na 1m<sup>3</sup> betona.**

Prednosti:

- Poveča upogibno trdnost
- Poveča odpornost na udarce
- Poveča vzdržljivost
- Poveča natezno trdnost



*Slika 18: Sintetična makro vlakna*

### ***Steklena vlakna***

Steklene vlaknine so eden najbolj potrebnih dodatkov za izvajanje betonskih del. Povečanje trajnosti podpore, izboljšanje odpornosti proti površinski abraziji in drastično zmanjšanje mikrorazpokanja so glavni nameni tega dodatka. Zahvaljujoč znatnemu povečanju odpornosti in trajnosti, ki jo naša steklena vlakna dajejo betonu in malti, se tako nadomesti uporaba mrež. Prav tako njegova odlična elastičnost pripomore k temu, da ni deformacij in da popolnoma prenesejo napetosti, ki izhajajo iz toplotnega in hidravličnega krčenja. Popolnoma odporni na alkalije in večino kislin, naša steklena vlakna za beton preprečujejo izgubo vode. Hkrati podaljšujejo življenjsko dobo betona.

Steklene vlaknine za beton so spremenjene, da ponujajo večjo natezno in tlačno odpornost kot kovinske mreže in vlakna. Prav tako zagotavljajo večjo nepropustnost, odpornost na obrabo in večji udarni odpornost ter boljši končni videz.

**Učinkovitost naših steklenih vlaken za beton je 1 - 3 kg na 1 m<sup>3</sup>.**

***Prednost:***

- odpornost na mehanske obremenitve;
- odpornost na agresivne kemične dejavnike;
- majhen raztezek med segrevanjem;
- brez tveganja korozije in neverjetnega oprijema;
- negorljivost.



*Slika 19: Steklena vlakna*

### **4.3.3 Alternativna ojačitvena vlakna**

***Slama***

Slama je popolnoma naraven proizvod. Slama je stranski proizvod kmetijstva, posušene bilke žit brez zrnja. Predstavlja približno polovico pridelka žit kot so oves, ječmen, riž, rž in pšenica. Slamo uporabljajo za številne različne namene, med drugim kot gorivo, steljo

in krmo za živino, material za izdelavo košar in kot gradbeni material. Obvezno slamo odprašimo, da ni dodatka prahu v betonu.



*Slika 20: Slama*

### ***Tekstilna vlakna***

Bombaž je eno najbolj razširjenih vlaken v tekstilni industriji. Pridobiva se iz strokov bombaževca in je znana po svoji mehkoabi in zračnosti. Bombažna vlakna lahko zmešate z drugimi vlakni, da ustvarite močnejše in bolj trpežne tkanine. Uporabili smo staro majico, ki smo razrezali na enakomerno dolge trakce.



*Slika 21: Majica razrezana na trakcih*

## **4.4 Metoda testiranja in dela**

Na samih preizkušencih lahko opravimo vizualni pregled, da vidimo ali so vzorci nepoškodovani in da na stranicah ni vidzgoščenih mest dodanih dodatkov. V okviru raziskav smo uporabili naslednje neporušne metode s *sklerometrično metodoter* za določitev dejanskih lastnosti betona smo poleg neporušnih metod izvedli še standardno *porušno preiskavo tlačne* trdnosti betona.

### **4.4.1 Metoda določanja sklerometričnega indeksa**

Metoda določanja sklerometričnega indeksa je preprosta in hitra metoda, ki se uporablja za ocenitev trdnosti betona na mestu vgrajevanja brez potrebo po odvzemu vzorcev. Sklerometrični indeks omogoča določitev trdnosti betona z merjenjem njegove trdote ali odpornosti na udarec, kar je lahko koristno za preverjanje kakovosti betonskih konstrukcij in ugotavljanje njihovega stanja med gradnjo ali med uporabo.

#### **Načelo metode:**

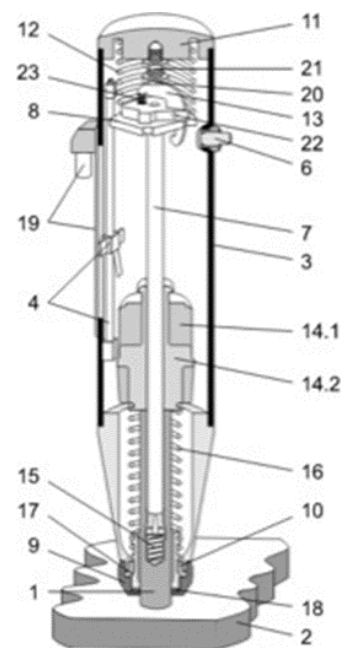
Sklerometrični preizkus je ena od najenostavnejših metod neporušnega testiranja, ki omogoča testiranje na mestu samem. Metoda temelji na uporabi sklerometra (tudi imenovanega Beton Hammer), ki deluje na principu udarca in odbijanja. Sklerometer je ročno orodje, ki vsebuje kovinski bat, ki se ob udarcu pritisne na površino betona. Po tem, ko bat zadene beton, se izmeri razdalja, ki jo prepotuje bat ob odboju, kar omogoči določanje trdnosti materiala na površini.



Slika 22: Metoda določanja sklerometričnega indeksa

Osnovni deli naprave, ki so prikazani na spodnji sliki, so naslednji:

1 – udarna igla,	13 – kljuka
2 – beton	14.1/14.2 – masa
3 – ohišje	15 – vzmet
4 – kazalec	16 – vzmet
6 – gumb	17 – oklep
7 – vodilo	18 – tesnilo iz klobučevine
8 – podložka za vodilo	19 – steklo z razdelbo
9 – pokrov	20 – vijak
10 – dvodelni obroč	21 – matica
11 – pokrov	22 – čep
12 – vzmet	23 – vzmet za kljuko.



Slika 23: sestava sklerometra

#### 4.4.2 Določanje tlačne trdnosti betona

Tlačno trdnost betona smo v skladu s standardom določali na kockah z robom 15x15x15 cm. Kocke smo postavili v hidravlično stiskalnico in začeli obremenjevati. Obremenitev smo nanašali na preizkušance preko dveh togih, težkih, ravnih jeklenih plošč, od katerih je spodnja nepremična, zgornja pa je narejena tako, da na začetku obremenjevanja enakomerno naleže na zgornjo površino preizkušanca. Obremenitev smo do porušitve nanašali postopoma s predpisano hitrostjo  $0,6 \pm 0,2$  MPa/s.

Tlačna trdnost betona  $f_c$  je največja dosežena sila  $F$  deljena z nominalno površino prečnega prereza preizkušanca  $A_c$ :

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



Slika 24: Prikaz tehtanja posameznih dodatkov v betonu.

Dobljeni rezultat se imenuje enoosna tlačna trdnost betona, čeprav je v preizkušancu zaradi trenja med površino jeklene plošče in površino preizkušanca prostorsko napetostno stanje. Trenje preprečuje širjenje tlačno obremenjenega preizkušanca. Če bi lahko to trenje zmanjšali ali celo izničili, bi bili dobljeni rezultati manjši. K trenju prispeva tudi deformiranje jeklenih plošč, čeprav imajo relativno veliko togost.

#### **4.5 Priprava preizkušancev**

Za pripravo preizkušancev je bilo potrebno najprej pripraviti kalup dimenzij 150 mm × 150 mm × 150 mm, ki je omogočal hkratno izdelavo ene serije preizkušancev. Tako smo lahko istočasno naredili šest identičnih kock, kar je poenostavilo postopek in zmanjšalo potrebo po ločeni pripravi posameznih kock. Kot začetno serijo smo se odločili pripraviti preizkušance natančno po predpisih za določanje vsebnosti primesi v betonu. Pri tem smo si pomagali s tehtnico, da smo natančno določili potrebne količine materialov. Dodali smo šest različnih vrst primesi: jekleno mikroarmaturo, sintetična mikro- in makrovlakna, steklena vlakna, slamo in trakce tekstila. Najprej smo primesi dodali v minimalnih količinah, ki jih predpisujejo proizvajalci; pri slami in tekstilu, ki nimata določenih priporočil, pa smo uporabili približno enako količino (po teži) kot pri steklenih vlaknih. V drugi seriji betoniranja smo primesi dodali v optimalnih količinah po priporočilih proizvajalcev, pri alternativnih materialih (slama in tekstil) pa smo ponovno uporabili enako količino kot pri steklenih vlaknih. Tretja serija je vključevala prekoračene količine primesi – dodali smo največjo možno količino, ki še ni povzročila nasičenja betonske mešanice in ohranjala njeno homogenost. Poleg teh serij smo izdelali tudi eno kontrolno kocko brez dodatkov, ki je vsebovala zgolj osnovni beton, da bi jo uporabili za primerjavo. Vse primesi smo natančno tehtali in zapisali njihove količine za lažjo analizo podatkov. Po 24 urah sušenja v kalupu smo betonske kocke previdno vzeli iz kalupa in jih za 27 dni potopili v vodo, da bi omogočili pravilno strjevanje in pridobivanje potrebne trdnosti.

#### **V nadaljevanju je prikazan postopek izdelave vzorcev betona.**

Kakor je bilo že napisano smo najprej izračunali in pripravili ter tehtali posamezne dodatke.



*Slika 25: Prikaz tehtanja posameznih dodatkov v betonu.*



*Slika 26: Tehntanje*

Prikaz narejenega kalupa za vzorce in pa pripravljene dodatki v posamezni merici, da smo vedeli kje smo kaj dodali.



*Slika 27: Kalup z pripravljenimi dodatki*

Priprava betonske mešanice HobbyBetona, da smo imeli vedno enako mešanico betona. Ko je bila betonska mešanica bila pripravljena, smo v vsako vedno dodali beton in v njega primešali dodatek, in beton dobro premešali, da so se dodatki lepo prerazporedili po betonu. Nato smo beton vlili v kalupe in ga označili z vstavljenno vrvico in lončkom na katerega smo napisali številko vzorca in ga pustili počivati 24 ur. Nakar smo ga po 24 negovanja razopažili in ga dali v vodo.



*Slika 28: Priprava betona*



*Slika 29: Razopaževanje betonskih vzorcev, drugi dan po betoniranju.*



*Slika 30: Prikaz staranja vzorcev vodi*

#### **4.5.1 Analiza rezultatov**

Cilj raziskovalne naloge je bil pridobiti lastnosti betona narejenega z različnimi dodatki. Preizkušali smo šest različnih dodatkov v različnih deležih. Vse mešanice so vsebovale enak beton – HobbyBeton. Pri raziskovanju lastnosti betonov, armiranih z različnimi materiali, je ključno analizirati vpliv posameznih dodatkov na mehanske in trajnostne lastnosti betona. V tej raziskovalni nalogi smo preizkušali učinke armiranja betona z jekleno mikroarmaturo, steklenimi vlakni, sintetičnimi vlakni, slamo in tekstilom. Namen raziskave je bil ugotoviti, kako različni dodatki vplivajo na tlačno trdnost, ter identificirati optimalne količine posameznih primesi za izboljšanje teh lastnosti. V nadaljevanju bomo predstavili in analizirali rezultate eksperimentov, ki vključujejo meritve tlačne trdnosti, primerjavo različnih vzorcev betonov ter ovrednotenje vpliva posameznih dodatkov na skupne mehanske lastnosti betona. Pri uporabi teh materialov je pomembno razumeti, kako se vgrajene primesi obnašajo v betonski matriki, kako vplivajo na homogenost mešanice ter kakšne spremembe povzročajo v mehanskih in trajnostnih lastnostih betona.

Preizkušali smo tlačno trdnost betona z :

- ***Določanje trdnosti na površini***
- ***Ter z lomljenjem kock.***

Vzorci smo označili s številkami, najprej smo betonirali kocke, ki so vsebovale dodatke, ki jih predpisuje proizvajalec, naslednje so vsebovale pet-krat manj dodatkov in zadnje pet-krat več kot je predpisano. Zadnja testna kocka je brez dodatkov, da smo lahko sploh ugotovili kako bodo dodatki vplivali na beton.

Tabela 1: Označevanje vzorcev

Oznaka	Vrsta dodatkov	Masa [kg]	Maksimalna trdnost [kN]	Površinska trdnost
V1	Mikro jeklo	8,706	1300	30
V2	Sintetična mikro vlakna	7,218	702	18
V3	Slama	7,872	927	36
V4	tkanina	7,818	1143	28
V5	Steklena vlakna	7,745	1141	24
V6	Sintetična makro vlakna	7,78	1060	38
V7	Mikro jeklo	7,931	1132	22
V8	Sintetična mikro vlakna	7.355	967	24
V9	Slama	7,624	942	18
V10	tkanina	7,631	1090	24
V11	Steklena vlakna	7,619	1050	22
V12	Sintetična makro vlakna	7,654	1100	24
V13	Mikro jeklo	6,857	468	12
V14	Sintetična mikro vlakna	5,78	178	2
V15	Slama	6,794	306	16
V16	tkanina	6,851	569	18
V17	Steklena vlakna	6,665	449	14
V18	Sintetična makro vlakna	6,758	509	35
V19	BREZ DODATKOV	6,677	704	12



*Slika 31: Tehtanje betonskih kock*



*Slika 32: Stiskanje betonskih kock*



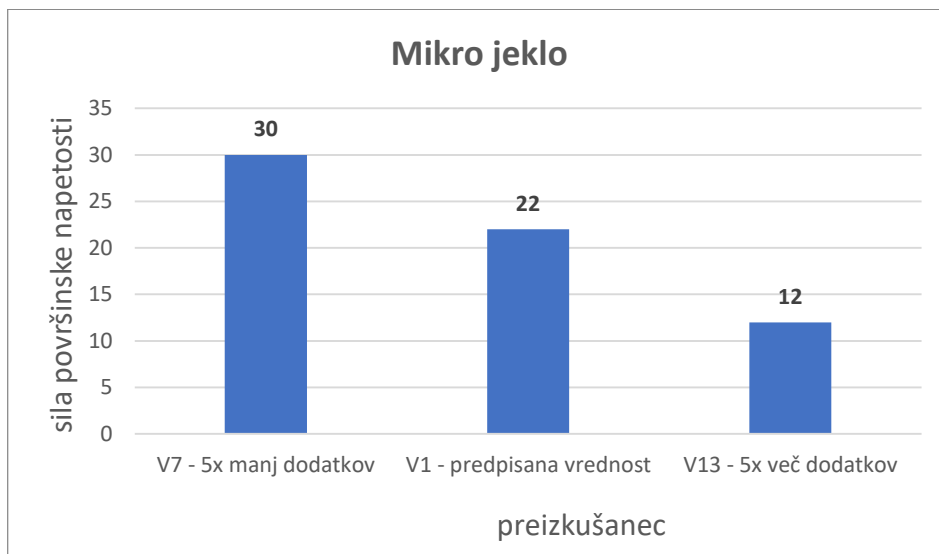
Slika 33: Merjenje površinske trdnosti betona



Slika 34: Porušene in neporušeni kocke betona

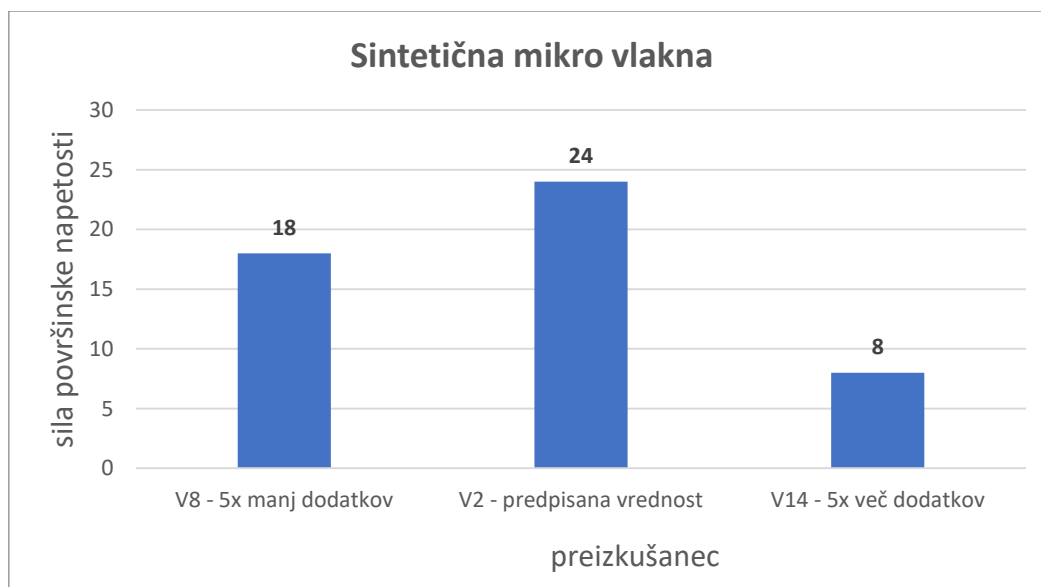
## 4.6 Rezultati preizkušanja trdnosti na površini

V nadaljevanju so prikazane izmerjene vrednosti trdnosti betona na površini betonske kocke. Mikro jeklo je zelo dober dodatek tudi za površinsko napetost betona. Opazimo, da kadar je bilo dodatka malo, je napetost bila največja. Če je dodatka preveč, kot se vidi pri V13 lahko to vpliva na razpoke, slabšo povezanost betona ali korozijo armature.



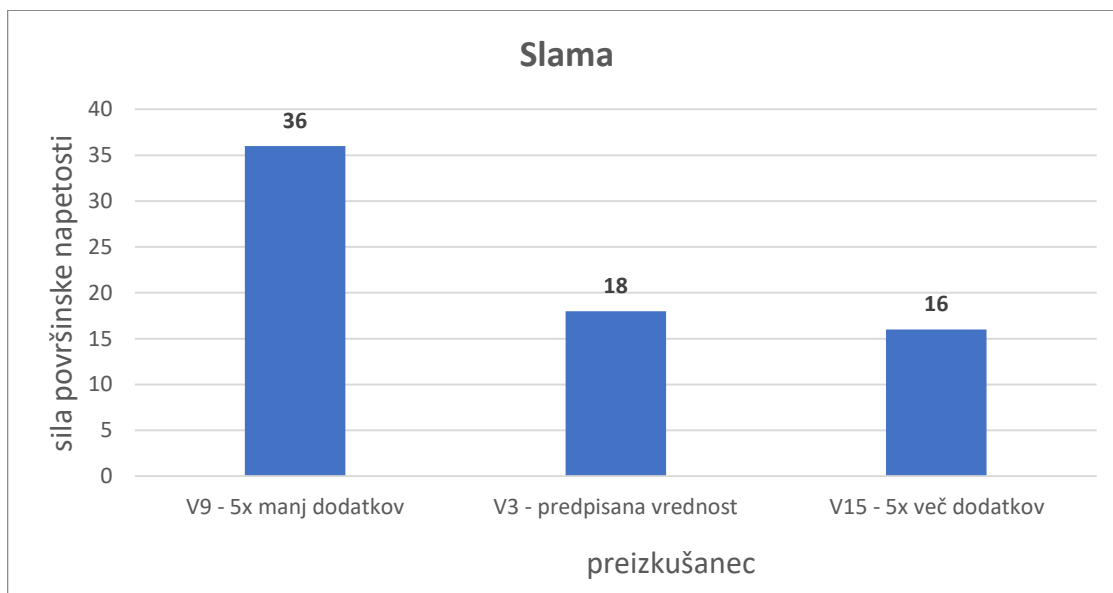
Graf 1: Mikro jeklo

Predpisana vrednost dodatka sintetična mikro vlakna betonu povečajo površinsko napetost. Betonu lahko povečajo trdnost, zmanjšajo razpoke in tako ima beton večjo odpornost proti zunanjim vplivom.



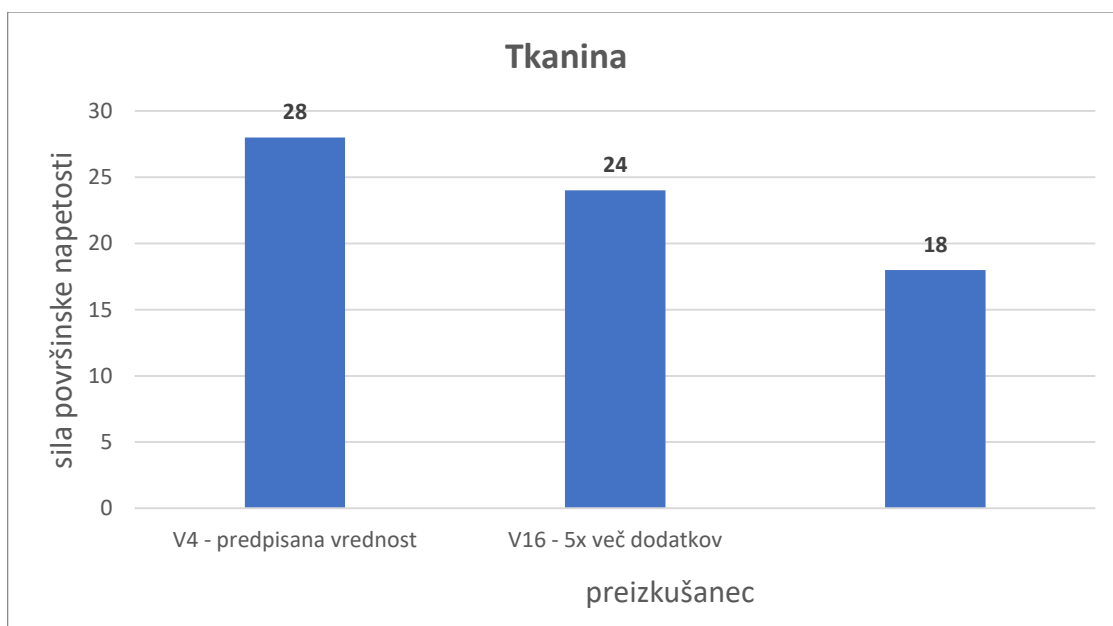
*Graf 2: Sintetična mikro vlakna*

Slama lahko vpliva na površinsko napetost betona tako da mu poveča poroznost, zmanjša skupno težo betonske mešanice in ima dobre izolacijske lastnosti. Najboljšo površinsko napetost bo imel beton kadar je slame dodane malo.



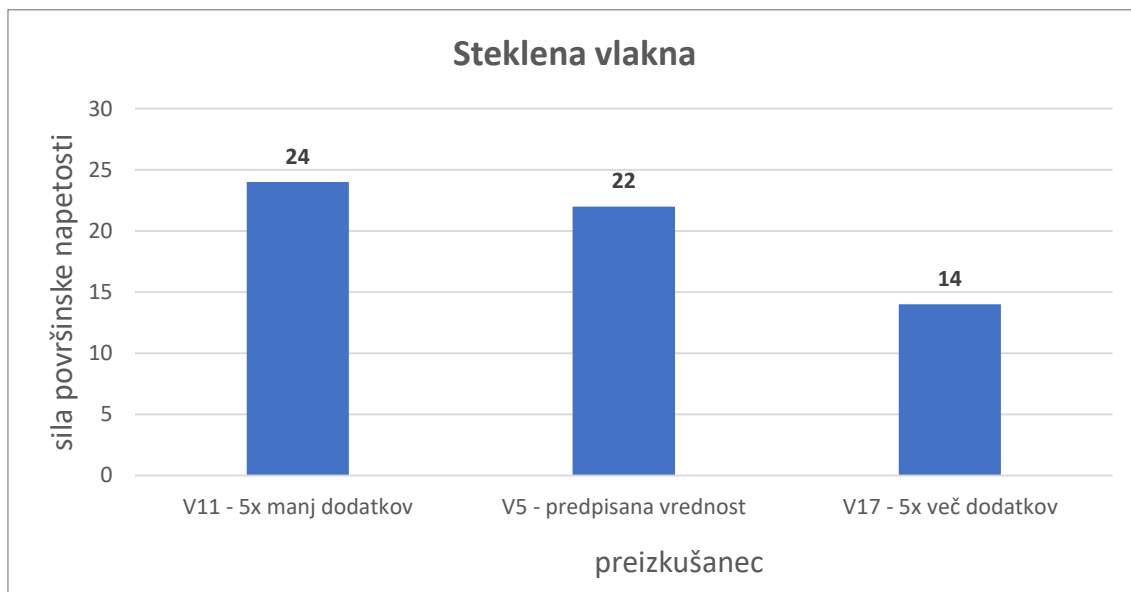
*Graf 3: Slama*

Beton ima zelo dobro površinsko napetost ne glede na to koliko je dodano tkanine. Tkanina lahko zmanjša možnosti za razpoke na betonu, izboljša elastične lastnosti betona in lahko pomaga pri zmanjšanju krčenja betona med sušenjem.



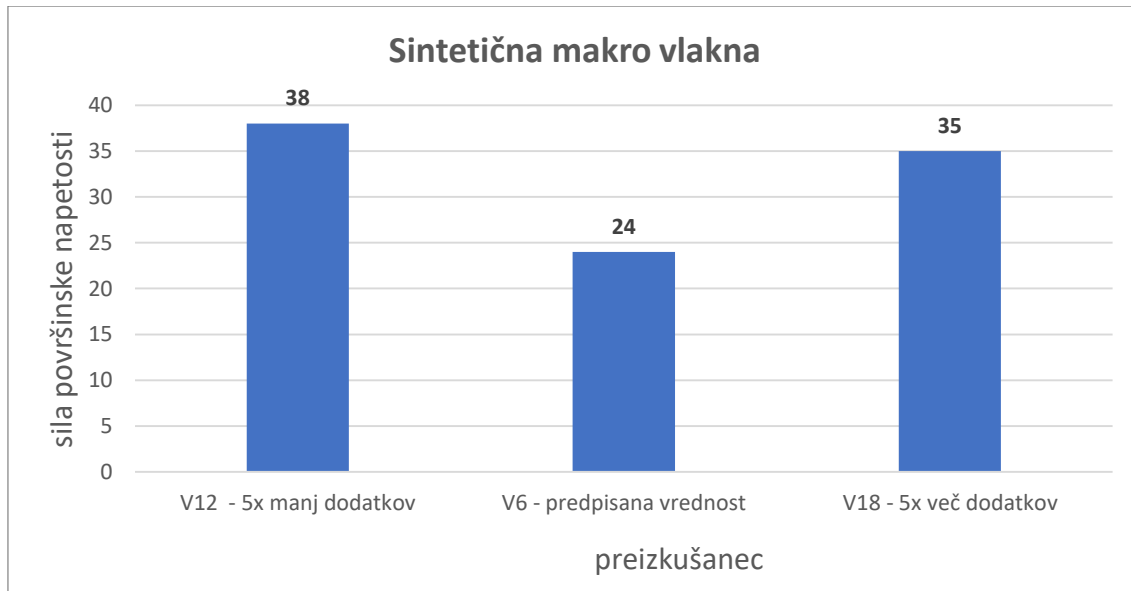
*Graf 4: Tkanina*

Steklena vlakna so podobna kot tkanina tudi pri površinski napetosti, vendar lahko te še povečajo odpornost na udarce betona.



Graf 5: *Steklena vlakna*

Tudi sintetična makro vlakna pomagajo betonu pri površinskih napetosti. Kot veliko dodatkov tudi ta ojača strukturo betona, zmanjša krčenje in poveča odpornost na udarce.



Graf 6: *Sintetična makro vlakna*

Spodnji graf prikazuje različne vrste dodatkov in njihove učinke na površinsko tlačno trdnost. Iz podatkov je razvidno, da imajo sintetična mikrovlakna, tkanina in sintetična makrovlakna najvišjo površinsko tlačno trdnost, kar potrjuje njihovo pozitivno vlogo pri izboljšanju mehanskih lastnosti betona. Mikro jeklo in steklena vlakna dosežata nekoliko

nižjo vrednost 22, kar nakazuje, da njihova prisotnost sicer prispeva k trdnosti, vendar ne v enaki meri kot nekateri drugi dodatki. Najnižjo vrednost ima slama z 18, kar kaže na manj ugoden vpliv na tlačno trdnost, verjetno zaradi večje poroznosti in slabše adhezije v primerjavi z drugimi dodatki.

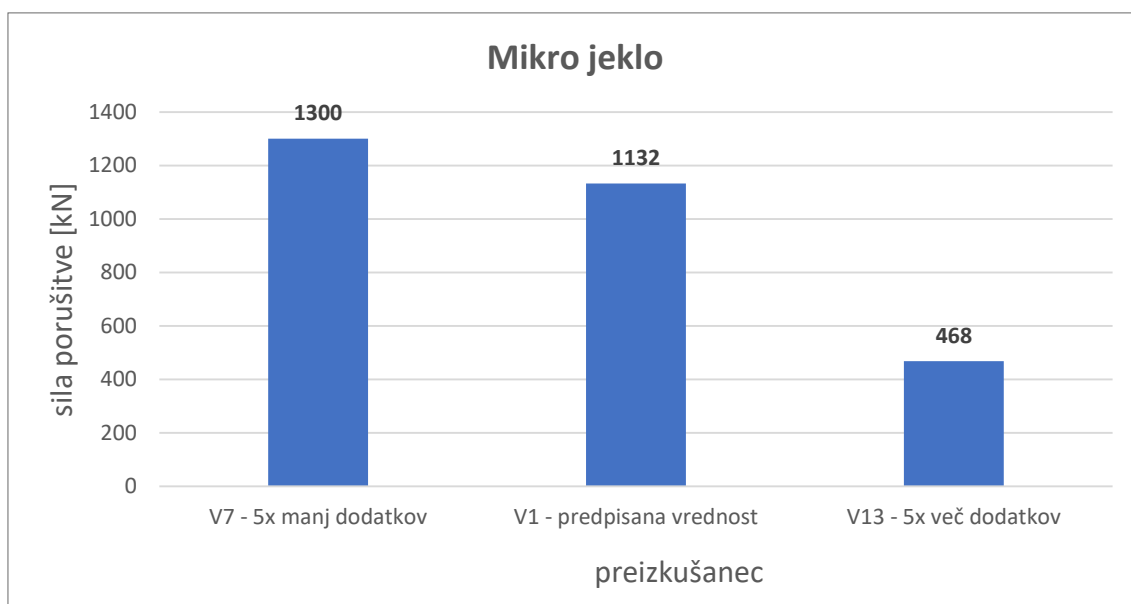


*Graf 7: Površinska tlačna napetost - dodatki v betonu po normativih*

## 4.7 Rezultati preizkušanja otrdelega betona

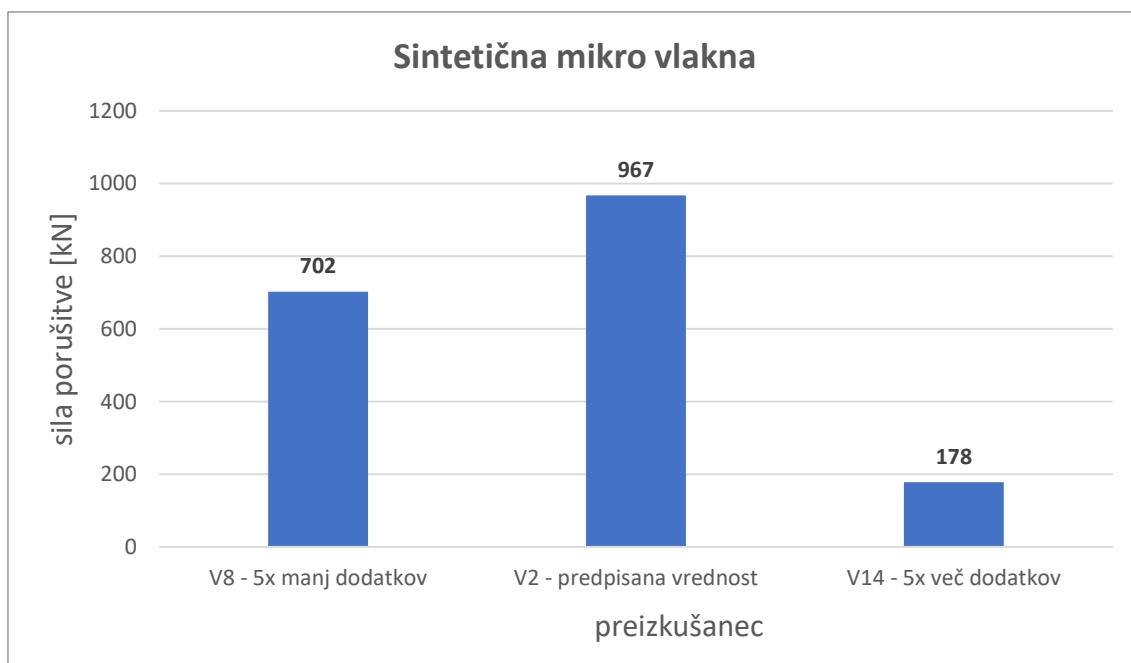
Lastnosti strjenega betona so bile izmerjene po 28 dneh starih kockah dimenzije 150x150x150 mm. V nadaljevanju so prikazani rezultati.

Graf nam prikazuje sile porušitve za material mikro jeklo. Pri vzorcu V7, kjer imamo dodatke manjše kot je predpisano, je sila porušitve najvišja. Pri tem primeru smo dokazali, da več dodatkov kot damo v beton, slabša bo njegova trdnost.



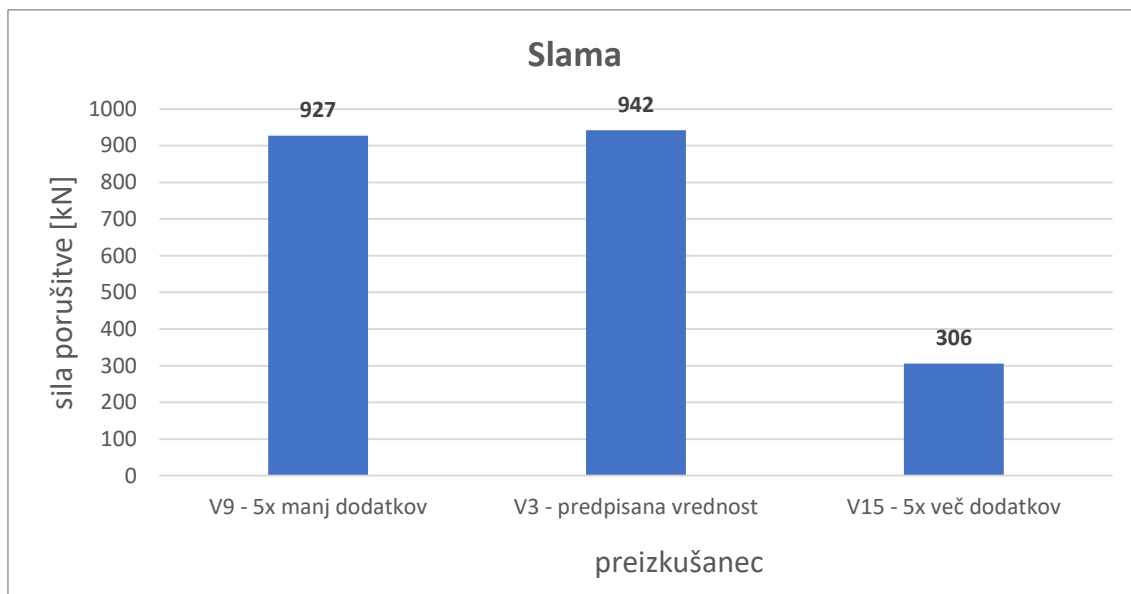
*Graf 8: Beton z mikro jeklom*

V grafu je prikazano kako so sintetična mikro vlakna vplivala na beton in njegovo trdnost. V drugem stolpcu je razvidno, da je bilo betonu dodano toliko materiala kot je po predpisu in ima najvišjo trdnost. Opazimo da v zadnjem stolpcu, kjer je dodano preveč sintetičnih mikro vlaken, trdnost betona zelo pade.



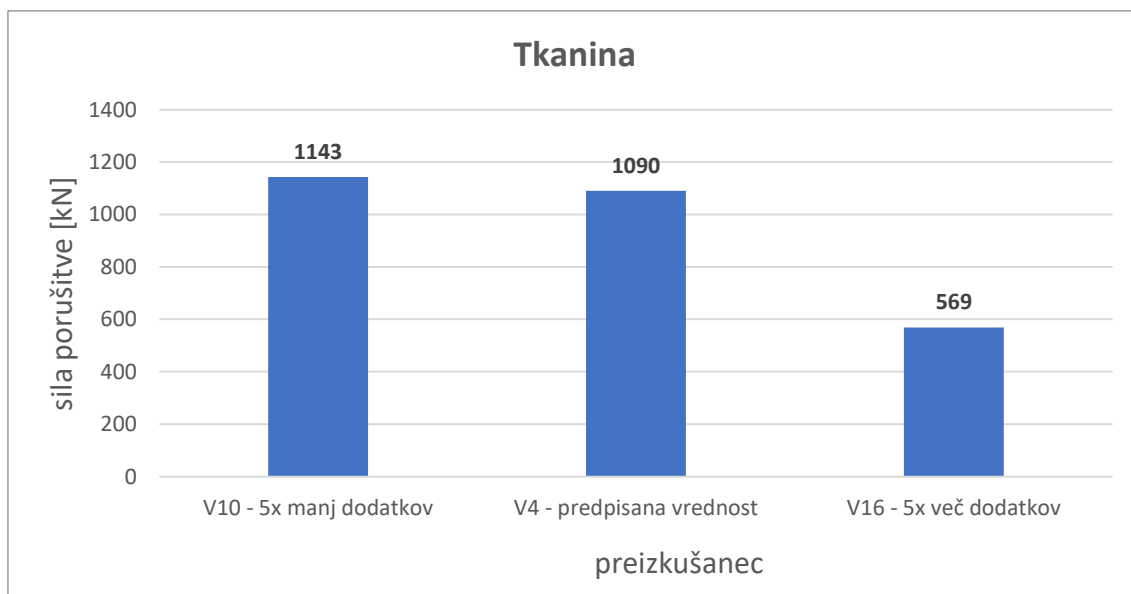
*Graf 9: Beton s sintetičnimi mikro vlakni*

Opazimo, da slama slabo vpliva na beton, če jo dodamo v velikih količinah, vendar mu nasploh zmanjša trdnost. Slamo v praksi redko kdaj dodajamo v beton, saj nima posebnih dobrih učinkov na beton.



*Graf 10: Beton s slamo*

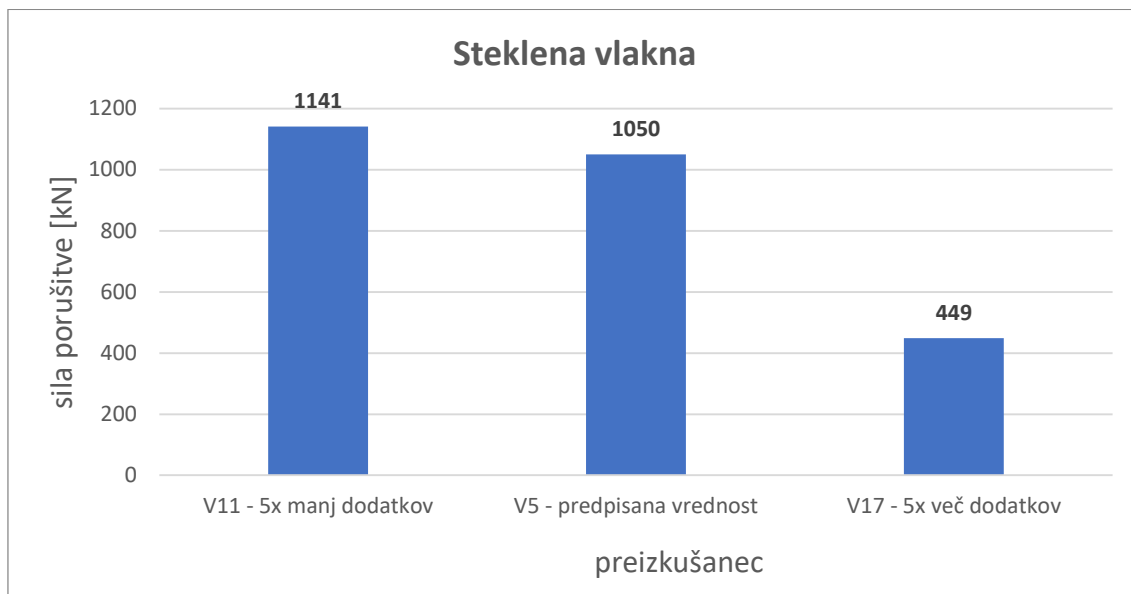
Tkanina ima približno enak vpliv na beton, če jo je zelo malo ali po predpisu. Trdnost betona pade za skoraj polovično vrednost, če je dodatka preveč. Tudi tkanine v vsakdanjem življenju ne najdemo v betonu. Verjetno je tudi tlačna trdnost bila odvisna od vrste tkanine (bombaž, jeans, itd.) in kako se je tkanina vezala z betonom zaradi hrapavosti.



*Graf 11: Beton s tkanino*

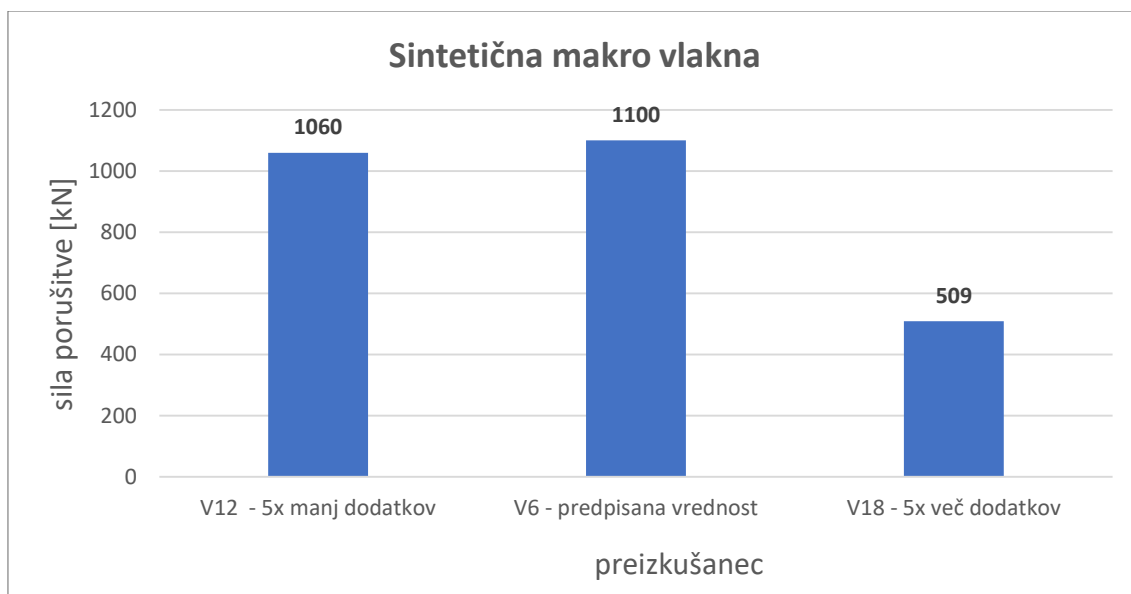
Steklena vlakna vplivajo na beton na enak način kot tkanina, vendar jo najdemo v številnih primerih v vsakdanjem življenju, zaradi boljših lastnosti materiala. Te so zmanjšanje razpok pri krčenju, izboljša vzdržljivost in žilavost betona, poveča trdnost,

poveča absorpcijo energije in zmanjša nevarno drsenje pri visokih temperaturah. Steklena vlakna so povečale trdnost betona, kadar jih je bilo manj v betonu.



*Graf 12: Beton s steklenimi vlakni*

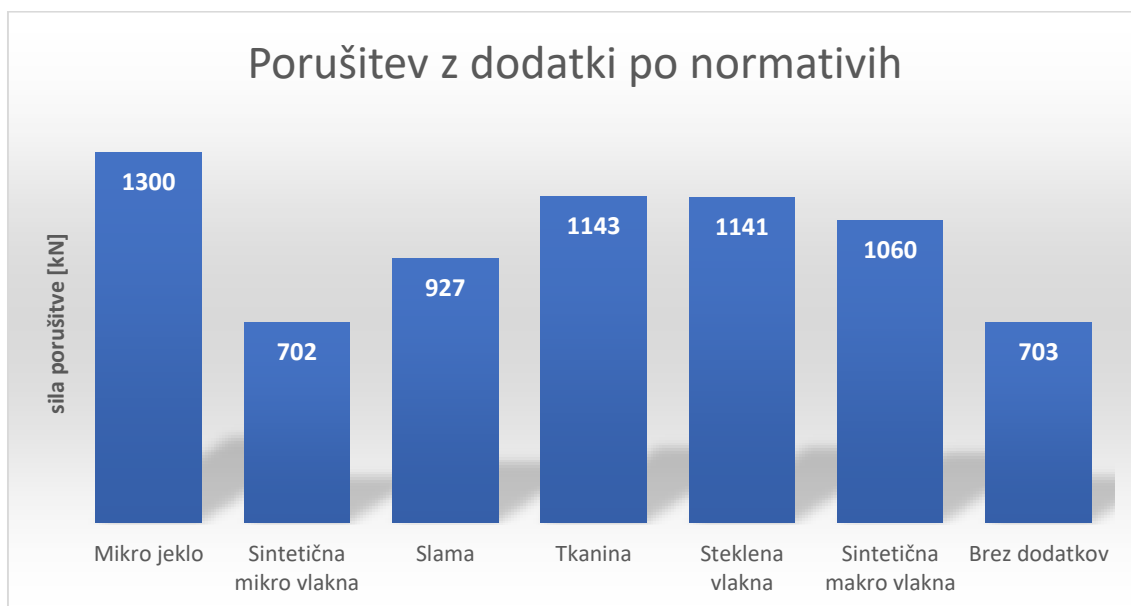
Sintetična makro vlakna na trdnost betona vplivajo zelo negativno. Najslabšo tlačno trdnost ima beton kadar vsebuje preveliko vrednost dodatka v sebi.



*Graf 13: Beton s steklenimi makro vlakni*

V tem grafu imamo prikazane trdnostne vrednosti betona, če smo mu dodali dodatke po normativih. Najboljše za beton in njegovo trdnost vpliva mikro jeklo, najslabše pa

sintetična mikro vlakna. Noben dodatek v betonu ne zmanjša trdnosti, saj vidimo da ima beton brez dodatkov najmanjšo silo porušitve. Steklena vlakna in tkanina imata zelo podoben vpliv na trdnost. Najvišjo vrednost dosega beton, ojačan z mikro jeklom, ki prenese silo 1132 kN, kar je pričakovano, saj je jeklo znano po svojih odličnih mehanskih lastnostih. Zanimivo pa je, da naravni material tkanina dosega vrednost 1090 kN, kar je zelo blizu rezultatu steklenih vlaken (1050 kN) in sintetičnih makro vlaken (1100 kN). To nakazuje, da lahko tkanina v določenih razmerjih z betonom dejansko zagotavlja tlačno trdnost, primerljivo s tradicionalnimi kompozitnimi materiali. Slama, drugi naravni dodatek, dosega tlačno trdnost 942 kN, kar je višje od sintetičnih mikro vlaken (967 kN) in precej višje od betona brez dodatkov (703 kN). Ta podatek potrjuje, da ima tudi slama potencial izboljšanja mehanskih lastnosti betona, čeprav ni tako učinkovita kot tkanina.



Graf 14: Prikaz tlačne trdnosti betona na preizkušancih z dodatki po normativu

## 5 DISKUSIJA DELOVNIH HIPOTEZ

Pregled ugotovitev po analizi vseh preizkušancev in ugotovitve pri zastavljenih hipotezah.

- **Hipoteza 1 - Ali obstaja optimalno razmerje dodatkov in betona**

Obstaja optimalno razmerje med količino armature in volumnom betona, pri katerem se doseže največja tlačna trdnost armiranega betona. Hipoteza je **potrjena**, saj smo dokazali da je obstaja optimalno razmerje za dodatke. Če jih je premalo svojo nalogo opravlja samo beton, če pa jih je preveč potem poslabšamo trdnost betona in beton ne opravlja več svoje funkcije. Torej ponudnik z razlogom podajo predpisane količine dodatkov v betonu, kar smo tudi mi opazili pri naših vzorcih.

- **Hipoteza 2 – Naravni dodatki lahko imajo enako tlačno trdnost kot armirani**

Saj hipoteza predvideva, da lahko naravni dodatki, kot sta slama in tkanina, dosežejo podobno tlačno trdnost kot tradicionalno armirani betoni, v katerih se uporabljajo jeklena ali kompozitna vlakna, je **potrjena**. Graf prikazuje sile porušitve različnih vrst armiranega betona. Podatki iz testiranja torej podpirajo hipotezo, da naravni dodatki lahko vplivajo na tlačno trdnost betona na način, ki je primerljiv s sintetičnimi in kompozitnimi materiali. Še posebej tkanina izkazuje lastnosti, zaradi katerih bi jo lahko v določenih primerih uporabili kot alternativo tradicionalnim ojačitvam. To odpira možnosti za bolj trajnostno in okolju prijazno gradnjo, pri kateri bi se lahko namesto umetnih vlaken in jeklenih ojačitev uporabili obnovljivi materiali brez bistvenega kompromisa pri mehanskih lastnostih betona.

- **Hipoteza 3 – Dodatki imajo vpliv na površinsko tlačno trdnost betona**

Hipoteza poudarja, da dodatki v betonu vplivajo na njegovo površinsko tlačno trdnost, saj spreminjajo mikrostrukturo, gostoto in adhezijo materiala. Nekateri dodatki, kot so mikrosilika in polimeri, lahko izboljšajo trdnost z zmanjšanjem poroznosti, medtem ko drugi lahko negativno vplivajo nanjo zaradi povečane krhkosti ali neenakomernega strjevanja. To pomeni, da je izbira in doziranje dodatkov ključnega pomena za doseganje optimalnih mehanskih lastnosti betona. Rezultati testa **potrjujejo** hipotezo, saj jasno kažejo, da izbira dodatkov vpliva na končne mehanske lastnosti betona.

Optimalna kombinacija dodatkov lahko izboljša tlačno trdnost, medtem ko neustrezni dodatki lahko oslabijo material in povečajo njegovo občutljivost na obremenitve.

## 6 DRUŽBENA ODGOVORNOST

Uporaba betonov, armiranih z različnimi materiali, kot so jeklena mikroarmatura, sintetična vlakna, steklena vlakna, slama in tekstil, ima pomembno vlogo pri doseganju trajnostnih ciljev in zmanjšanju negativnih vplivov gradbene industrije na okolje. Gradbeništvo je eno največjih porabnikov naravnih virov, zato je iskanje inovativnih rešitev za povečanje trdnosti in trajnosti materialov ključnega pomena za družbeno odgovornost.

Jeklena mikroarmatura izboljša trdnost in odpornost betona na razpoke, kar podaljša življenjsko dobo konstrukcij in zmanjša potrebo po pogostih obnovah. Kljub temu je pomembno optimizirati njeno uporabo, saj proizvodnja jekla zahteva veliko energije in povzroča emisije ogljikovega dioksida.

Sintetična vlakna, izdelana iz plastike, omogočajo lažjo in enostavnejšo aplikacijo, vendar povzročajo vprašanja glede mikroplastike in odpadkov po koncu življenjske dobe konstrukcije. Pravilno upravljanje teh materialov je ključnega pomena za zmanjšanje njihovega okoljskega odtisa.

Steklena vlakna, ki izboljšajo natezno trdnost in odpornost na visoke temperature, ponujajo trajnejšo alternativo, vendar njihova proizvodnja zahteva visok energetski vložek. Povečanje recikliranja tega materiala lahko pripomore k zmanjšanju vpliva na okolje.

Uporaba naravnih materialov, kot sta slama in tekstil, predstavlja korak k trajnostni gradnji, saj so ti materiali obnovljivi, biološko razgradljivi in lokalno dostopni. Z njimi lahko zmanjšamo porabo sintetičnih dodatkov, hkrati pa spodbujamo krožno gospodarstvo.

Spodbujanje inovacij in odgovorna uporaba teh materialov poudarja potrebo po razvoju trajnostnih praks, ki zmanjšujejo vpliv gradbene industrije na okolje in hkrati izboljšujejo kakovost bivanja. Gradbeni sektor ima moralno in družbeno dolžnost, da s pomočjo raziskav in novih tehnologij zagotovi trajnostne rešitve za prihodnje generacije.

## 7 ZAKLUČEK

Raziskovalna naloga o vplivu različnih alternativnih materialov kot nadomestilo za armiranega betona je potrdila, da je možno z določenimi dodatki izboljšati mehanske lastnosti betona in hkrati prispevati k trajnostnemu razvoju gradbeništva. Ključna ugotovitev raziskave je, da lahko z ustrezno izbiro in optimizacijo deleža ojačitvenih materialov bistveno vplivamo na tlačno trdnost betona, njegovo trajnost ter ekonomiko izvedbe. V sklopu raziskovalne naloge smo analizirali vpliv steklenih vlaken, mikro in makro armature, tekstilnih vlaken in slame na tlačno trdnost betona. Rezultati testiranj so pokazali, da vsak izmed teh materialov na različen način vpliva na končne lastnosti betona. Steklena vlakna so se izkazala kot zelo učinkovit dodatek, saj so znatno povečala tlačno trdnost in zmanjšala pojavnost razpok. Mikro armatura je omogočila enakomerno porazdelitev napetosti v materialu in izboljšala duktilnost betona, kar je ključno pri konstrukcijah, izpostavljenih dinamičnim obremenitvam. Tekstilna vlakna so prav tako prispevala k izboljšanju trdnosti, vendar v manjši meri kot steklena vlakna in mikro armatura. Po drugi strani je bila slama najmanj učinkovit material, saj ni prispevala k povečanju tlačne trdnosti v tolikšni meri kot ostali dodatki.

Eden izmed pomembnih vidikov raziskovalne naloge je bilo tudi vprašanje optimalnega razmerja armature in betona. Rezultati so pokazali, da je pri vsakem materialu določeno optimalno razmerje, pri katerem se doseže maksimalna tlačna trdnost. Preseganje tega razmerja lahko vodi do zmanjšanja trdnosti, saj preveč vlaken ali drugih dodatkov negativno vpliva na homogenost mešanice. Eksperimentalni testi so prav tako pokazali, da enakomerna porazdelitev ojačitvenih materialov igra ključno vlogo pri izboljšanju mehanskih lastnosti betona. Kot nadaljnje raziskovanje smo v nalogi ugotovili, da bi lahko kombinacija različnih alternativnih ojačitvenih materialov ponudila najboljše rezultate. Na primer, kombinacija steklenih vlaken in mikro armature bi lahko omogočila doseganje visoke tlačne trdnosti in hkrati izboljšala življenjsko dobo betona. Tak pristop bi lahko bil posebej uporaben v gradbenih projektih, kjer je potreben material z večjo odpornostjo na mehanske obremenitve in razpoke. V prihodnjih raziskavah bi bilo smiselno nadalje preučevati optimalne kombinacije materialov ter vpliv drugih dejavnikov, kot so različne metode obdelave betona in učinki dolgoročne izpostavljenosti okoljskim vplivom. Prav tako bi bilo koristno razširiti raziskavo na preizkušanje

fleksibilnosti in odpornosti betona na druge mehanske sile, kot so natezne in strižne obremenitve.

Poleg mehanskih lastnosti smo pri raziskovalni nalogi upoštevali tudi trajnostne vidike. Uporaba alternativnih materialov, kot so slama in tekstilna vlakna, lahko prispeva k zmanjšanju ogljičnega odtisa v gradbeništvu. To je še posebej pomembno v kontekstu sodobnih prizadevanj za zmanjšanje vplivov gradbene industrije na okolje. Kljub temu je potrebno nadaljnje raziskovanje, da bi se natančneje določili dolgotrajni vplivi teh materialov na trajnost betonskih konstrukcij. Ampak glede na to, da ima slama malo vpliva na trdnost betona, bi mogoče lahko poiskali še kakšen drug naravni materiala.

V okviru te raziskovalne naloge smo se prav tako soočali z določenimi omejitvami. Ena izmed teh je bila nepopolna homogenost mešanic pri določenih materialih, kar bi lahko vplivalo na končne rezultate testiranj. Prav tako je bila laboratorijska okolja različna od realnih pogojev na gradbišču, zato bi bilo za popolnejšo analizo smiselno izvesti teste tudi v dejanskih konstrukcijskih pogojih.

Na podlagi ugotovitev raziskovalne naloge lahko sklepamo, da ima uporaba alternativnih materialov v betonu velik potencial za prihodnost gradbeništvu. Pravilna izbira in optimizacija materialov lahko pripomoreta k izboljšanju mehanskih lastnosti betona, zmanjšanju stroškov in zmanjšanju vpliva na okolje. Ker je beton ključni material v gradbeništvu, je smiselno nadaljevati z raziskavami in razvojem, ki bodo omogočili še boljše in trajnostne rešitve za prihodnje gradbene projekte.

## 8 VIRI IN LITERATURA

- [1] Spletna stran - <https://halobeton.si/cenik/> (dostopno 10.12.2024 )
- [2] Spletna stran - <https://sl.m.wikipedia.org/wiki/Beton> (dostopno 10.12.2024)
- [3] Spletna stran - <https://old.delo.si/prosti-cas/kult/zgodovina-betona.html> (dostopno 10.12.2024)
- [4] Spletna stran - Splet - <https://dk.um.si/Dokument.php?id=58231&lang=eng> (dostopno 10.12.2024)
- [5] Spletna stran - <http://www.gradimo.com/gradnja/instalacije/temperatura-strjevanja-in-nega-betona> (dostopno 10.12.2024)
- [6] Spletna stran - <https://www.sam.si/baza-znanja/dom/beton-nekoc-in-danes> (dostopno 10.12.2024)
- [7] Spletna stran - <https://arhiv.izs.si/fileadmin/dokumenti/msg/Gradbeni-vestnik-december-2016.pdf> (dostopno 11.12.2024)
- [8] Spletna stran - [https://www.zabeton.si/datot/zbronik\\_beton\\_in\\_traj.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.zabeton.si/datot/zbronik_beton_in_traj.pdf?utm_source=chatgpt.com) (dostopno 11.12.2024)
- [9] Spletna stran - [https://www.academia.si/wp-content/uploads/2020/09/Matic-%C5%A0kof-diplomsko-delo.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.academia.si/wp-content/uploads/2020/09/Matic-%C5%A0kof-diplomsko-delo.pdf?utm_source=chatgpt.com) (dostopno 11.12.2024)
- [10] Spletna stran - [https://www.academia.si/wp-content/uploads/2020/09/Matic-%C5%A0kof-diplomsko-delo.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.academia.si/wp-content/uploads/2020/09/Matic-%C5%A0kof-diplomsko-delo.pdf?utm_source=chatgpt.com) dostopno 11.12.2024)