

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Zagorc, J., 2014. Vpliv vrste karbonatnega agregata na lastnosti malt in betonov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Bokan Bosiljkov, V., somentorica Štukovnik, P.): 80 str.

Datum arhiviranja: 29-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Zagorc, J., 2014. Vpliv vrste karbonatnega agregata na lastnosti malt in betonov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bokan Bosiljkov, V., co-supervisor Štukovnik, P.): 80 pp.

Archiving Date: 29-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE  
STOPNJE OPERATIVNO  
GRADBENIŠTVO

Kandidat:

**JERNEJ ZAGORC**

## **VPLIV VRSTE KARBONATNEGA AGREGATA NA LASTNOSTI MALT IN BETONOV**

Diplomska naloga št.: 66/OG-MK

## **INFLUENCE OF CARBONATE AGGREGATE TYPE ON PROPERTIES OF MORTARS AND CONCRETES**

Graduation thesis No.: 66/OG-MK

**Mentorica:**

izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

**Predsednik komisije:**

doc. dr. Tomo Cerovšek

**Somentorica:**

asist. Petra Štukovnik

Ljubljana, 23. 09. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

---

Ta stran je namenoma prazna

## **IZJAVE**

Podpisani **Jernej Zagorc** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »**Vpliv vrste karbonatnega agregata na lastnosti malt in betonov**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Vrtača, 15. 9. 2014

Jernej Zagorc

**BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>669(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Jernej Zagorc</b>
<b>Mentorica:</b>	<b>izr. prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov</b>
<b>Somentorica:</b>	<b>asist. Petra Štukovnik</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Vpliv vrste karbonatnega agregata na lastnosti malt in betonov</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – VSŠ</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>80 str., 15 pregl., 26 graf., 4 sl., 2 en.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>alkalno-agregatna reakcija, alkalno-karbonatna reakcija, tlačna trdnost, upogibna trdnost, dedolomitizacija, dinamični modul elastičnosti</b>

**Izvleček**

V diplomski nalogi se ukvarjamo s potencialno reakcijo med karbonatnim agregatom in cementnim vezivom. Ugotavljamo vpliv te reakcije na mehanske lastnosti strjenih betonov, izdelanih z različnimi karbonatnimi agregati. V ta namen smo zasnovali tri različne mešanice betona, eno z apnenčastim agregatom A in drugi dve z dolomitnim agregatom B in C. Betone smo izpostavili različnim pogojem pospešenega staranja pri starosti 7 ali 28 dni. Staranje preizkušancev je trajalo 28 dni. Vsak teden staranja smo določili tlačno in upogibno trdnost betonov ter dinamični modul elastičnosti. Dobljene rezultate smo analizirali z vidika potencialnega vpliva alkalno-karbonatne reakcije na mehanske lastnosti betona.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

- UDK:** 669(043.2)
- Author:** Jernej Zagorc
- Supervisor:** Assoc. Prof. Violeta Bokan Bosiljkov, Ph.D
- Co-supervisor:** Assist. Petra Štukovnik
- Title:** Influence of carbonate aggregate type on properties of mortars and concretes
- Document type:** Graduation Thesis - VSŠ
- Notes:** 80 p., 15 tab., graph., 4 fig., 2 eq.
- Key words:** alkali-aggregate reaction, alkali-carbonate reaction, compressive strength, flexural strength, dedolomitisation, dynamic modulus of elasticity

### **Abstract**

This thesis deals with a potential reaction between carbonate aggregate and cement binder. We try to establish the impact of this reaction on the mechanical properties of hardened concrete made with different carbonate aggregates. To this aim, we designed three different mixtures of concrete, one with limestone aggregate A and the other two with dolomite aggregates B and C. Concretes were exposed to different conditions of accelerated aging at the age of 7 or 28 days. The aging of the test specimens lasted 28 days. Each week of aging compressive and flexural strengths of concrete were determined, and the dynamic modulus of elasticity was measured. The results thus obtained were analysed in terms of the potential impact of alkali-carbonate reactions on the mechanical properties of concrete.

Ta stran je namenoma prazna



## **ZAHVALA**

Zahvalil bi se svoji mentorici dr. Violeti Bokan Bosiljkov ter somentorici Petri Štukovnik, ter vsem, ki so prispevali pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvalil bi se tudi vsem, ki so me vzpodbujali skozi vsa leta študija.

**KAZALO**

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PREGLED LITERATURE.....</b>	<b>2</b>
2.1	Materiali.....	5
2.1.1	Agregat.....	5
2.1.2	Cement .....	6
2.1.3	Voda.....	6
<b>3</b>	<b>EKSPERIMENTALNI DEL.....</b>	<b>7</b>
3.1	Materiali.....	7
3.1.1	Cement .....	7
3.1.2	Agregat.....	9
3.2	Receptura .....	18
3.2.1	Načrt mešanja.....	22
3.3	Priprava in nega vzorcev.....	24
<b>4</b>	<b>REZULTATI TLAČNIH TRDNOSTI .....</b>	<b>28</b>
4.1	Mešanica z agregatom A.....	28
4.1.1	Seriya I.....	28
4.1.2	Seriya II.....	29
4.1.3	Diskusija.....	30
4.2	Mešanica agregata B.....	32
4.2.1	Seriya I.....	32
4.2.2	Seriya II.....	34
4.2.3	Diskusija.....	35
4.3	Mešanica agregata C.....	37
4.3.1	Seriya I.....	37
4.3.2	Seriya II.....	38

4.3.3	Diskusija .....	40
4.4	Primerjava agregatov B in C .....	42
<b>5</b>	<b>REZULTATI UPOGIBNIH TRDNOSTI .....</b>	<b>46</b>
5.1	Primerjava agregatov B in C .....	46
<b>6</b>	<b>DINAMIČNI MODUL ELASTIČNOSTI .....</b>	<b>51</b>
6.1	Serijska 20 °C .....	51
6.2	Serijska 60 °C .....	53
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>55</b>
<b>VIRI</b> .....		<b>57</b>
<b>PRILOGE</b> .....		<b>60</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Fizikalne in kemijske lastnosti cementa po SIST EN 197-1 .....	7
Preglednica 2: Analiza cementa CEM I/42,5 R.....	8
Preglednica 3: Fizikalno-kemijske lastnosti agregata A (apnenec) .....	9
Preglednica 4: Fizikalno-kemijske lastnosti agregata B (dolomit B) .....	10
Preglednica 5: Fizikalno-kemijske lastnosti agregata C (dolomit C) .....	11
Preglednica 6: Zrnnavostna sestava vzorca A .....	14
Preglednica 7: Zrnnavostna sestava vzorca B .....	15
Preglednica 8: Zrnnavostna sestava vzorca C <sub>1</sub> .....	16
Preglednica 9: Zrnnavostna sestava vzorca C <sub>2</sub> .....	17
Preglednica 10: Povprečje presejka vzorcev C <sub>1</sub> in C <sub>2</sub> .....	17
Preglednica 11: Količine sestavin za betonske mešanice .....	21
Preglednica 12: Terminski načrt in količina mešanja 1. sklop (spodaj), 2. sklop (str. 35).....	22
Preglednica 13: Dnevni razlezi betonskih mešanic .....	25
Preglednica 14: Povprečni dnevni razlez betonskih mešanic .....	26
Preglednica 15: Povprečni razlezi betonskih mešanic.....	26

**KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Primerjava zrnastostne sestave agregatov A, B in C .....	13
Grafikon 2: Tedenske tlačne trdnosti I. serije .....	28
Grafikon 3: Tedenske tlačne trdnosti II. serije .....	29
Grafikon 4: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 20 °C .....	30
Grafikon 5: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 60 °C .....	31
Grafikon 6: Tedenske tlačne trdnosti I. serije .....	33
Grafikon 7: Tlačne trdnosti vzorca B v NaOH pri 20 °C (modro) in pri 60 °C (rdeče).....	33
Grafikon 8: Tedenske tlačne trdnosti II. serije .....	34
Grafikon 9: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 20 °C .....	35
Grafikon 10: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 60 °C .....	36
Grafikon 11: Tedenske tlačne trdnosti I. serije .....	37
Grafikon 12: Tedenske tlačne trdnosti II. serije.....	39
Grafikon 13: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 20 °C .....	40
Grafikon 14: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 60 °C .....	41
Grafikon 15: Primerjava tlačnih trdnosti prizem agregata B in C, I. serije, pri 20 °C .....	43
Grafikon 16: Primerjava tlačnih trdnosti prizem agregata B in C, II. serije, pri 20 °C.....	43
Grafikon 17: Primerjava tlačnih trdnosti prizem agregata B in C, I. serije, pri 60 °C .....	44
Grafikon 18: Primerjava tlačnih trdnosti prizem agregata B in C, II. serije, pri 60 °C.....	45
Grafikon 19: Primerjava upogibnih trdnosti prizem z agregatom B in C, I. serije, pri 20 °C.....	47
Grafikon 20: Primerjava upogibnih trdnosti prizem z agregatom B in C, II. serije, pri 20 °C .....	48
Grafikon 21: Primerjava upogibnih trdnosti prizem agregata B in C, I. serije, pri 60 °C.....	49
Grafikon 22: Primerjava upogibnih trdnosti prizem agregata B in C, II. serije, pri 60 °C .....	50
Grafikon 23: Dinamični modul elastičnosti serije I pri 20 °C.....	51
Grafikon 24: Dinamični modul elastičnosti serije II pri 20 °C .....	52
Grafikon 25: Dinamični modul elastičnosti serije I pri 60 °C.....	53

Grafikon 26: Dinamični modul elastičnosti serije II pri 60 °C.....	54
--	----

## KAZALO SLIK

Slika 1: Panteon (Piranesi, 2014) .....	2
Slika 2: Sejanje agregata s sistemom sit.....	13
Slika 3: Vgrajevanje betona v prisekan stožec (levo) in meritev dveh diagonal razleza (desno) .....	24
Slika 4: Vgrajevanje v kalupe (levo) in prizme v destilirani vodi (desno).....	24

**KAZALO ENAČB**

Enačba 1: Osnovna enačba mehanizma dedolomitizacije .....	3
Enačba 2: Enačba tvorjenja sekundarnega kalcita .....	3



## 1 UVOD

Alkalno-agregatna reakcija je reakcija, ki se čez čas pojavi v betonu, po navadi med visoko alkalno cementno pasto in amorfnim  $\text{SiO}_2$  (kremenom), ki je del zrn kamenega agregata. Reakcija povzroči ekspanzijo silikatne strukture agregata in posledično nižje trdnosti betona. Poznamo dve glavni vrsti alkalno-agregatne reakcije, in sicer alkalno-silikatno reakcijo (ASR) ter alkalno-karbonatno reakcijo (ACR) (AAR, 2014).

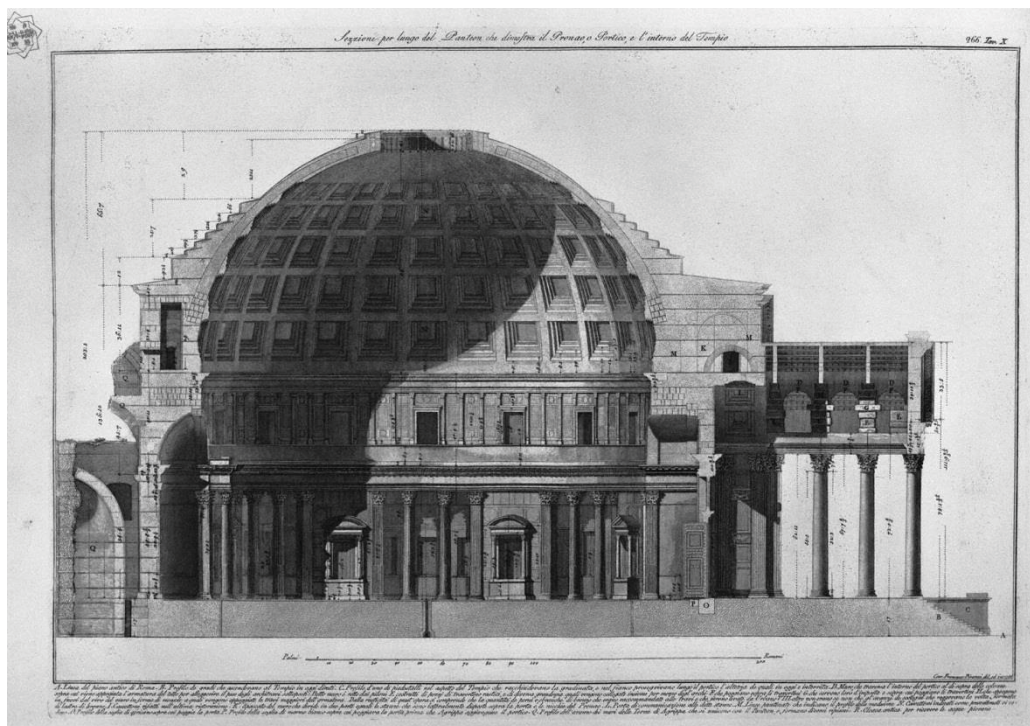
Namen našega raziskovalnega dela je bil proučiti povezavo med potencialno ACR in njenim vplivom na mehanske lastnosti. Hkrati smo želeli proučiti odziv dveh dolomitov na mehanske lastnosti v različnih okoljskih pogojih. Znano je namreč, da določen tip dolomita reagira v alkalnem okolju, kar so potrdile tudi preiskave, predstavljene v prispevkih z naslovom »Observations on dedolomitization of carbonate concrete aggregates, implications for ACR and expansion« in »Alkali-carbonate reaction in concrete and its implications for a high rate of long-term compressive strength increase« (Prinčič et al., 2013; Štukovnik et al., 2014).

V ta namen smo uporabili tri različne agregate, prva dva sta bila že uporabljena v predhodnih študijah (Štukovnik, 2014), kot tretji pa je bil uporabljen dolomit, izbran na drugi lokaciji. Pripravili smo dve seriji vzorcev betona, ki smo jih izpostavili pospešenemu staranju. Preizkusili smo njihove tlačne in upogibne trdnosti ter dinamični modul elastičnosti.

## 2 PREGLED LITERATURE

### • Zgodovina

Prva večja in resnejša uporaba betona se začne z Rimljani, predvsem je treba izpostaviti zgradbi Kolosej in Panteon (Slika 1). Slednja je še vedno največja nearmirana betonska zgradba na svetu. Trdnost teh betonov se izenačuje z današnjim Portland cement betonom. Današnja sestava betona se od rimskega razlikuje predvsem po vezivu – v betonu, ki so ga uporabljali Rimljani, je hidravlično vezivo mešanica apna in pucolanskega dodatka, v modernih betonih pa je to Portland cement. Poleg tega so današnje betonske mešanice praviloma tekoče in homogene, kar omogoča vgradnjo betona s črpalkami in zapolnitev poljubne oblike opaža z malo dovedene energije od zunaj (vibriranje) ali celo brez nje (samozgoščevalni betoni). Zelo pomembna razlika je tudi v tem, da so Rimljani natezne napetosti prenašali le z natezno trdnostjo betona, saj armiranega betona niso poznali. Zato so uporabljali konstrukcijske elemente v obliki lokov, kupol, ipd.



Slika 1: Panteon (Piranesi, 2014)

Kot sem navedel zgoraj, so Rimljani že poznali delovanje pucolanskih dodatkov, ki so omogočili proizvodnjo betona. Apnu so dodajali predvsem vulkanski pepel, da so dosegali večje trdnosti in uporabili beton tudi za konstrukcije v ali pod vodo. Učinkovito pa so uporabljali tudi druge dodatke. Z dodajanjem konjske dlake so zmanjšali razpoke zaradi krčenja betona, zmrzlinško odpornost betona pa so povečali z dodajanjem sveže krvi, ki deluje kot neke vrste aerant.

Uporaba betona je po propadu rimskega cesarstva upadla in ponovno zaživela v sredini 17. Stoletja, z zgraditvijo Eddystonovega svetilnika. Največji razcvet betona se pojavi v 19. stoletju, in sicer z iznajdbo Portland cementa. Kmalu zatem pride v uporabo armirani beton, ki je v gradbeništvo prinesel povsem nov spekter gradnje.

Za vsak beton so izrednega pomena receptura in lastnosti posameznih sestavin, agregata, cementa in dodatkov, ter njihova interakcija.

- **Alkalno-agregatna reakcija**

Alkalno-agregatno reakcijo v primeru karbonatnih kamnin lahko razdelimo v tri podskupine:

1. Alkalno-karbonatna reakcija (ACR) dolomitnega apnenca, njen rezultat je dedolomitizacija.
2. Alkalno-karbonatna reakcija (ACR) nedolomitnega apnenca, rezultat so reakcijski obroči.
3. Alkalno-silikatna reakcija (ASR) različnih karbonatnih agregatov (Katayama, 2004).

Večino avtorjev vpliv ACR na betone preučuje preko merjenja raztezkov. Avtor Katayama je izpostavil učinkovito metodo določevanja ACR s kombinacijo SEM- in EDS-analize. Prav rezultati teh analiz so potrdili dejstvo, da je dolomit nestabilen v kontaktu z alkalijami Portland cementa.

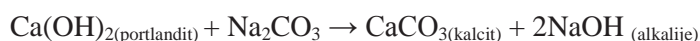
V visoko alkalnem okolju in ob prisotnosti alkalnih ionov v porah se ioni Ca, Mg in CO<sub>3</sub> v trdnem stanju menjajo z ioni v porah cementa. Tako reakcijo imenujemo dedolomitizacija in jo zapišemo z enačbo 1 (Prinčič, 2013).



Enačba 1: Osnovna enačba mehanizma dedolomitizacije

Alkalno-karbonatna reakcija nastaja v stiku med alkalijami iz cementnega kamna in dolomitnim agregatom (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Alkalije iz veziva lahko reagirajo s kristali dolomitnega agregata, pri čemer nastaja mineral brucit (Mg(OH)<sub>2</sub>).

Pri dedolomitizaciji v betonu se tvori sekundarni kalcit (Enačba 2). Sekundarni kalcit nastaja vzdolž dolomitnih agregatnih zrn. Karbonatni ioni (CO<sub>3</sub>), ki se povežejo z alkalnimi ioni (Na), prehajajo iz reaktivnega dolomitnega agregata v vezivo in se tam povežejo s Ca ioni iz portlandita (Ca(OH)<sub>2</sub>) v vezivu (Katayama, 2010).



Enačba 2: Enačba tvorjenja sekundarnega kalcita

Možnost alkalno-karbonatne reakcije (ACR) med alkalnim vezivom in dolomitnim agregatom je bila v slovenskem prostoru prvič odkrita pred kratkim. Mehanizem reakcije in njen vpliv na mikrostrukturo in mehanske lastnosti so prikazani v člankih (Štukovnik, 2014 in Prinčič, 2013). Diplomaska naloga Jureta Zabreda (Zabred, 2014) pa proučuje ACR z vidika vpliva na mehanske lastnosti betona.

## **2.1 Materiali**

### **2.1.1 Agregat**

Agregat je lahko definiran kot: "delci kamenine, izdelanega ali recikliranega materiala, ki skupaj tvorijo, v vezani ali nevezani obliki, del ali celoto grajenega ali dokončanega objekta" (Ingham, 2011).

Lastnosti betonov so odvisne od vrste agregata. Vloga agregata v betonu je, da:

- znižuje ceno betona,
- ustrezno sestavljen po frakcijah ustvarja koheziven beton,
- znižuje hidrationsko temperaturo betona,
- zmanjšuje krčenje betona.

Agregat predstavlja zrnasti kamni material, ki predstavlja največji delež in težo betona. Pridobivamo ga s separiranjem nevezanega hribinskega ali naplavljenega materiala ter z drobljenjem vezanega hribinskega materiala (Žarnić, 2005).

### **2.1.2 Cement**

Cement je silikatno hidravlično vezivo, ki se pri reakciji z vodo (hidratacija) veže in strdi. Pri tem iz židke cementne paste nastane trd in trden cementni kamen, sestavljen pretežno iz kalcijevih silikat hidratov, ki tudi v vodi ohrani stabilnost in trdnost. Osnovna surovina so minerali, ki jih vsebujejo naravni lapor, apnenec in glina (Žarnić, 2005).

Sestava, zahteve in merila skladnosti za običajne cemente so podani v standardu »SIST EN 197 – 1« (SIST, 2011).

### **2.1.3 Voda**

Voda predstavlja zelo pomembno komponento v sestavi betona, čeprav predstavlja od 4 do 12 % celotnega volumna v trdnem stanju (Zajec, 2012). Začetek strjevanja (hidratacije) betona se prične z reakcijo med vodo in cementom ter nadaljuje v izrazitih štirih fazah:

- predindukcijska faza,
- indukcijska faza,
- faza pospešene hidratacije in
- faza pojemajoče hidratacije.

Navadno velja, da je vsaka pitna voda primerna za vgrajevanje v beton. V kolikor se odločimo za uporabo druge vode, jo je potrebno ustrezno analizirati, da ne vsebuje prevelike količine škodljivih delcev, posebno kloridov in soli. Delci, kot so gline in ostale organske snovi, zaradi prevlek, ki jih ustvarijo na agregatu, znižajo sprejemanje cementne paste z agregatom in s tem znižujejo trdnost betona (Žarnić, 2005).

### 3 EKSPERIMENTALNI DEL

#### 3.1 Materiali

##### 3.1.1 Cement

V diplomski nalogi smo uporabljali cement z oznako CEM I 42,5 R. To je portlandski cementni klinker brez mineralnih dodatkov. Sestavljen je iz 95 % klinkerja in do 5 % rugih dodatkov, med katerimi je sadra, ki je regulator časa vezanja cementa.

V preglednici 1 in 2 so podane lastnosti uporabljenega cementa, določene s strani proizvajalca (Lafarge, 2014).

Preglednica 1: Fizikalne in kemijske lastnosti cementa po SIST EN 197-1

Lastnosti	
Videz, oblika	Fino mleta anorganska trdna snov (prah)
Barva	Siva
Vonj	Brez vonja
Ph (T = 20 °C v vodi, razmerje voda : topne snovi 1 : 2)	> 11
Tališče	>1200 °C
Eksplozivnost	Ni eksploziven in pirotehničen, ne oddaja škodljivih plinov in nevarnih dimov ali povzroča eksotermne kemijske reakcije.

Fizikalne in kemijske lastnosti, navedene po standardu SIST EN 197-1		
Lastnost	Zahteve standarda	Dosežene zahteve
Prostorninska masa [g/cm <sup>3</sup> ]	2,8–3,2	3,1
Nasipna teža [g/cm <sup>3</sup> ]	0,85–1,3	
Topnost v vodi 20 °C [g/L]		< 1,5
Prostorninska obstojnost [mm]	< 10	< 1
Čas začetka vezanja [min]	> 60	> 100
Vsebnost sulfata (SO <sub>3</sub> ) [%]	< 4	< 3
Izguba pri žarenju [%]	< 5	ok
Netopni ostanek [%]	< 5	ok
Vsebnost kloridov (Cl) [%]	< 0,1	

Preglednica 2: Analiza cementa CEM I/42,5 R

<i>Lastnosti</i>	<i>Vsebnost</i>
SiO <sub>2</sub>	22,23 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,52 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,32 %
CaO	60,40 %
SO <sub>3</sub>	2,99 %
MgO	2,54 %
Na <sub>2</sub> O	0,45 %
K <sub>2</sub> O	0,84 %
Žarilna izguba	0,009 %
Netopni ostanek	2,54 %
Sejalni ostanek na 63 um	1,17 %
Čas začetka vezave	150 min
Normna konsistenca	29,0 %
1-dnevna utežna trdnost	24,9 MPa
2-dnevna utežna trdnost	36,3 MPa
28-dnevna utežna trdnost	59,7 MPa
Specifična površina – Blaine	3761 cm <sup>2</sup> /g



### 3.1.2 Agregat

Uporabili smo tri agregate iz različnih slovenskih kamnolomov. Uporabljen je bil apnenec in dva dolomita. Vsi trije uporabljeni agregati so si z geološkega vidika različni, saj imajo različni tektonski in paleogeografski razvoj (Štukovnik, 2014). V vseh treh primerih smo uporabili certificirani agregat frakcije 0/4 mm. Agregate smo označili s črkami A, B, C. Črka A označuje apnenec, črka B dolomit I in črka C dolomit II.

- **Agregat A**

Kot agregat A je bil uporabljen apnenčev agregat. Kamnolom le-tega se nahaja na zahodnem delu Slovenije, in sicer v bližini vasi Razdrto.

Omenjeni apnenec spada v srednje in zgornje obdobje paleocenika ter zgodnje obdobje eocenika. Kamnina ima značilno sivo, rjavo ali sivo-rjavo barvo. V preglednici 3 je razvidno še nekaj fizikalnih in kemijskih lastnosti agregata A (Štukovnik, 2014).

Preglednica 3: Fizikalno-kemijske lastnosti agregata A (apnenec)

Velikost agregata	Oznaka	0/4; ( $G_F$ 85)
Prostorninska masa zrn	Deklarirana vrednost	2690 kg/m <sup>3</sup>
Kakovost finih delcev	Vrednostni prag	15 % (MB NPD; 55 % SE)
Odpornost proti drobljenju	Kategorija	LA <sub>25</sub>
Odpornost proti poliranju	Deklarirana vrednost	PSV <sub>33</sub>
Odpornost proti obrabi	Kategorija	M <sub>DE</sub> 15
Kloridi	Deklarirana vrednost	0,0064 % (Cl)
Kislinsko topni sulfati	Kategorija	AS <sub>0,8</sub>
Celokupno žveplo	Vrednostni prag	0,4305 % (S)
Krčenje vsed sušenja	Vrednostni prag	0,024 % (WS)
Vpijanje vode	Deklarirana vrednost	0,8 % (WA)
Odpornost na zmrzovanje in taljenje	Deklarirana vrednost	1 % (MS)

- **Agregat B**

Agregat B predstavlja kamenino dolomit, ki si nahaja na pretežno severnem delu Slovenije, in sicer vzhodno od mesta Velenje, in je predstavnik Južnih Alp. Nastanek tega dolomita uvrščamo v zgodnjo dobo triasa. Kamnina je značilno svetlo sive barve z belimi žilami. V preglednici 4 je razvidno še nekaj fizikalnih in kemijskih lastnosti agregata B (Štukovnik, 2014).

Preglednica 4: Fizikalno-kemijske lastnosti agregata B (dolomit B)

Velikost agregata	d/D	0/4; ( $G_F 85$ )
Prostorninska masa zrn		2847 ( $\text{kg/m}^3$ )
Kakovost finih delcev		71 (SE)
Vsebnost finih delcev	Kategorija	$f_{16}$
	Vrednostni prag	<16 %
Vsebnost vodotopnih sulfatov		0,001 (%m/m)
Vsebnost skupnega žvepla		0,014 (%m/m)
Vsebnost kislinotopnih sulfatov		0,012 (%m/m)
Vsebnost kislinotopnih sulfidov		0,004 (%m/m)
Vpijanje vode		0,48 % ( $WA_{24}$ )

- **Agregat C**

Agregat C prav tako predstavlja kamenino dolomit iz jugovzhodne Slovenije, v okolici Krškega. Kamina je svetlo sive barve in triasne starosti (Plenicar, 1975). V preglednici 5 so podane fizikalne in kemijske lastnosti tega agregata.

Preglednica 5: Fizikalno-kemijske lastnosti agregata C (dolomit C)

Velikost agregata	d/D	0/4; (G <sub>F</sub> 85)
Prostorninska masa zrn		2830 kg/m <sup>3</sup>
Čistost		MB <sub>F</sub> 10
Odpornost proti drobljenju	Kategorija	LA <sub>20</sub>
Vpijanje vode		1 % (WA <sub>24</sub> )
Odpornost na zmrzovanje in taljenje		MS <sub>18</sub>

## Granulometrijska sestava agregatov

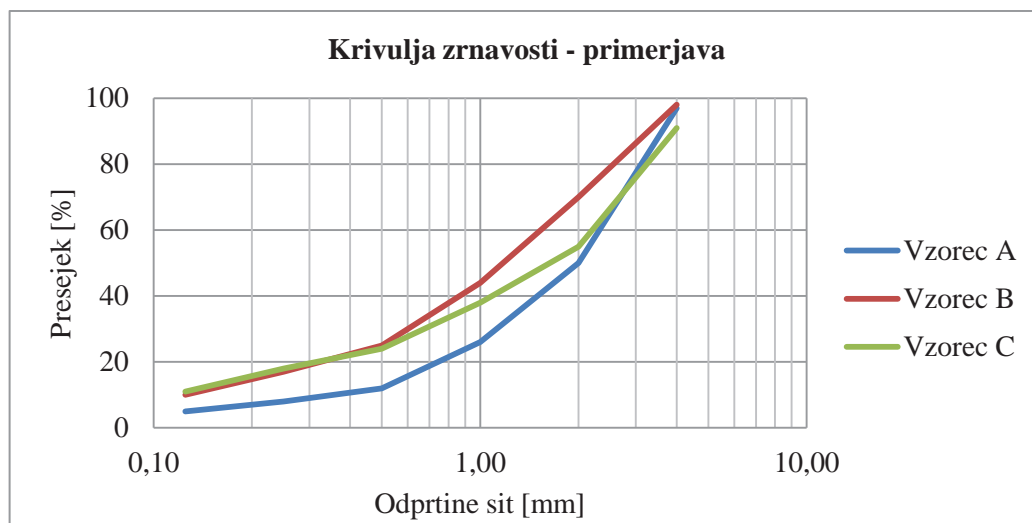
Postopek sejanja agregata je določen v standardu SIST EN 933 - 1 (SIST, 2012). Sejanje je potekalo v prostorih Konstrukcijsko-prometnem laboratoriju na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. Izbran je bil sistem sit z odprtini 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm in ostanek (Slika 2).

Zaradi natančnejših podatkov smo sejalno analizo vzorca C opravili dvakrat, kar je razvidno v preglednici 8 in 9. Preglednica 10 podaja povprečno vrednost presejka skozi posamezna sita za vzorca C1 in C2. Razlog, zakaj nismo opravili sejalne analize dvakrat tudi za preostala dva agregata, je v tem, da sta bila agregata uporabljena v študiji (Štukovnik, 2014), na katero se tudi ta diplomska naloga navezuje.

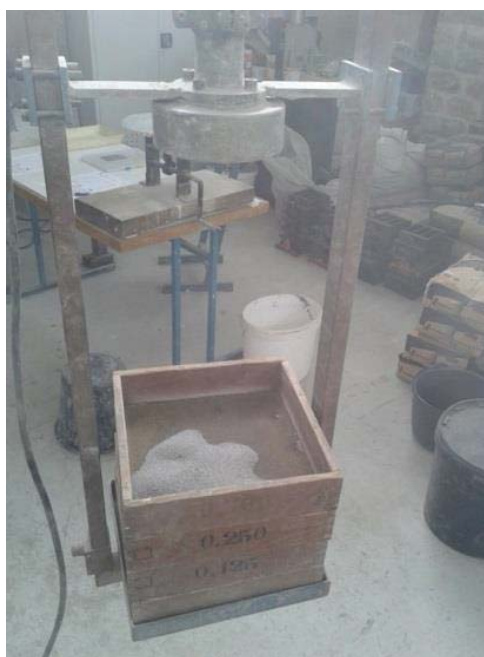
V grafikonu 1 so predstavljene krivulje zrnivosti apnenca – A in obeh dolomitov – B in C.

Krivulja agregata A je v območju finih delcev relativno položna, kar pomeni, da vsebuje relativno majhen delež zrn do 0,5 mm. Vendarle se krivulja v »srednjem« delu hitro ukrivi in strmo narašča (Grafikon 1). Krivulja je podobna »open graded« granulacijski sestavi agregata, za katero je značilna večja vsebnost grobih zrn in majhna vsebnost finih delcev. Tak agregat ustvari večjo količino por, ker ni dovolj majhnih delcev, ki bi zapolnili prostore med večjimi zrnimi agregata (Pavement interactive, 2011).

Če primerjamo sejalni krivulji dolomitov, agregatov B in C, opazimo, da sta si sejalni krivulji zelo podobni. Agregata imata enako vsebnost finih delcev pod 0,125 mm ter identično krivuljo do sita 0,5 mm (Grafikon 1). Vsebnost finih delcev pri dolomitih je dva krat višja kot pri agregatu A, poleg tega pa imata agregata B in C tudi večji naklon daljice med sitoma 0,125 in 0,50 mm, kar pomeni večji delež frakcije do 0,5 mm. Krivulji agregatov B in C se po situ 0,5 mm ločita. Agregat B ima v začetku bolj strmi naklon krivulje, ki ostaja približno enak vse do sita 4 mm. Je primer »dense or well-graded« granulacijske sestavi. Takšna sestava omogoča dobro strukturo betona in je zanj priporočljiva, saj se pore v betonu dobro zapolnijo (Pavement interactive, 2011). Na drugi strani pa ima agregat C majši delež frakcij 0,5/1 in 1/2, kot agregat B, in večji delež frakcije 2/4. Ima tudi največji delež nadmernih zrn. Od preglednice 6 do preglednice 9 so podani rezultati sejalne analize agregatov A, B in C. Za vse vrste agregata lahko rečemo, da je njihova zrnavostna sestava primerna za cementne malte.



Grafikon 1: Primerjava zrnavostne sestave agregatov A, B in C



Slika 2: Sejanje agregata s sistemom sit

Preglednica 6: Zrnavostna sestava vzorca A

VZOREC A: 2232 g

frakcija [mm]	sito [mm]	ostanek na situ		presejek skozi sito [%]	delež frakcije [%]
		[g]	[%]		
8/4					2,69
2/4	4	60	2,69	97,31	
	2	1108	49,69		47,00
1/2	1	1650	73,99	50,31	
					24,30
0,5/1	0,5	1944	87,17	26,01	
					13,18
0,25/0,5	0,25	2044	91,66	12,83	
					4,48
0,125/0,25	0,125	2110	94,62	8,34	
					2,96
0/0,125				5,38	
	ostanek	2230	100,00		5,38
				0,00	
		2230	100%		97,31

Preglednica 7: Zrnavostna sestava vzorca B

VZOREC B:

2950 g

frakcija [mm]	sito [mm]	ostanek na situ		presejek skozi sito [%]	delež frakcije [%]
		[g]	[%]		
8/4			1,23		1,23
2/4	4	36		98,77	28,75
1/2	2	880	29,97	70,03	25,07
0,5/1	1	1616	55,04	44,96	19,01
0,25/0,5	0,5	2174	74,05	25,95	8,17
0,125/0,25	0,25	2414	82,22	17,78	7,08
0/0,125	0,125	2622	89,31	10,69	10,69
	ostanek	2936	100,00	0,00	
		2936	100%		98,77

Preglednica 8: Zrnavostna sestava vzorca C<sub>1</sub>

VZOREC C 1:

3232 g

frakcija [mm]	sito [mm]	ostanek na situ		presejek skozi sito [%]	delež frakcije [%]
		[g]	[%]		
8/4					7,13
2/4	4	230	7,13	92,87	
	2	1342	41,63	58,37	34,49
1/2	1	1920	59,55	40,45	17,93
0,5/1	0,5	2390	74,13	25,87	14,58
0,25/0,5	0,25	2620	81,27	18,73	7,13
0,125/0,25	0,125	2838	88,03	11,97	6,76
0/0,125	ostanek	3224	100,00	0,00	11,97
		3224	100%		92,87



Preglednica 9: Zrnavostna sestava vzorca C<sub>2</sub>

VZOREC C 2:

2296 g

frakcija [mm]	sito [mm]	ostanek na situ		presejek skozi sito [%]	delež frakcije [%]
		[g]	[%]		
8/4					
2/4	4	246	10,74	89,26	10,74
1/2	2	1094	47,77	52,23	37,03
0,5/1	1	1472	64,28	35,72	16,51
0,25/0,5	0,5	1746	76,24	23,76	11,97
0,125/0,25	0,25	1882	82,18	17,82	5,94
0/0,125	0,125	2016	88,03	11,97	5,85
	ostanek	2290	100,00	0,00	11,97
		2290	100%		89,26

Preglednica 10: Povprečje presejka vzorcev C<sub>1</sub> in C<sub>2</sub>

Sito [mm]:	Presejek [%]:
0,000	0,00
0,125	11,97
0,250	18,28
0,500	24,81
1,000	38,08
2,000	55,30
4,000	91,06

### 3.2 Receptura

Primarna predpostavka za izdelavo maltnih prizmic je bilo močno agresivno kemično okolje oz. okolje z oznako XA3, vendar se takšna receptura zaradi slabe vgradljivosti ni obnesla.

Izhajali smo iz recepture za standardno cementno malto, kjer je masa agregata trikratnik mase cementa, kot sledijo naslednji izračuni, predstavljeni na strani 20. V nadaljevanju uporabljamo za mešanico izraz beton, čeprav je največje zrno agregata 4 mm in gre v bistvu za malto. Najprej smo izračunali potrebne količine za 1 m<sup>3</sup> betona, ki smo jih na koncu pretvorili na vrednosti za en kalup, kar predstavlja približno 1 dm<sup>3</sup> mešanice. Maso cementa smo izračunali s pomočjo formule [1]. Predpostavili smo, da je masa agregata trikratnik mase cementa in masa vode produkt V/C razmerja in mase cementa. Podatke smo vstavili v formulo [2] in dobili potrebno količino cementa. Masi vode in agregata v površinsko suhem z vodo zasičenem stanju sta izračunani po formulah [3] in [4]. Razpoložljiv agregat je bil v suhem stanju. Zaradi natančnejših rezultatov smo vgradili agregat v suhem stanju, kar pomeni, da se masa agregata sorazmerno zmanjša glede na odstotek vpijanja vode posameznega agregata [5]. Masa vode je večja za količino vpite vode [6] v posameznem agregatu. Končna količina vode je razvidna iz formule [7], mase agregata v formuli [5] in cementa v formuli [2].

V preglednici 11 je razvidna potrebna celotna količina surovin za izdelavo vseh maltnih prizem v okviru preiskave ter masa potrebnih surovin za zamešanje malte za zapolnitev enega ali dveh kalupov maltnih prizmic. Količina potrebnih surovin se razlikuje glede na vrsto agregata.

Zahteve pri močno agresivnem kemičnem okolju (Žarnić, 2007)

- največji vodocementni faktor (V/C)	0,45
- minimalna količina cementa	360 kg/m <sup>3</sup>
- najmanjši razred trdnosti po EC2	C 35/45

SESTAVINE ZA 1 m<sup>3</sup> BETONA:

$$1\text{m}^3 = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} + \frac{m_{CEM}}{\rho_{cem}} + \frac{m_A}{\rho_i} + p \quad [1]$$

$m_{H_2O}$	.....masa vode za 1 m <sup>3</sup> betona		
$m_{CEM}$	.....masa cementa za 1 m <sup>3</sup> betona		
$m_A$	.....masa agregata za 1 m <sup>3</sup> betona		
$\rho_{H_2O}$	.....prostorninska masa vode	1000	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{cem}$	.....prostorninska masa cementa brez por	3100	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_a$	.....prostorninska masa apnenca	2700	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_b$	.....prostorninska masa dolomita b	2847	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_c$	.....prostorninska masa dolomita c	2830	[kg/m <sup>3</sup> ]
$p$	.....prostornina por	3	[%]
$w_a$	.....vpivanje vode agregata A	0,8	[%]
$w_b$	.....vpivanje vode agregata B	0,48	[%]
$w_c$	.....vpivanje vode agregata C	1,0	[%]

(Žarnić, 2007)

max vodocementni faktor (V/C) za »XA3« =&gt; 0,45

max vodocementni faktor (V/C) za CEM I =&gt; 0,55

**Preračunana količina za 1 m<sup>3</sup> betona:**

Izberem minimalni V/C izmed zgoraj naštetih => 0,45

$$m_A = 3 * m_{CEM}$$

$$1m^3 = \frac{m_{CEM}}{\rho_{CEM}} + \frac{0,45 * m_{CEM}}{\rho_{H_2O}} + \frac{3 * m_{CEM}}{\rho_i} + \frac{3}{100} \quad [ 2 ]$$

**Cement:** (v površinsko suhem stanju)

Vzorec A:	513,82 kg
Vzorec B:	531,12 kg
Vzorec C:	529,29 kg

**Voda:** (v površinsko suhem stanju)

$$m_{H_2O} = V/C * m_{CEM} \quad [ 3 ]$$

Vzorec A:	231,22 kg
Vzorec B:	239,01 kg
Vzorec C:	238,18 kg

**Agregat:** (v površinsko suhem stanju [PS])

$$m_A = 3 * m_{CEM} \quad [ 4 ]$$

Vzorec A:	1541 kg
Vzorec B:	1593 kg
Vzorec C:	1588 kg

**VPIJANJE VODE:****Masa agregata** (suho stanje [S])

$$m_{A[S]} = \frac{m_{A[PS]}}{1 + \frac{w_i}{100}} \quad [ 5 ]$$

Vzorec A:	1529 kg
Vzorec B:	1586 kg
Vzorec C:	1572 kg

**Masa vpite vode:**

$$m_{H_2O[VV]_i} = m_{A[PS]} - m_{A[S]} \quad [6]$$

Vzorec A:	12 kg
Vzorec B:	8 kg
Vzorec C:	16 kg

**Končna masa vode**

$$m_{H_2O[K]} = m_{H_2O_i} + m_{H_2O[VV]_i} \quad [7]$$

Vzorec A:	243 kg
Vzorec B:	247 kg
Vzorec C:	254 kg

- **Potrebne količine sestavin za mešanje**

Preglednica 11: Količine sestavin za betonske mešanice

<b>KOLIČINE SESTAVIN:</b>						<i>količina</i>	<i>količina</i>
	<i>1m3</i>		<i>1 dm3 » 1 kalup</i>	<i>št. kalupov {1. + 2. sklop}</i>	<i>Potrebna količina [kg]</i>	<i>za 1 kalupe [kg]</i>	<i>za 2 kalupe [kg]</i>
<b>Vzorec A:</b>				48			
voda	243,5 kg/m <sup>3</sup>	=>	0,243 kg/dm <sup>3</sup>		11,69	0,243	0,487
cement	513,8 kg/m <sup>3</sup>	=>	0,514 kg/dm <sup>3</sup>		24,66	0,514	1,028
agregat	1529,2 kg/m <sup>3</sup>	=>	1,529 kg/dm <sup>3</sup>		73,40	1,529	3,058
<b>Vzorec B:</b>				48			
voda	246,6 kg/m <sup>3</sup>	=>	0,247 kg/dm <sup>3</sup>		11,84	0,247	0,493
cement	531,1 kg/m <sup>3</sup>	=>	0,531 kg/dm <sup>3</sup>		25,49	0,531	1,062
agregat	1585,8 kg/m <sup>3</sup>	=>	1,593 kg/dm <sup>3</sup>		76,48	1,593	3,187
<b>Vzorec C:</b>				48			
voda	253,9 kg/m <sup>3</sup>	=>	0,254 kg/dm <sup>3</sup>		12,19	0,254	0,508
cement	529,3 kg/m <sup>3</sup>	=>	0,529 kg/dm <sup>3</sup>		25,41	0,529	1,059
agregat	1572,1 kg/m <sup>3</sup>	=>	1,588 kg/dm <sup>3</sup>		76,22	1,588	3,176
<b>Rezerva R</b>				2			
voda	0,0 kg/m <sup>3</sup>	=>	0,000 kg/dm <sup>3</sup>		0,00	0,000	0,000
cement	0,0 kg/m <sup>3</sup>	=>	0,000 kg/dm <sup>3</sup>		0,00	0,000	0,000
agregat	0,0 kg/m <sup>3</sup>	=>	0,000 kg/dm <sup>3</sup>		0,00	0,000	0,000

### 3.2.1 Načrt mešanja

Mešanje se je pričelo v torek, 4. 6. 2013. Na voljo smo imeli le 24 kalupov, kar pomeni, da smo dnevno lahko zamešali 72 maltnih prizem. Skupno število prizem, ki jih je bilo potrebno zamešati, je 432.

Namen same diplomske naloge je bil preveriti vpliv ACR na mehanske lastnosti cementnih betonov, zato smo preizkušance izpostavili različnim okoljskim pogojem. Prvi sklop (Sklop I) preizkušancev smo starali 7 dni v pitni vodi in jih nato izpostavili raztopini destilirane vode ali raztopini NaOH ter temperaturi 20 °C ali 60 °C. Drugi sklop (Sklop II) pa smo starali v pitni vodi 28 dni in jih nato izpostavili raztopini destilirane vode ali raztopini NaOH ter temperaturi 20 °C ali 60 °C.

Glede na raznolikost okoljskih pogojev smo delo priprave vzorcev razdelili, tako da smo na dan zamešali vseh 24 kalupov. 12 kalupov preizkušancev za 20 °C in 12 kalupov za 60 °C. Dnevno smo zamešali vse tri različne agregate za dva različna sklopa staranja in za dve različni temperaturi staranja mešanice, kar prikazuje preglednica 12. Najprej smo začeli mešati 2. sklop preizkušancev.

V preglednici 12 je tudi razviden načrt mešanja, razkalupljenja, potopitev v raztopini in dan mehanskih preiskav oz. meritev dinamičnega modula elastičnosti za 1. in 2. sklop.

Preglednica 12: Terminski načrt in količina mešanja 1. sklop (spodaj), 2. sklop (str. 23)

1. Sklop		Število Kalupov		20°C + 60°C			
Vzorec	Grind	Starost mešanice (dni)					
		0	7	14	21	28	
A:	Cement + H <sub>2</sub> O	2	2	2	2	2	2
	Cement +NaOH	2	2	2	2	2	2
B:	Cement + H <sub>2</sub> O	2	2	2	2	2	2
	Cement +NaOH	2	2	2	2	2	2
C:	Cement + H <sub>2</sub> O	2	2	2	2	2	2
	Cement +NaOH	2	2	2	2	2	2
R:		0	0	0	0	0	0
Datum mešanja:		11.6.2013	13.6.2013	13.6.2013	12.6.2013	12.6.2013	11.6.2013
Datum razkalupljenja:		12.6.2013	14.6.2013	14.6.2013	13.6.2013	13.6.2013	12.6.2013
Datum začetka v raztopini:		19.6.2013	21.6.2013	21.6.2013	20.6.2013	20.6.2013	19.6.2013
Datum konca v raztopini:		19.6.2013	21.6.2013	28.6.2013	4.7.2013	11.7.2013	17.7.2013
		26.6.2013					
		3.7.2013					
		10.7.2013					
		17.7.2013					

2. Sklop		Število Kalupov		20°C + 60°C			
Vzorec		Grind	Starost mešanice (dni)				
			0	7	14	21	28
<b>A:</b>	Cement + H <sub>2</sub> O	2	2	2	2	2	2
	Cement + NaOH	2	2	2	2	2	2
<b>B:</b>	Cement + H <sub>2</sub> O	2	2	2	2	2	2
	Cement + NaOH	2	2	2	2	2	2
<b>C:</b>	Cement + H <sub>2</sub> O	2	2	2	2	2	2
	Cement + NaOH	2	2	2	2	2	2
<b>R:</b>		0	0	0	0	0	0
Datum mešanja:		4.6.2013	6.6.2013	6.6.2013	10.6.2013	5.6.2013	4.6.2013
Datum razkalupljenja:		5.6.2013	7.6.2013	7.6.2013	11.6.2013	6.6.2013	5.6.2013
Datum začetka v raztopini:		3.7.2013	5.7.2013	5.7.2013	9.7.2013	4.7.2013	3.7.2013
Datum konca v raztopini:		3.7.2013	5.7.2013	12.7.2013	23.7.2013	25.7.2013	31.7.2013
		10.7.2013					
		17.7.2013					
		24.7.2013					
		31.7.2013					

### 3.3 Priprava in nega vzorcev

Vzorci smo pripravili skladno z recepturo v poglavju 3.2. Po tehtanju surovin in mešanju betona je sledilo vgrajevanje mešanice v prisekan stožec na stresalni mizi (Slika 3 – levo). Za vsako mešanje smo preverili konsistenco sveže mešanice s postopkom razleza po standardu SIST EN 1015-3 (SIST, 2001). Skupno smo lahko zamešali dva litra betonske mešanice, kar je zadostovalo za dva kalupa, po tri prizme na kalup.



Slika 3: Vgrajevanje betona v prisekan stožec (levo) in meritev dveh diagonal razleza (desno)

Sledilo je vgrajevanje betonske mešanice v standardizirane kalupe velikosti 40/40/160 mm, kakor je razvidno s slike 4 – levo. Kalupe smo predhodno namazali z opažnim oljem. Zaradi manjšega izhlapevanja vode smo vgrajene kalupe pokrili s folijo in jih pustili odležavati 24 ur. Po 24 urah smo vzeli prizme iz kalupov in jih položili v destilirano vodo (Slika 4 – desno) za predvidno časovno obdobje (Sklop I in Sklop II), kar je razloženo v poglavju »Načrt mešanja (3.2.1.)«. Za vsako mešanico smo preverili razlez sveže betonske mešanice.

V preglednici 13 so razvidni rezultati razleza vsake mešanice iz posameznega agregata, ki smo jo dnevno pripravili. Diagonali  $d_1$  in  $d_2$  smo izmerili po končanem postopku stresanja sveže mešanice (Slika 3 – desno). Povprečne dnevne razleze razberemo iz preglednice 14, povprečni razlez vzorca za vse mešanice pa iz preglednice 15. Povprečni razlez za mešanico A je 14 cm, za mešanico B 13,7 cm in 14,8 cm za mešanico C.



Slika 4: Vgrajevanje v kalupe (levo) in prizme v destilirani vodi (desno)



Preglednica 13: Dnevni razlezi betonskih mešanic

RAZLEZ BETONSKE MEŠANICE		3.6.2013		5.6.2013		6.6.2013		10.6.2013		11.6.2013		12.6.2013		13.6.2013	
		d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2
<b>Mešanica A</b>		13,4	13,6	13,3	13,8	13,7	14,1	14,1	13,9	13,7	13,8	13,9	13,4	13,3	13,7
		13,5	13,0			13,5	13,7	13,6	14,0	14,1	14,4	14,7	14,9	13,4	14,2
		13,8	13,5			13,9	14,3			14,5	14,8	14,3	14,8	14,5	15,0
		13,4	13,6			13,7	14,4			14,4	14,0	14,3	14,8	14,2	14,5
<b>Mešanica B</b>		d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2
		14,3	13,9	12,3	12,7	12,5	12,7	13,9	14,1	13,7	13,8	13,3	12,6	13,2	14,3
		13,8	14,1	13,2	12,8	13,6	13,7	13,7	14,2	13,8	13,5	14,1	14,2	13,6	14,5
		14,0	13,7			14,1	14,3			14,1	13,5	14,5	14,6	13,6	14,2
		13,7	14,0			13,0	13,6			13,6	13,7	13,9	14,3	14,0	14,5
<b>Mešanica C</b>		d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2
		14,2	14,0	14,1	14,9	14,6	14,7	14,4	14,0	14,2	14,6	13,6	14,2	14,8	15,4
		15,3	14,8	15,3	15,8	14,5	14,7	14,7	14,8	14,2	14,1	15,1	14,8	15,5	15,7
		14,4	15,0			14,6	14,9			14,8	14,9	14,4	14,7	15,4	15,5
		15,8	15,6			14,7	15,0			14,7	14,9	15,3	15,8	15,5	15,7



Preglednica 15: Povprečni razlezi betonskih mešanic

**POVPREČEN RAZLEZ BETONSKE MEŠANICE**

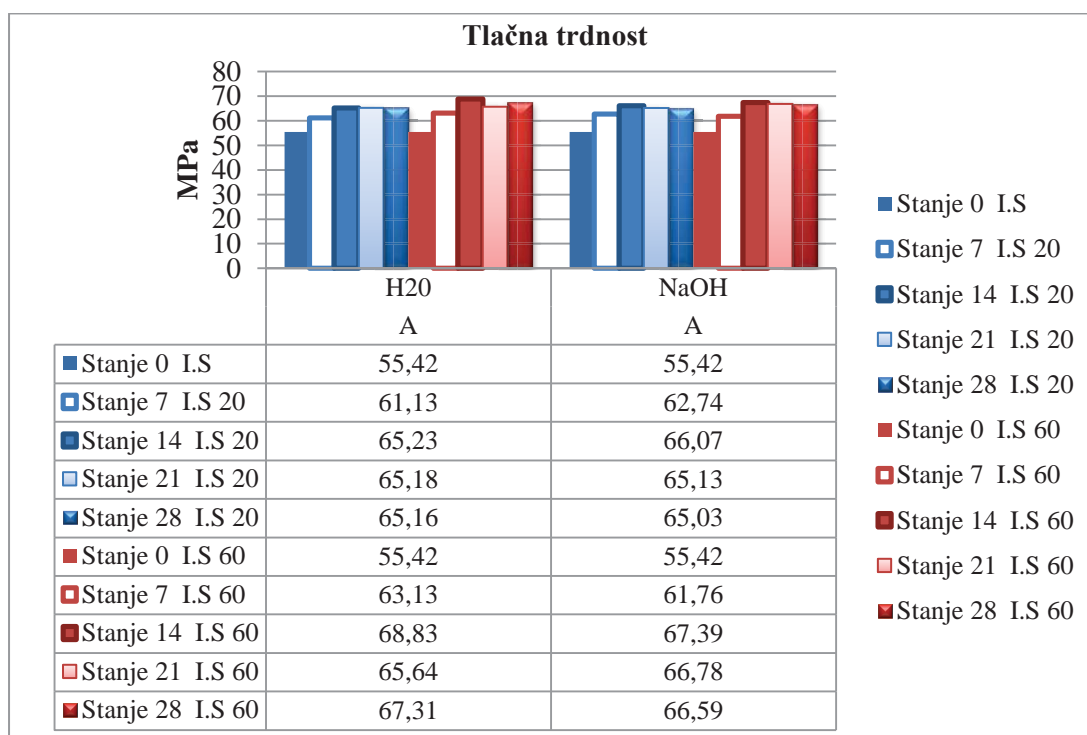
<b>Mešanica A</b>	d1	d2
	13,88	14,10
<b>Mešanica B</b>	d1	d2
	13,65	13,81
<b>Mešanica C</b>	d1	d2
	14,75	14,94

## 4 REZULTATI TLAČNIH TRDNOSTI

### 4.1 Mešanica z agregatom A

#### 4.1.1 Serija I

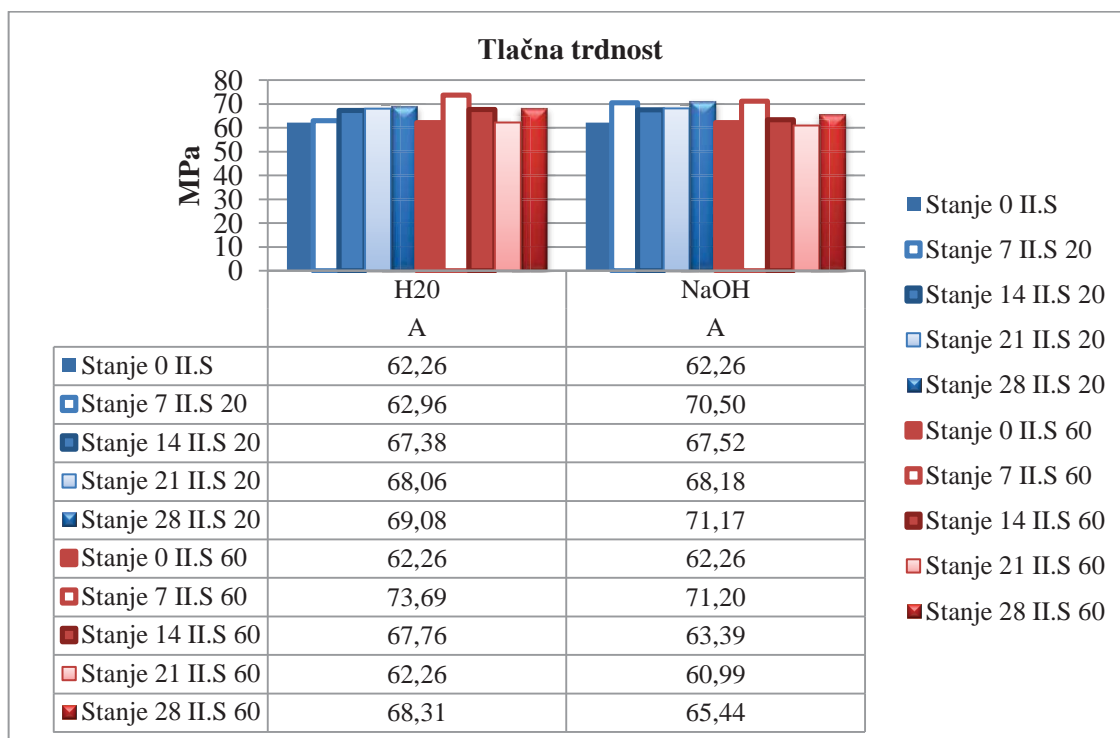
Na grafikonu 2 so predstavljeni rezultati tlačnih preiskav mešanice, pri kateri smo uporabili agregat A in sicer za serijo I. Najprej opazimo visoko tlačno trdnost pri starosti 7 dni (stanje 0), preden smo prizme izpostavili pospešenemu staranju. Pri prvi seriji in stanju 0 (starost 7 dni) dosežemo tlačno trdnost 55 MPa, kar je približno 84 % končne tlačne trdnosti. Razlog za to lahko pripišemo izbranemu cementu, ki ga uvrščamo med hitro vezoče cemente z oznako CEM I 42,5 R. Potem, ko smo prizme izpostavili različnim pogojem okolja, smo najvišje trdnosti dosegli vedno po 14 dneh v vodi ali NaOH raztopini pri 20 °C ali 60 °C. Z nadaljnjo izpostavitvijo prizem izbranim pogojem okolja tlačna trdnost rahlo pada ali ostaja približno enaka. Glede na to, da so standardni odkloni rezultatov preiskav pri trajanju staranja 14, 21 in 28 dni podobni (Priloga C), lahko rečemo, da raztros rezultatov nima vpliva na rezultat. Pri vzorcih opazimo zelo majhna odstopanja rezultatov med posameznimi pogoji okolja in enakem trajanju staranja, in sicer povprečno le za 2,1 %, če upoštevamo vse pogoje staranja. Največjo razliko dobimo med 20 °C in 60 °C v vodi pri trajanju staranja 14 dni, in sicer 5,5 % razliko v tlačni trdnosti (Priloga A.3).



Grafikon 2: Tedenske tlačne trdnosti I. serije

#### 4.1.2 Serija II

Pri seriji II za mešanice, pri katerih je bil kot agregat uporabljen apnenec (A), začetne vrednosti pri stanju 0, ki predstavljajo tlačno trdnost 28 dni starih vzorcev, znašajo nekaj več kot 60 MPa. Glede na začetno tlačno trdnost se trdnost najbolj poveča po 7 dneh pospešenega staranja v raztopini NaOH pri 20 °C ter v obeh raztopinah pri 60 °C (grafikon 3). Povprečna porast trdnosti vzorcev na 7. dan staranja je 15 %, nato trdnost rahlo pade ali ostane enaka vse do 21. dne staranja. Trdnost ponovno rahlo naraste 28. dan staranja, in sicer za dobrih 7 % (Priloga B.1). Odstopanje od zgornjega obnašanja je značilno za vzorce »A\_H2O SII\_20«, kjer trdnost s staranjem ves čas rahlo narašča. Če primerjamo različna temperaturna okolja, pride do največjega odstopanja na vzorcu »A\_H2O\_7 SII«, kjer je tlačna trdnost pri 60 °C višja za 17 % glede na trdnost pri 20 °C, pri preostalih meritvah pa je razlika v trdnosti med temperaturama od 1 do 10 % (Priloga B.2).



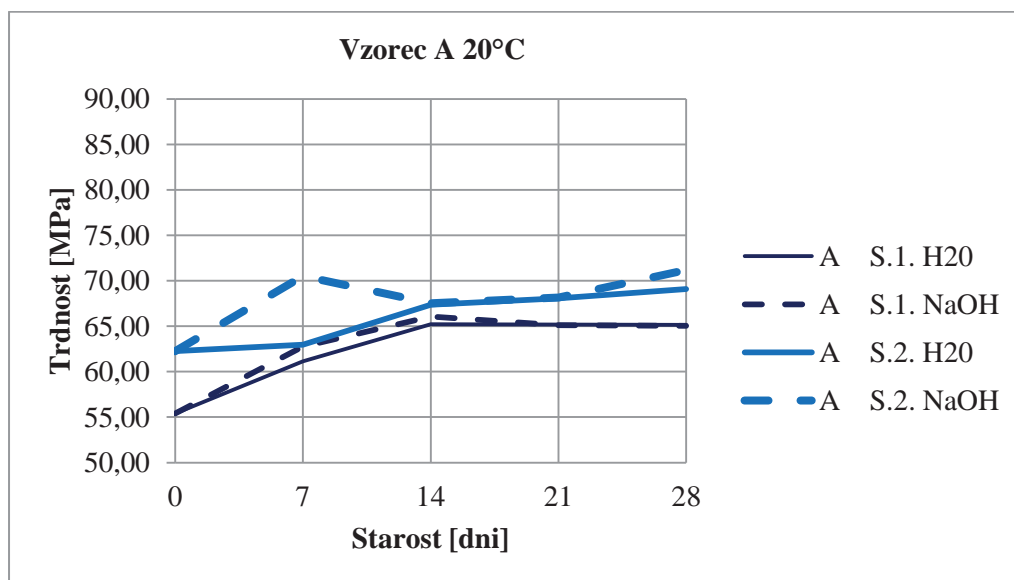
Grafikon 3: Tedenske tlačne trdnosti II. serije

### 4.1.3 Diskusija

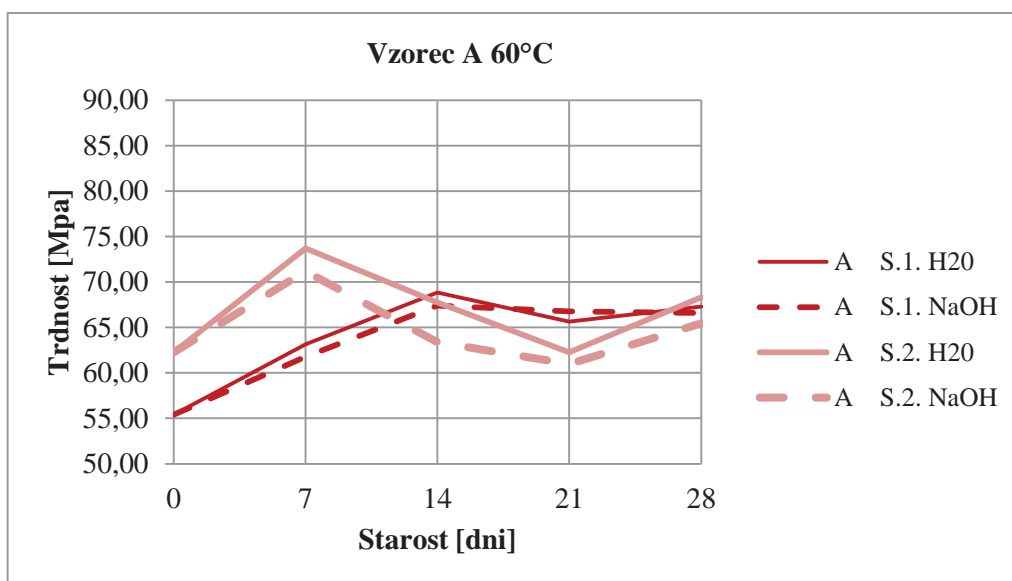
Za vzorce serije I pri 20 °C tako v NaOH, kot v vodi lahko rečemo, da so trdnosti enake in naraščajo do 14. dne staranja, nakar začnejo padati ali ostanejo enake do konca preizkušanja (Grafikon 4). Vseeno pa se vrednosti med seboj ne razlikujejo veliko, v povprečju le za 1,13 % (Priloga A.4). Če pogledamo trdnosti prizem serije II v NaOH in vodi, lahko rečemo, da trdnost v splošnem vseskozi narašča. Izjemo pri 20 °C predstavlja vzorec »A\_NaOH\_7 SII\_20«, kjer je trdnost pri staranju 14 in 21 dni manjša od trdnosti pri 7 in 28 dni (Priloga B.3). Opisan odziv pripisujemo vplivu NaOH na hidratacijo cementa.

Serijska I v okolju 60 °C predstavlja enako zgodbo kakor serija I pri 20 °C (Grafikon 5). V seriji II imajo vzorci na 7. dan staranja visok porast trdnosti, le da se tukaj trdnost ne poviša le v NaOH, temveč tudi v vodi. Prizma v vodi ima zelo majhen standardni odklon. Prizma v NaOH pa ima standardni odklon nekoliko višji (Priloga D), vendar bi se ob manjšem standardnem odklonu trdnosti bolj približale. Razlog za porast trdnosti na 7. dan v NaOH je omenjen v prejšnjem odstavku. Porast trdnosti v vodi pa bi pripisali višji temperaturi okolja. Padca trdnosti v vodi in NaOH vzorca »B\_21 SII\_60« ne moremo pripisati raztrosu rezultatov (Grafikon 5), saj sta si standardni deviaciji podobni (Priloga D).

Zaradi predhodnega negovanja serije II v pitni vodi so začetne trdnosti prizem, starane v vodi in NaOH, višje in po navadi ostanejo višje vse do konca meritev.



Grafikon 4: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 20 °C



Grafikon 5: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 60 °C

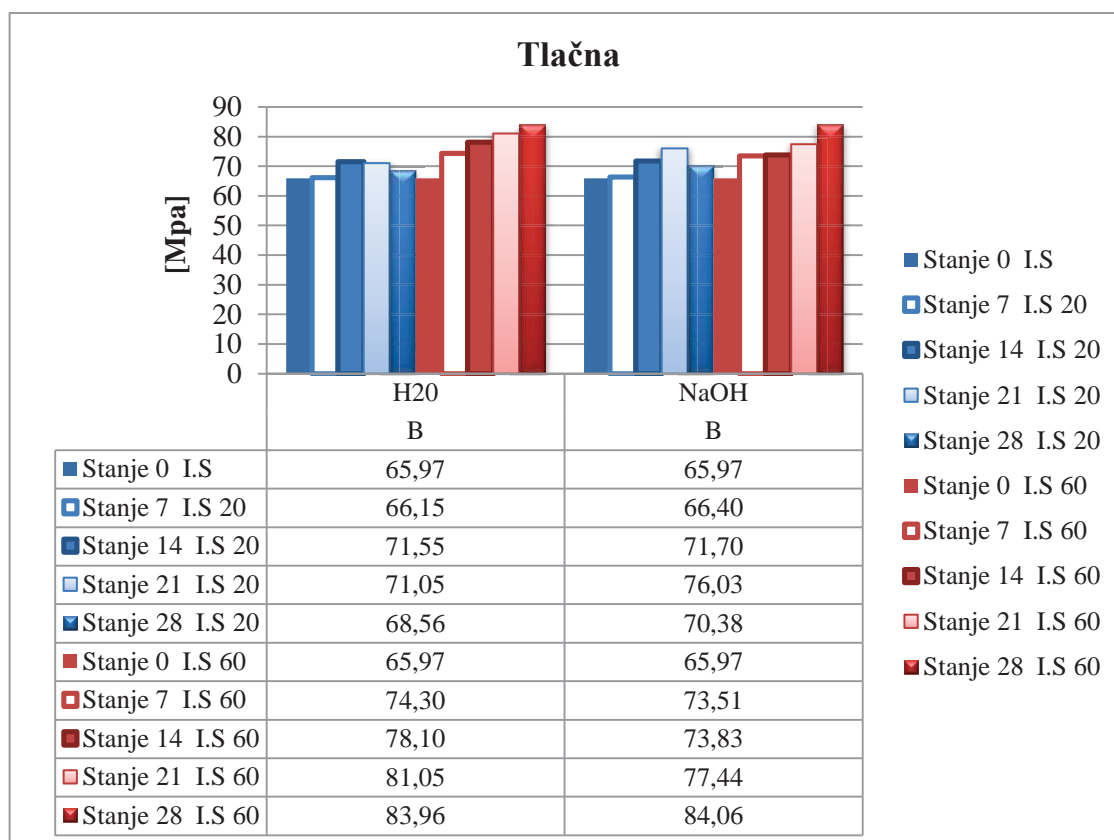
## 4.2 Mešanica agregata B

### 4.2.1 Serija I

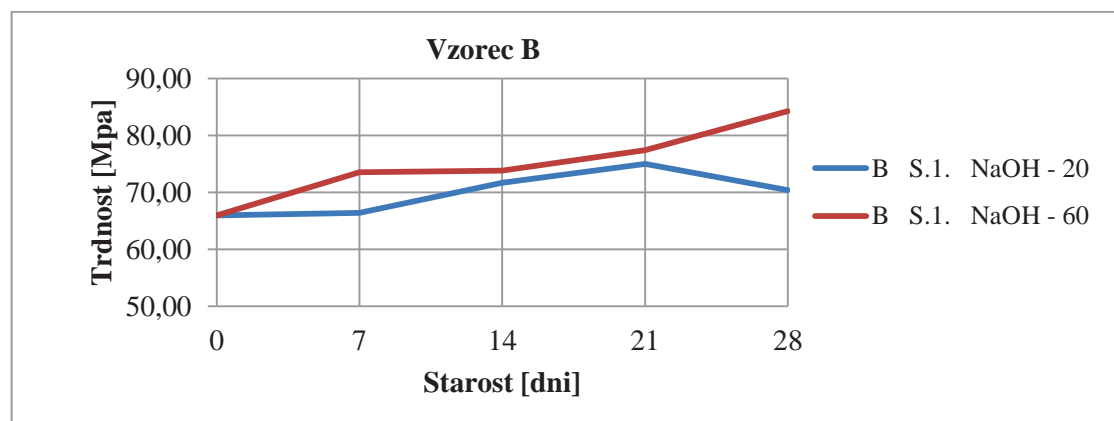
Na grafikonu 6 so predstavljeni vzorci prve serije v različnih okoljskih pogojih. Vzorec B\_H2O SI\_20 ohranja tlačno trdnost skozi celotno obdobje, v povprečju le-ta znaša 68,66 MP, razmeroma majhne razlike trdnosti tekom staranja nastanejo zaradi raztrosa rezultatov. Pri vzorcu B\_H2O\_SI\_60 pa opazimo rast tlačnih trdnosti tekom preiskave. Tlačna trdnost po 28 dneh v raztopini H2O znaša 83,96 MPa. Vzorca pri 20 in 60 °C, starana v NaOH, se obnašata podobno kakor vzorec v vodi pri 60 °C. Vzorcju »B\_NaOH SI\_20« trdnost postopoma narašča do 21. dne, nato se trdnost vzorca na 28. dan zniža. Omeniti je potrebno, da so standardni odkloni do 14. dne nizki, standardni odkloni zadnjih dveh preiskav pa dosežejo vrednost do 4,67 MPa, kar zelo poveča raztros rezultatov (Priloga C). Kot je omenjeno zgoraj, se vzorec »B\_NaOH SI\_60« obnaša enako kot prizme v vodi pri 60 °C. O raztrosu podatkov prav tako ne moremo govoriti, saj vse vrednosti znašajo okoli 1,7 MPa (Priloga C).

Kot zanimivo primerjavo med 20 °C, »na grafikonu 7 označen z modro«, in 60 °C, »na grafikonu 7 označen z rdečo«, bi lahko omenili vzorca »B\_NaOH SI«, kjer sta si grafa trdnosti skozi celoten potek raziskav zrcalna. Brez težav rečemo, da trdnost obeh vzorcev vseskozi narašča, z izjemo »B\_NaOH\_28 SI\_20«, kjer trdnost pade verjetno zaradi raztrosa rezultatov, saj standardni odklon doseže vrednost 4,67 MPa.





Grafikon 6: Tedenske tlačne trdnosti I. serije

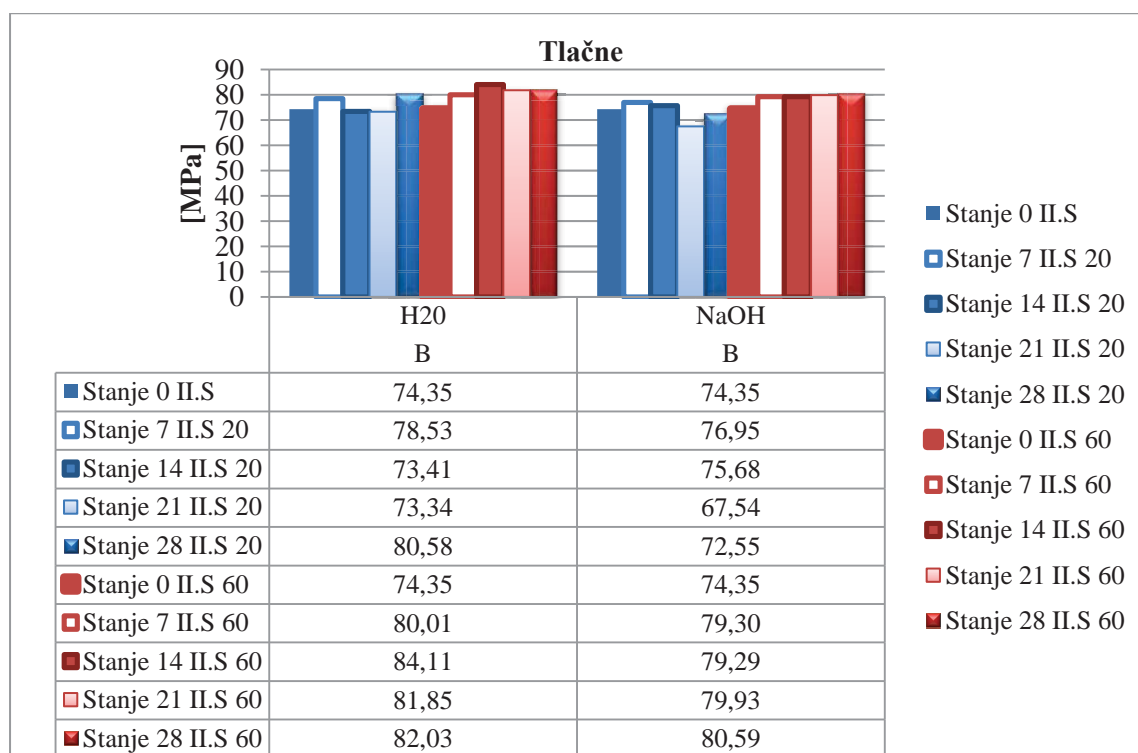


Grafikon 7: Tlačne trdnosti vzorca B v NaOH pri 20 °C (modro) in pri 60 °C (rdeče)

#### 4.2.2 Serija II

Grafikon 8 prikazuje rezultate serije II mešanice z agregatom B. Iz rezultatov je razvidno, da je hidratacija cementa bolj ali manj končana že za serijo 0, to je pri starosti 28 dni, saj med rezultati tlačne trdnosti ni tako velikih razlik, kot pri seriji I. Pri vzorcu »B\_H2O SII\_20« znaša povprečna tlačna trdnost 76,04 MPa, saj se vrednosti gibljejo med 74,35 MPa pri stanju 0 in 80,58 MPa pri stanju 28 dni. Prav tako ne moremo govoriti o velikem raztrosu rezultatov, saj so standardne deviacije majhne in se v vseh primerih gibljejo okoli 1,7 MPa (Priloga D). Povprečna trdnost istega vzorca pri 60 °C je nekoliko višja in znaša 80,47 MPa. Standardni odklon je nekoliko višji le na 14. dan, pri katerem je tudi trdnost nekoliko višja.

Raztros rezultatov opazimo pri vzorcu »B\_NaOH SII\_20«, kot pade trdnosti na 21. in 28. dan staranja. Tukaj standardna deviacija doseže vrednost 3,99 MPa. V primeru, da upoštevamo samo prve tri meritve trdnosti, dobimo povprečno vrednost 75,66 MPa, v nasprotnem primeru pa vrednost pade na 73,41 MPa. Iz priloge D je razvidna edina posebnost vzorca v NaOH pri 60 °C, ki ima visoko standardno deviacijo na zadnji dan merjenja. Vendar se povprečna trdnost z vrednostjo 78,69 MPa ne bi spremenila (Priloga D).



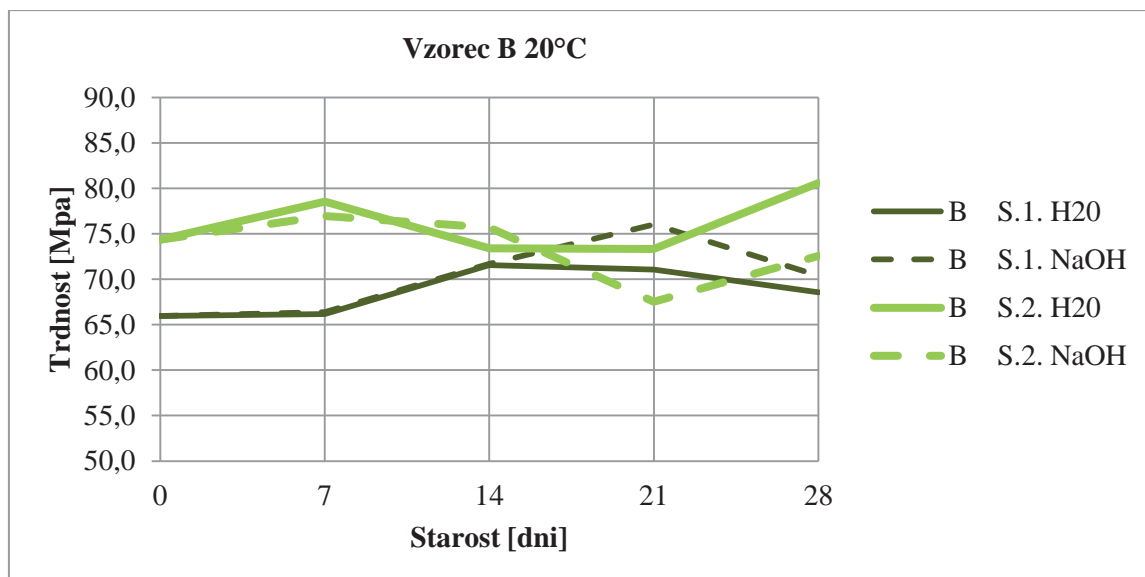
Grafikon 8: Tedenske tlačne trdnosti II. serije

### 4.2.3 Diskusija

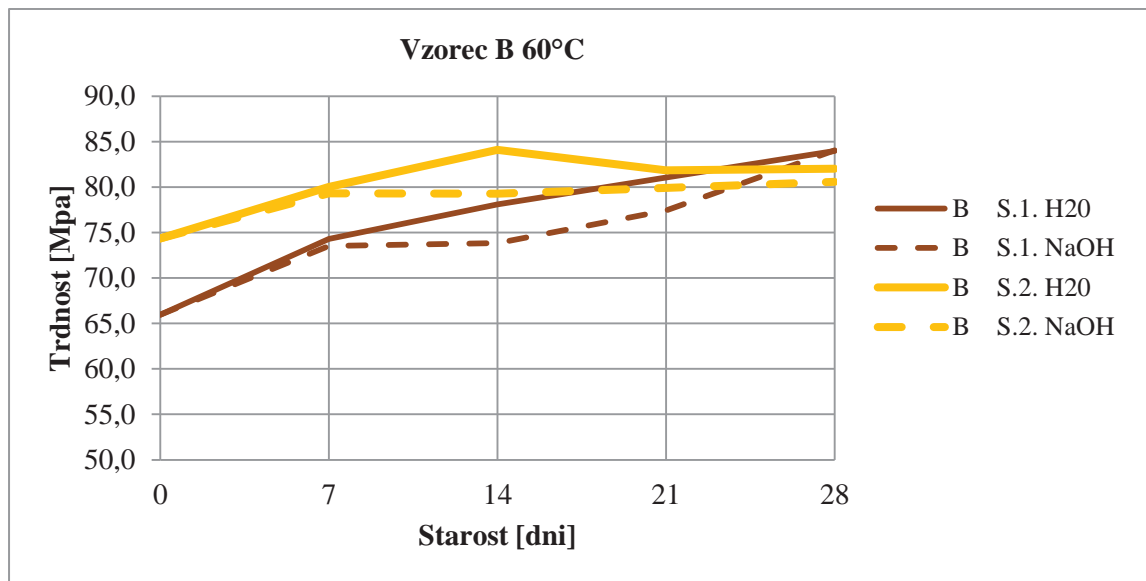
Pri seriji I je razvidno, da se tlačna trdnost očitno poveča v okolju s temperaturo 60 °C (Grafikon 10), prav tako se postopoma zvišuje trdnost vzorca v NaOH pri 20 °C do 21. dne, padec trdnosti 28. dne je razložen v poglavju 4.2.1. Prav tako je iz grafikona 9 in 10 razvidno ujemanje trdnosti v vodi in v NaOH v obeh temperaturnih okoljih. Če primerjamo okolje 20 °C in 60 °C, je dobro razviden porast trdnosti v vodi in NaOH pri 60 °C, kar verjetno potrjuje vpliv alkalno-agregatne reakcije na mehanske lastnosti vzorcev. Povprečna razlika v trdnosti na 7. dan znaša 11 % (Priloga A.3).

Vzorec »B\_NaOH\_21 SII\_20« izkazuje padec trdnosti za 8,14 MPa (Grafikon 9). Ima nekoliko višji raztros, vendar pa je najvišji raztros rezultatov izmerjen zadnji dan (Priloga D). Ob pogledu na standardne deviacije in ujemanje trdnosti prizem v NaOH in v vodi v začetnem delu lahko rečemo, da se trdnosti ujemajo skozi celotno preizkušanje. Opazili smo višjo povprečno tlačno trdnost vzorcev v vodi pri 60 °C, glede na vrednosti pri 20 °C, in sicer za 3 MPa, kar je drugače, kot pri agregatu A, kjer na povišanje trdnosti ni vplivala le temperatura, temveč tudi NaOH (Grafikon 4). Pozabiti pa ne smemo, da ACR v betonu z apnencem ni bila detektirana.

Približna razlika v trdnosti med NaOH in vodo v obeh temperaturnih okoljih znaša 2 % za serijo I (Priloga A.4) in 3,28 % za serijo II (Priloga B.3).



Grafikon 9: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 20 °C



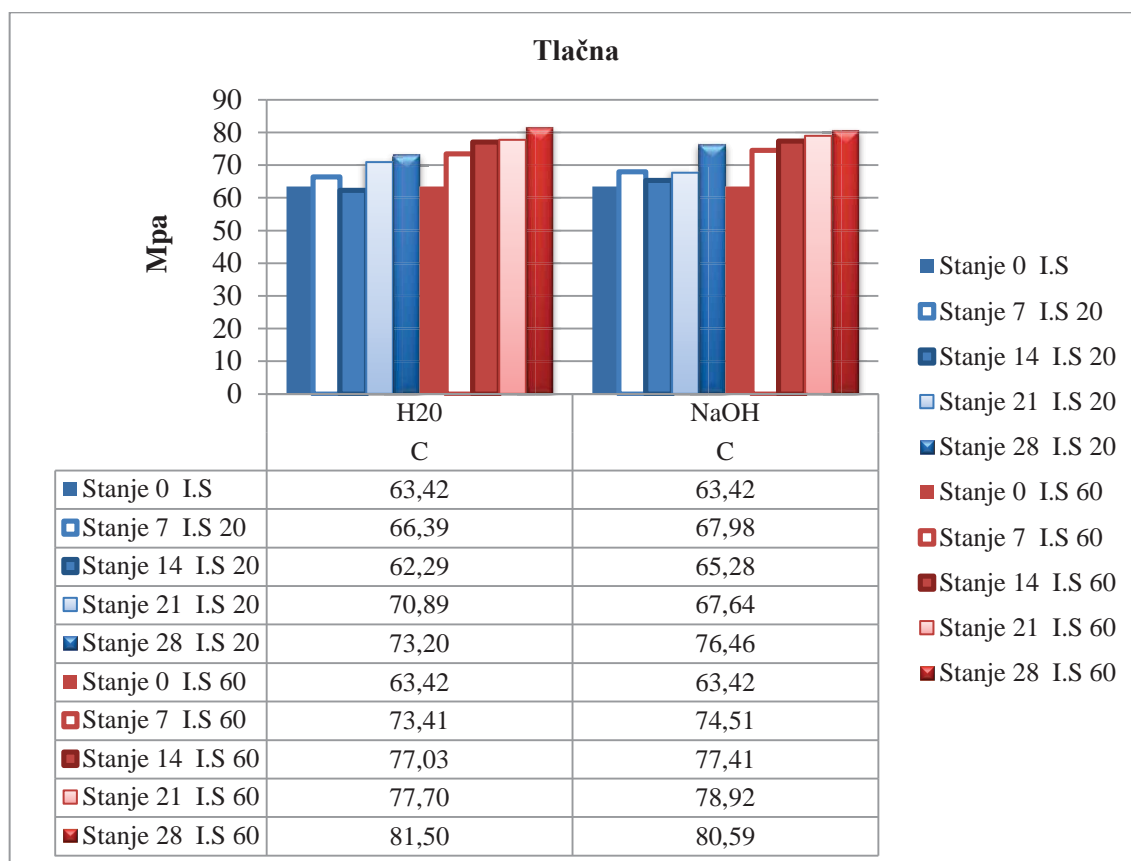
Grafikon 10: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 60 °C

### 4.3 Mešanica agregata C

#### 4.3.1 Serija I

Za vzorec »C\_H2O SI\_20« lahko rečemo, da trdnost vseskozi narašča, z izjemo prizme stanja 14, kjer trdnost upade (Grafikon 11). Vzorcem v NaOH pri 20 °C trdnost rahlo niha in prav tako smo opazili padec trdnosti 14. Dan staranja. Če pogledamo rezultate pri 20 °C do 21. dne, se trdnost skorajda ne spremeni. Standardni odkloni stanja 14 obeh vzorcev so razmeroma visoki, vendar pa se ne razlikujejo veliko od preostalih meritev (Priloga C), zato raztros rezultatov tu ni krivec upada trdnosti.

Skozi celotno obdobje meritev prizem pri 60 °C opazimo, da njihova trdnost vseskozi narašča (Grafikon 11), s sunkovitim skokom v prvem tednu. Proti koncu staranja se trdnost zvišuje z manjšim porastom.



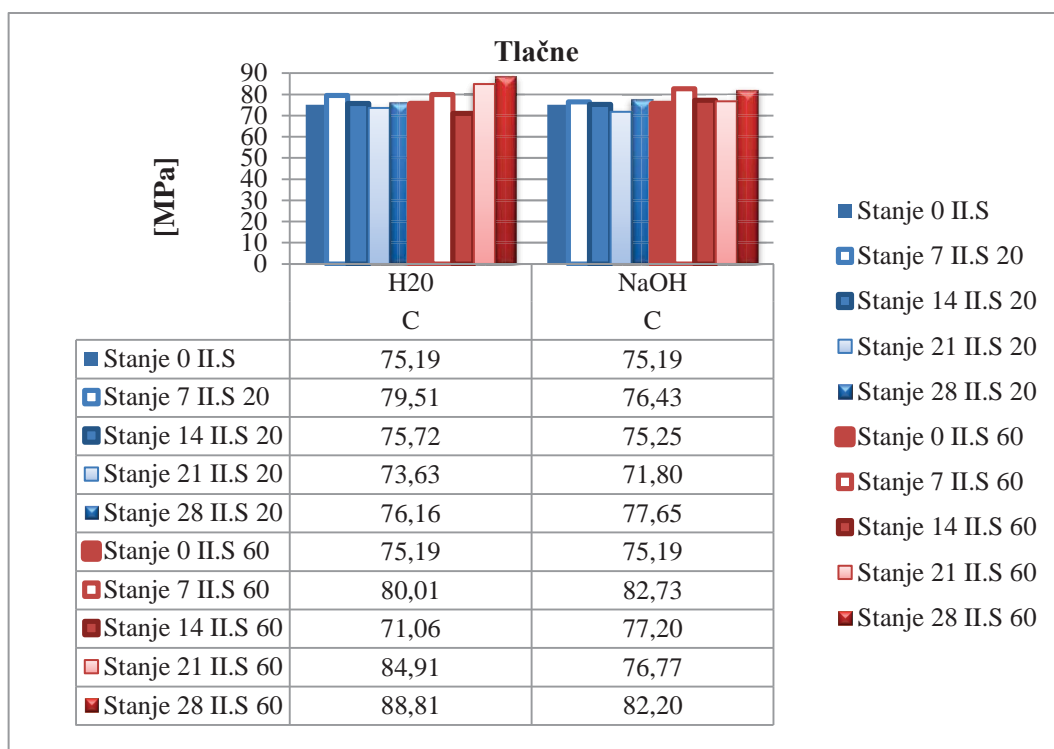
Grafikon 11: Tedenske tlačne trdnosti I. serije

### 4.3.2 Serija II

Ob pogledu na grafikon 12 takoj opazimo, da se trdnosti tekom preiskav bistveno ne spreminjajo, kar je razumljivo, saj se je po 28 dneh hidratacija cementa bolj ali manj končala. Izjemo predstavlja vzorec v vodi pri 60 °C, kateremu trdnost praviloma vseskozi narašča ter doseže končno vrednost 88,8 MPa. Preostalim vzorcem bi lahko pripisali povprečne vrednosti. Povprečna trdnost za »C\_H2O SII\_20« je 76 MPa, vzorec »C\_NH SII\_20« doseže povprečno trdnost 75,26 MPa, vzorec »C\_NH SII\_60« pa 78,8 MPa. Vsi trije vzorci imajo rahel porast trdnosti na 7. dan, nato se trdnosti zmanjšujejo do 21. dne in se 28. dan zopet nekoliko zvišajo. Vendar so te razlike premajhne, da bi jih izpostavljali.

Standardni odkloni rezultatov serije II so razmeroma majhni in se gibljejo okoli vrednosti 2,3 MPa. Precej višji standardni odklon ima vzorec »C\_H2O\_14 SII\_60« (Priloga D). Zaradi zelo podobnih standardnih odklonov ne moremo govoriti o velikem raztrosu rezultatov.

Izpostaviti je potrebno vzorec »C\_H2O SII\_60«, ki ima povsem drugačen potek trdnosti kot preostali primeri. Tukaj je naraščanje oz. potek trdnosti bolj podoben prizmam iz prve serije, staranim v okolju s 60°C. Največjo tlačno trdnost dobimo 28. dan staranja, najmanjšo pa 14. dan staranja. Kot je razvidno iz grafikona 12, trdnost narašča skozi obdobje staranja, vendar na 14. dan staranja trdnost vidno upade. Res, da je raztros tu zelo visok, vendar pa ob pogledu na rezultate tlačnih trdnosti (priloga D) padca trdnosti na 14. dan ne bi preprečili, razlog bi lahko bil tudi v slabši zgoščenosti materiala.



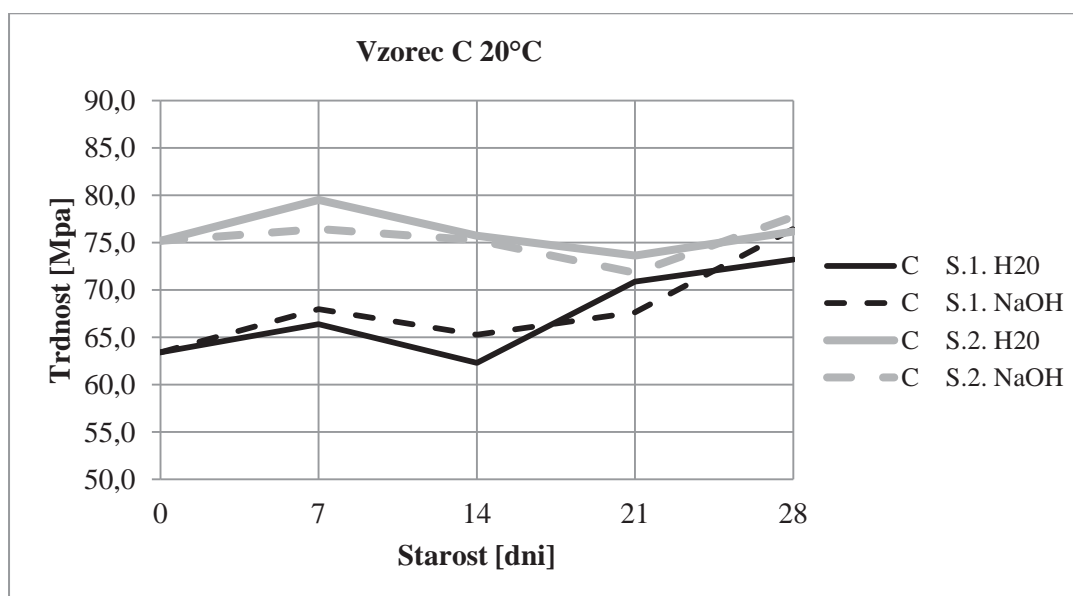
Grafikon 12: Tedenske tlačne trdnosti II. serije

### 4.3.3 Diskusija

Raztros rezultatov ni krivec posameznih zvišanj ali padcev trdnosti, res pa je, da so standardni odkloni razmeroma višji, vendar so višji v vseh primerih. Edino posebnost predstavlja vzorec »C\_H2O\_14 SII\_60«, kjer standardni odklon izstopa, vendar ne vpliva na povprečno trdnost vzorca, kakor je razloženo v tretjem odstavku poglavja 4.3.2.

Pri pregledu serije I in primerjavi trdnosti med 20 in 60 °C lahko rečemo, da so razlike v trdnostih pri vodi in NaOH zelo podobna. V obeh primerih so trdnosti prizem pri 60 °C povprečno višje za 10,4 % (Priloga A.3). Prav tako sta si vzorca serije II v NaOH zelo podobna oz. si grafa skozi obdobje meritev približno vzporedno sledita, le da so trdnosti v okolju s 60 °C vseskozi višje (Grafikon 12) za povprečno 4,7 %.

Primerjali smo rezultate pri 20 °C. Najprej opazimo, da se trdnosti prizem v vodi in NaOH, serije I in II, ne razlikujejo veliko. Vzorec »C\_H2O\_7 SII\_20« (Grafikon 13) ima najvišjo tlačno trdnost 7. dan, ko le-ta znaša 79,51 MPa (Priloga B.1). Najvišjo trdnost v NaOH pri enaki temperaturi okolja ima vzorec na zadnji dan druge serije, in sicer 77,65 MPa (Priloga B.1). Opazili smo, da NaOH ni vplival na trdnost prizem serije I, saj vzorec »C\_NH SI\_20« konča s trdnostjo podobne vrednosti, kakor je začetba trdnost v drugi seriji, čeprav je bila druga serija predhodno negovana v pitni vodi 28 dni. Raztros rezultatov ni krivec za padec trdnosti vzorca »C\_H2O\_14 SI\_20«, kakor je že razloženo v poglavju 4.3.1.



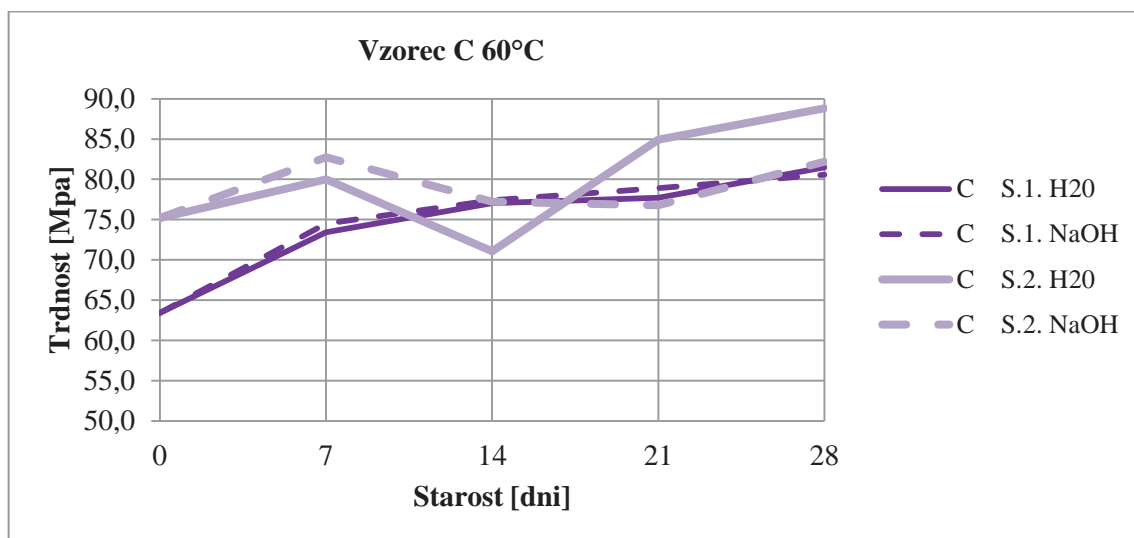
Grafikon 13: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 20 °C



Pri primerjavi vzorcev, staranih v okolju s 60 °C (Grafikon 14), lahko rečemo, da si je prva serija vzorcev, staranih v vodi in NaOH, skoraj skozi celotno obdobje preiskav enaka, le z rahlo višjimi trdnostmi vzorcev, staranih v NaOH (Priloga A.1).

Najvišja tlačna trdnost pripada vzorcu »C\_H2O\_28 SII\_60« in znaša 88,8 MPa, kar je za 8 MPa več od najvišje trdnosti pri 20 °C (Priloga B.1). Omeniti moramo 14. dan staranja omenjenega vzorca, saj njegova tlačna trdnost pade pod vrednost serije I, padec trdnosti znaša 9 MPa, vendar se trdnost zelo zviša že naslednji teden.

Nekoliko bolj razgiban graf pripada vzorcem druge serije. Ponovno se pojavi porast trdnosti prizme »C\_NaOH SII\_60« na sedmi dan, nato se tlačne trdnosti znižajo in umirijo, pojav pripišemo vplivu NaOH in povišane temperature na hidratacijo cementa. Prizma v NaOH raztopini druge serije pri 60 °C ima prav tako zelo podobno strukturo trdnosti kot vzorec »C\_H2O SII\_20« (Grafikon 13). Tukaj je prav tako trdnost na 7. dan najvišja, nato sledi padec trdnosti vse do 21. dne, v zadnjem tednu pa se trdnost prizme zopet poveča.

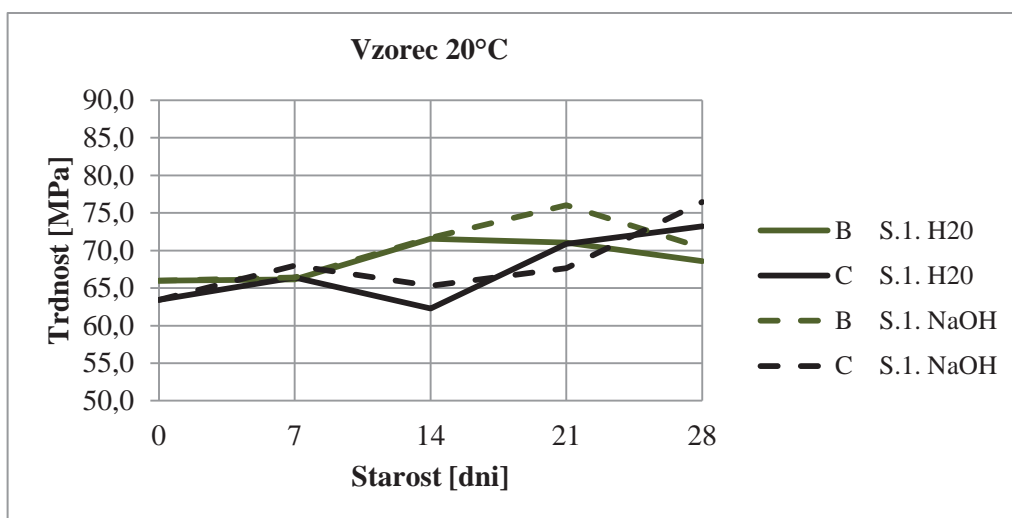


Grafikon 14: Primerjava tlačnih trdnosti prizem v vodi in NaOH pri 60 °C

#### 4.4 Primerjava agregatov B in C

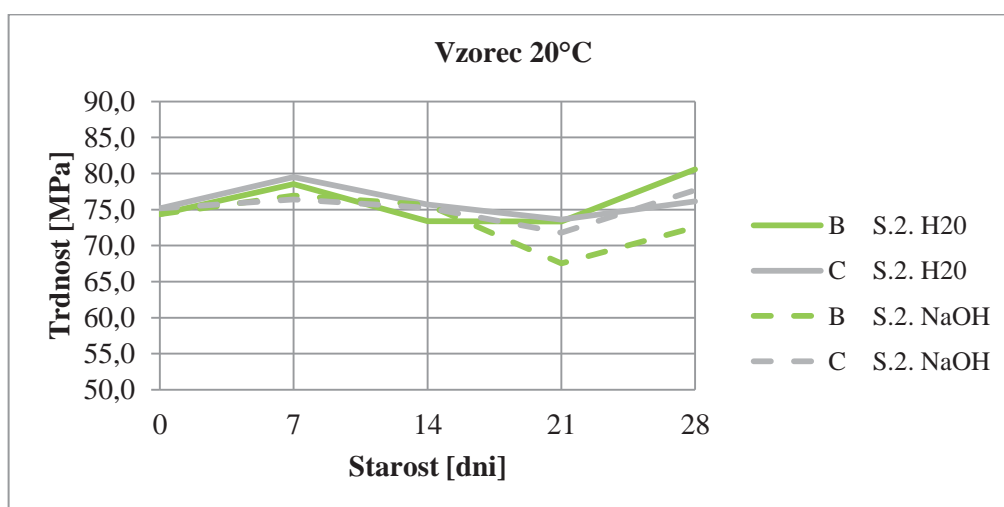
Iz spodnjih grafikonov 15, 16, 17 in 18 takoj opazimo ujemanje rezultatov za betone z agregatoma B in C v različnih okoljih. Še posebej do majhnih razlik prihaja v okolju serije I s 60 °C. Ujemanje trdnosti betonov iz obeh dolomitov je pozitivno, saj iz tega sklepamo, da je potek ACR enak v betonih z obravnavanima dolomitoma. Tekom primerjave so bila odkrita le tri odstopanja. Kot prvo opazimo manjša odstopanja tlačnih trdnosti I. serije pri 20 °C za agregata B in C, in sicer na 14. in 21. dan (Grafikon 15). Obe odstopanji sta nastali zaradi višjih standardnih odklonov oz. večjega raztrosa rezultatov (Priloga C). Drugo odstopanje smo opazili pri vzorcu »B\_NaOH\_21 SII\_20« (Grafikon 16), vendar pa padec trdnosti na ta dan ne moremo pripisati raztosu rezultatov, saj imamo nizek standardni odklon (Priloga D). In še zadnja posebnost na grafikonu 18 od 14. do 28. dne staranja vzorca »C\_H2O SII\_20«, katerega pojav padca trdnosti 14. dan staranja smo pojasnili v poglavju 4.3.2.

Razlike med agregatoma B in C so najbolj razvidne iz diagramov tlačna trdnost-čas. Na grafikonu 15 smo primerjali prizme, izpostavljene 20 °C, in ugotovili, da so razlike v trdnosti prizem v vodi in NaOH v prvi seriji preizkušancev mnogo bolj izrazite. Vendar pa vseeno obstaja podobnost diagramov trdnosti skozi čas. V obeh primerih je začetna trdnost nekoliko višja pri agregatu B, nato se 7. dan vlogi zamenjata, kjer je trdnost prizem agregata C nekoliko višja. Na 14. dan pride do največje razlike v trdnosti, in sicer se prizmam agregata C trdnost zniža, medtem ko pri agregatu B trdnost še vedno narašča. Tukaj vzorec »B\_H2O\_14 SI\_20« doseže svojo najvišjo vrednost, vzorec C pa najnižjo vrednost. Proti koncu preizkušanja se vzorcu C trdnost vseskozi zvišuje in je tako v vodi kot tudi v NaOH na zadnji dan višja kot trdnost prizem z agregatom B. Trdnost prizem agregata B v NaOH narašča od začetka do 21. dne, kjer doseže svojo najvišjo trdnost. Po 28 dneh so trdnosti preizkušancev približno enake, okoli 72 MPa.



Grafikon 15: Primerjava tlačnih trdnosti prizem agregata B in C, I. serije, pri 20 °C

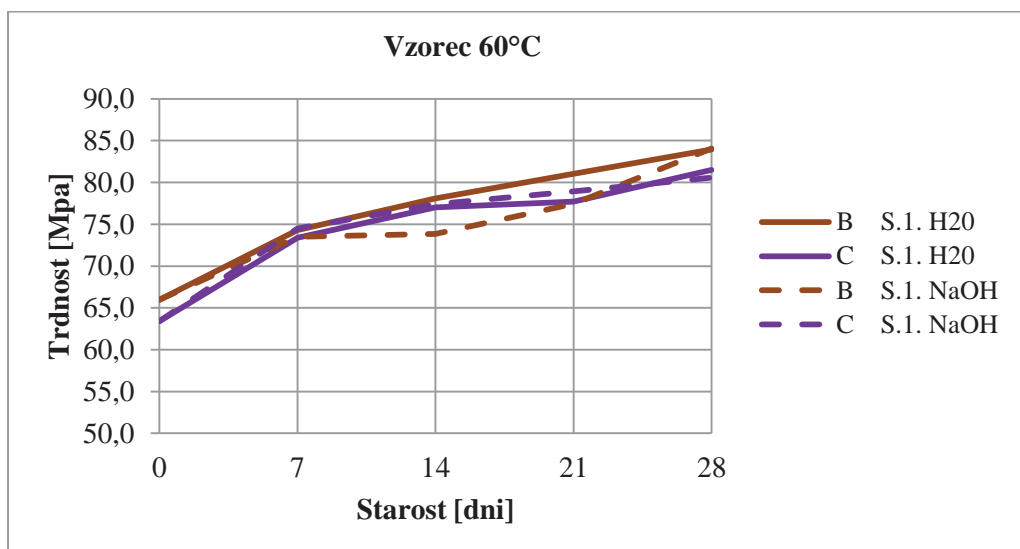
Kakor je predstavljeno na grafikonu 16 se druga serija prizem z agregatom C izpostavljenim 20 °C ponaša z višjo trdnostjo, vendar je razlika skoraj minimalna in znaša 0,84 MPa (Priloga B.1). Trdnosti obeh prizem obeh agregatov naraščata do 7. dne. Na ta dan je trdnost vzorca »B\_NaOH SII\_20« najvišja. Le-ta predstavlja za 4,4 MPa višjo trdnost kot zadnji dan merjenja. Omenjeni vzorec se prav tako konča s 5,1 MPa nižjo trdnostjo kot vzorec »C\_NaOH SII\_20« (Priloga B.1). Prav tako se pri obeh vzorcih druge serije opazi padanje trdnosti do 21. dne. Od tu se v vseh primerih druge serije trdnost na zadnji dan zviša. Ednini predstavnik z višjo tlačno trdnostjo pri agregatu B na zadnji dan preizkušanj je prizma druge serije, starana v vodi pri 20 °C. Prav ta prizma predstavlja najvišjo tlačno trdnost druge serije pri 20 °C (Grafikon 16).



Grafikon 16: Primerjava tlačnih trdnosti prizem agregata B in C, II. serije, pri 20 °C

Pri primerjavi vzorcev, ki so bili izpostavljeni 60 °C, smo prišli do naslednjih ugotovitev. Prva serija (Grafikon 17) se začne višjo trdnostjo prizem z agregatom B, nato pa se tako v vodi kot tudi v NaOH trdnost vseskozi zvišuje. Predstavnik prve serije v vodi se vse do 14. dne razlikujeta le do 1,0 MPa (Priloga A.1), nato do konca preizkušanja prve serije prizme agregata C počasi pridobivajo na trdnosti, medtem ko se trdnosti prizem z agregatom B zvišujejo skoraj konstantno in do konca presežejo trdnost prizem z agregatom C za 5,8 MPa (Priloga A.1). V vseh primerih, razen prve serije, starane v vodi, se trdnosti prizem med agregatoma s časom prepletajo.

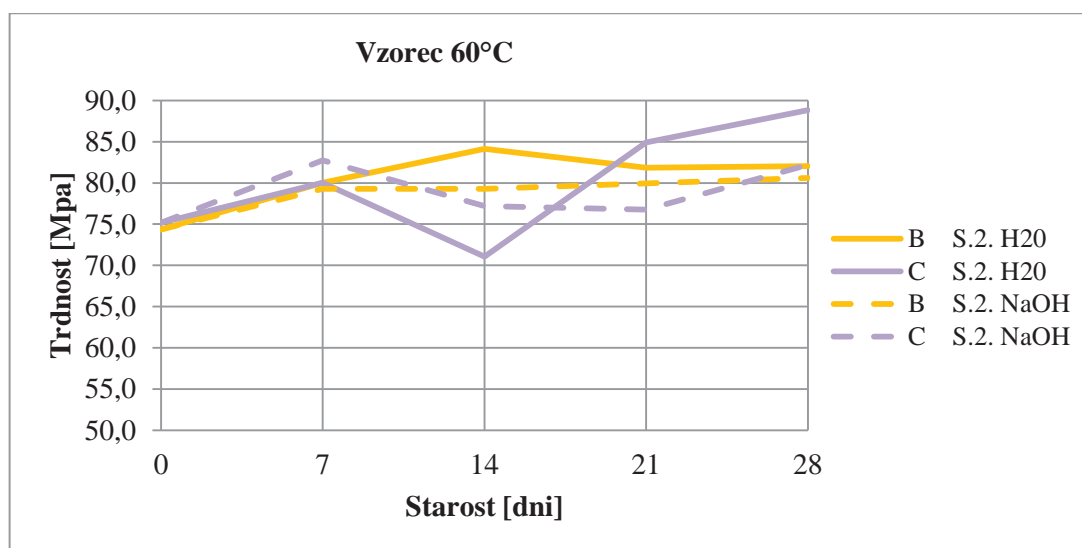
Prizme agregata C, starane v NaOH, prve serije presežejo trdnost prizem agregata B že na 7. dan preizkušanja (Grafikon 17), nato se njihova trdnost povečuje vse do zadnjega dne, ko znaša 80,6 MPa (Priloga A.1). Vendar pa to ni dovolj, saj kljub nižji trdnosti prizem agregata B vse od 7. do 21 dne, trdnost prizem z agregatom B v NaOH do 28. dneva naraste na 84,3 MPa (Priloga A.1) in predstavlja najvišjo trdnost prve serije.



Grafikon 17: Primerjava tlačnih trdnosti prizem agregata B in C, I. serije, pri 60 °C

Pri pregledu druge serije na grafikonu 18 bi lahko rekli, da z izjemo preizkušanca, vzorca »C\_H2O\_14 SII\_60«, opazimo lep potek naraščanja trdnosti prizme agregata C v vodi, vendar pa se trdnost drastično zniža na 14. dan in s tem pade pod nivo trdnosti prizme agregata B. Tu je edina točka druge serije, starane v vodi, kjer je trdnost prizme z agregatom B nižja, in sicer se zniža celo za 10,9 MPa (Priloga B.1). Tako je celo nižja od začetne vrednosti druge serije. Vendarle se lahko, kljub najnižji vrednosti na 14. dan, preizkušavec pohvali z najvišjo trdnostjo med vsemi vzorci in celotnim potekom raziskave na 28. dan druge serije, kjer je trdnost narasla na 87,6 MPa. Najvišjo vrednost trdnosti prizme agregata B pa predstavlja prav na 14. dan merjenja trdnost prizem v vodi, ki znaša 84,1 MPa. Od tu naprej trdnost pade na 82 MPa na 28. dan staranja (Priloga B.1).

Druga serija v NaOH raztopini se prav tako začne višjo trdnostjo prizme agregata C (Grafikon 18) 7. dan staranja, vendar ostane tako le do naslednjega merjenja po 14. dne. Trdnost ostane nižja vse do 21. dne, medtem ko se trdnost prizem z agregatom B rahlo povečuje. Do 7. dne se trdnost poveča za 5 MPa, v ostalih treh tednih pa prizme agregata B pridobijo le 1,3 MPa in končajo skoraj na isti trdnosti, kot prizme agregata C, ki je le za 0,4 MPa višja na zadnji dan merjenja (razlike med trdnosti razberemo v prilogi B.1).



Grafikon 18: Primerjava tlačnih trdnosti prizem agregata B in C, II. serije, pri 60 °C

## 5 REZULTATI UPOGIBNIH TRDNOSTI

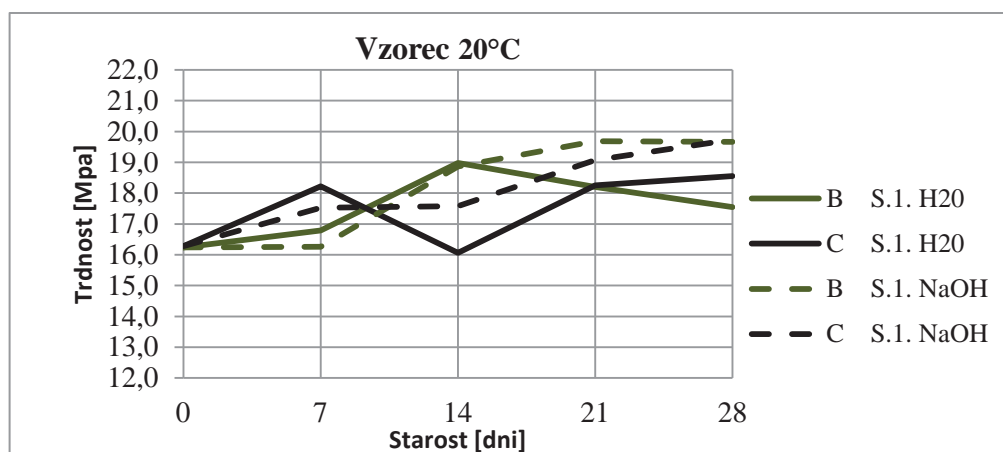
V diplomski nalogi preučujemo vpliv ACR na mehanske lastnosti betona. Študija (Štukovnik, 2014) navaja, da se ACR v betonih z apnenčastim agregatom A ne pojavi, zato rezultatov upogibne trdnosti za beton z agregatom A ne bomo obravnavali. Osredotočili se bomo le na primerjavo rezultatov med betonoma z dolomitoma B in C.

### 5.1 Primerjava agregatov B in C

Na začetku naj omenimo, da so standardne deviacije serije I okolja pri 20 in 60 °C nizke, s povprečno vrednostjo 1,01 MPa. V seriji I ima le vzorec »C\_NaOH\_21 SI\_60« višjo vrednost raztrosa, ki znaša 3,13 MPa (Priloga C). Enak vzorec serije II ima prav tako povišano standardno deviacijo (2,69 MPa), ostali rezultati serije II pa imajo povprečno vrednost standardne deviacije 0,99 MPa (priloga D), ki je prav tako nizka in podobna kot v prvi seriji.

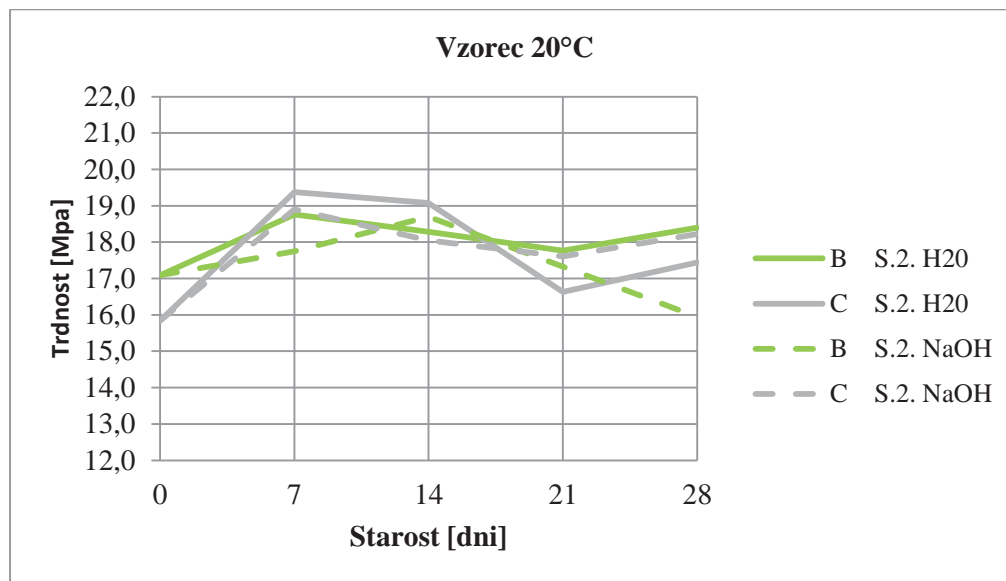
Iz spodnjih grafikonov 19, 20, 21 in 22 takoj opazimo ujemanje rezultatov za agregata B in C v različnih umetnih okoljih pospešenega staranja. Še posebej do majhnih razlik prihaja v okolju s 60 °C. Ujemanje upogibnih trdnosti betonov iz obeh dolomitov kaže na to, da poteka ACR podobno v obeh betonih.

Kakor je omenjeno v prejšnjem odstavku, opazimo na grafikonu 19 ujemanje upogibnih trdnosti vzorcev B in C. Vzorca B in C v NaOH dosežeta po 28 dneh staranja isto upogibno trdnost, medtem ko sta prizmi, starani v vodi, dosegli nekoliko nižjo upogibno trdnost, z določeno razliko med vzorcema. Povprečna razlika med trdnostjo vzorcev v vodi in NaOH znaša 0,5 MPa (Priloga C). Večje odstopanje predstavlja vzorec »C\_H2O\_14 SI\_20«. Tukaj je trdnost vzorca z agregatom C nižja za skoraj 3 MPa, v primerjavi s trdnostjo betona z agregatom B, kar je za upogibno trdnost veliko. Padeč trdnosti ne moremo pripisati raztrosu, saj je standardna deviacija vzorcev B in C na ta dan nizka. Upogibne trdnosti betonov B in C v NaOH se postopoma zvišujejo, medtem ko prizmam v vodi upogibna trdnost niha.



Grafikon 19: Primerjava upogibnih trdnosti prizem z agregatom B in C, I. serije, pri 20 °C

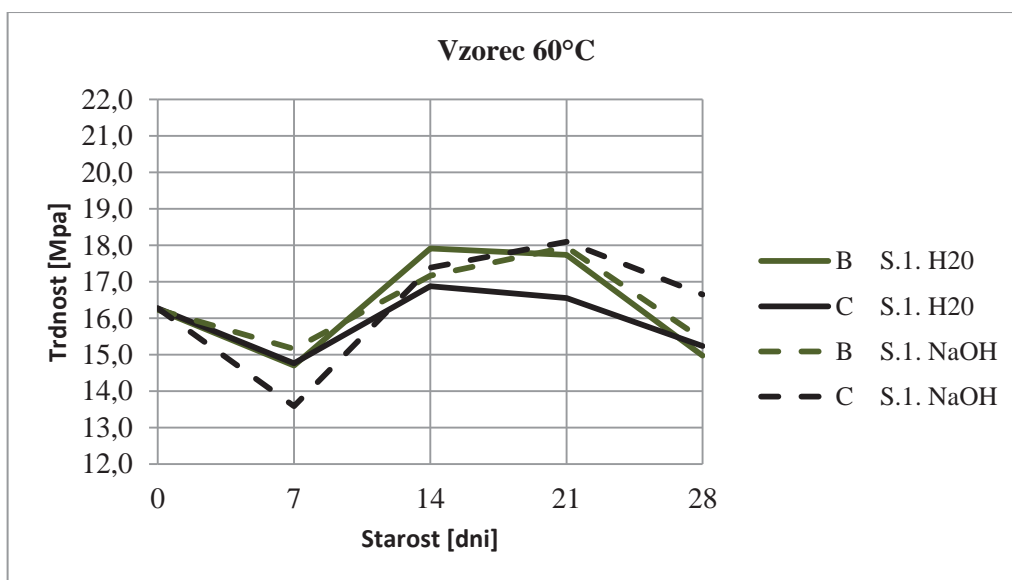
Upogibne trdnosti prizem druge serije pri 20 °C (Grafikon 20) se do 7. dne še zvišujejo, nato se porast trdnosti preneha. Od 7. dne pa vse do 28. dne pospešenega staranja imajo prizme približno enako upogibno trdnost, z nekoliko višjimi vrednostmi od 7. do 14. dne. Povprečna upogibna trdnost vzorcev B in C v vodi znaša 18,14 MPa, medtem ko povprečna vrednost v NaOH znaša 17,81 MPa, pri čemer vzorec »B\_NaOH\_28 SII\_20« zelo zniža povprečno upogibno trdnost, vendar ima nizko standardno deviacijo. Največje odstopanje med vzorcema B in C nastane 7. dan staranja, in sicer med vzorcema »C\_H2O\_7 SII\_20« in »B\_NaOH\_7 SII\_20«, kjer se trdnost razlikuje za 1,6 MPa.



Grafikon 20: Primerjava upogibnih trdnosti prizem z agregatom B in C, II. serije, pri 20 °C



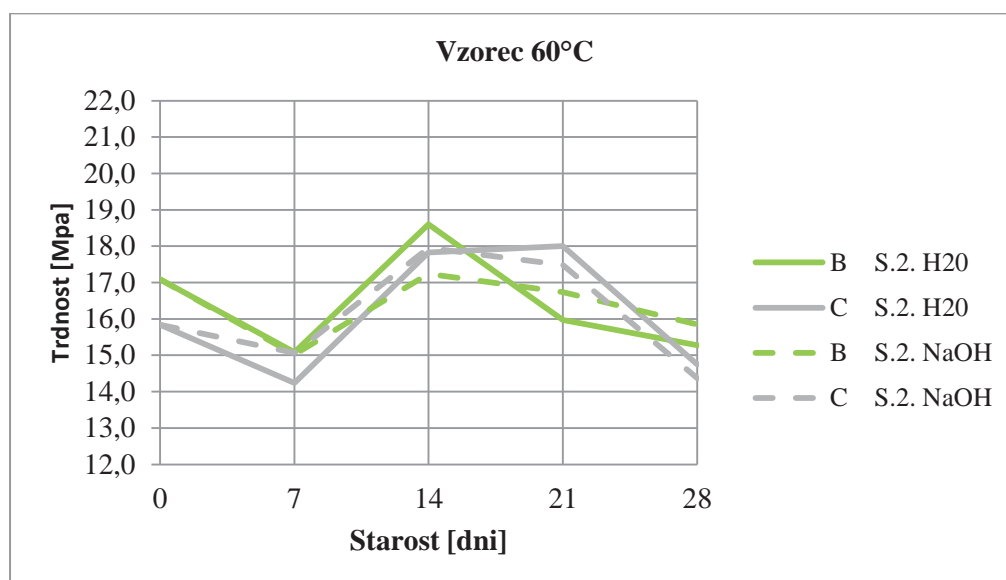
Iz grafikona 21, ki prikazuje rezultate prve serije preizkušancev pri 60 °C, je prav tako razvidno ujemanje rezultatov upogibnih preiskav betonov z agregatom B in C v poljubnem okolju, z dvema manjšima odstopanjima. Prvo je pri vzorcu »C\_NaOH\_7 SI\_60«, kjer se upogibna trdnost še nekoliko bolj zniža kakor v preostalih primerih. Drugo večje odstopanje je pri vzorcu »C\_H2O\_21 SI\_60«. Odstopanja v trdnosti med agregatoma v istem okolju znašata približno 1,3 MPa, kar je relativno malo, zato lahko rečemo, da se betona B in C obnašata približno enako. Standardni odklon in raztros rezultatov nimata vpliva na znižanje trdnosti. Če pogledamo prvo serijo pri 20 °C (Grafikon 19), opazimo, da se upogibne trdnosti do 28. dneva staranja nekoliko zvišajo. V okolju s 60 °C pa je končna trdnost enaka začetni, z vmesnimi nihanji (Grafikon 21). Trdnosti serije I pri 60 °C so nekoliko nižje v primerjavi s tistimi pri 20 °C.



Grafikon 21: Primerjava upogibnih trdnosti prizem agregata B in C, I. serije, pri 60 °C

Res je, da prihaja do najmanjših razlik med vzorcema B in C pri seriji II pri 60 °C (Grafikon 22), vendar imajo ti vzorci najbolj razgibane upogibne trdnosti vse do 28. dneva staranja. Na 7. dan opazimo padec trdnosti za okoli 1,5 MPa, če upoštevamo vse štiri vzorce. Nato se naslednji teden upogibna trdnost zopet dvigne in začne ponovno padati proti koncu meritev. Zanimivo je, da so končne upogibne trdnosti zelo podobne začetnim. Zako lahko rečemo, da se je trdnost skozi obdobje staranja ohranila, z vmesnimi nihanji.

Na grafikonu 22 je potrebno omeniti vzorec »B\_H2O\_21 SII\_60«, ki doseže dosti nižjo trdnost v primerjavi z upogibno trdnostjo prizme agregata C. Raztros rezultatov ne predstavlja težav, prav tako pa ne moremo govoriti o slabi zgoščenosti materiala, kajti tlačne trdnosti dosežejo visoke vrednosti (Priloga D).



Grafikon 22: Primerjava upogibnih trdnosti prizem agregata B in C, II. serije, pri 60 °C

## 6 DINAMIČNI MODUL ELASTIČNOSTI

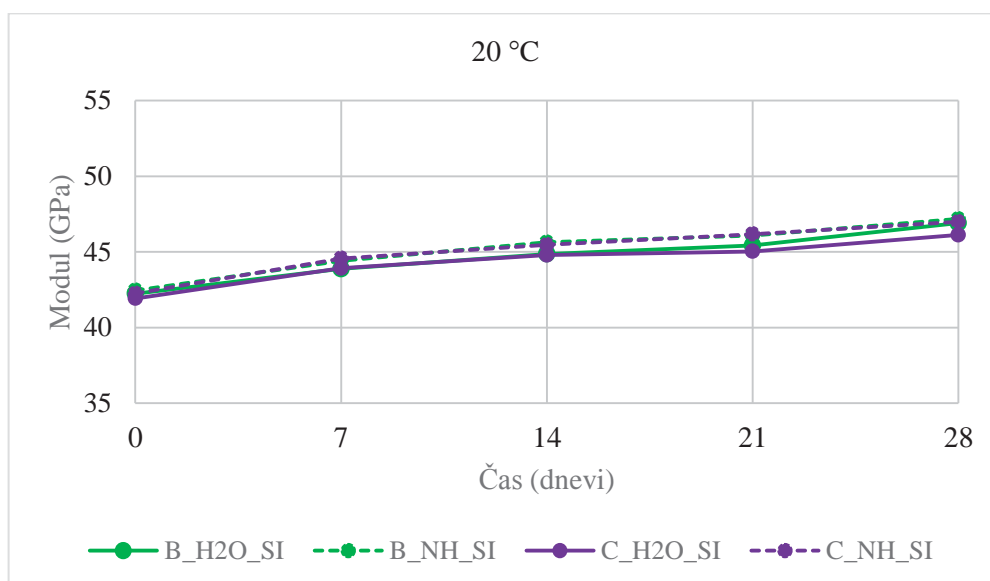
Meritve vhodnih podatkov in izračun dinamičnega modula elastičnosti smo opravili na podlagi standarda ASTM E 1876-09 (ASTM, 2009). Postopek meritev in izračuna je predstavljen v diplomski nalogi (Hočevar, 2007).

Pri postopku izračuna dinamičnega modula elastičnosti smo prevzeli standardne dimenzije prizem 40/40/160 mm, maso prizem pa smo izračunali kot povprečno maso vzorcev iz posameznega agregata. Korekcijski faktor  $T_1$  ni imel vpliva na rezultate.

Prav tako kakor pri upogibu smo se tu osredotočili le na prizme z dolomitnim agregatom (B, C), in sicer smo opravili meritve posamezne serije v obeh temperaturnih okoljih.

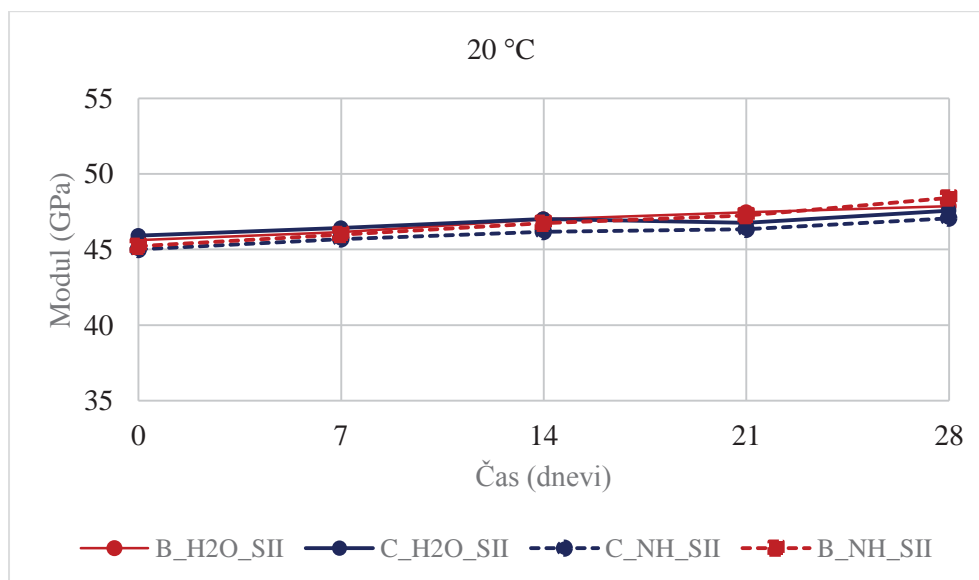
### 6.1 Serija 20 °C

Grafikon 23 prikazuje naraščanje modula elastičnosti (v nadaljevanju E) betonov iz obeh dolomitnih agregatov. Prav tako lahko razberemo, da se rezultati prve serije za oba agregata v poljubnem okolju zelo tesno ujemajo.



Grafikon 23: Dinamični modul elastičnosti serije I pri 20 °C

Grafikon 24 prikazuje rezultate za vzorca v B in C, serije II, pri 20 °C. Zopet opazimo tesno ujemanje vseh rezultatov meritev. Za razliko od prve serije se tukaj vrednosti E modula v prvih 7 dneh staranja ne zvišajo bistveno in tudi pozneje je naraščanje E modula relativno počasno. Poleg tega opazimo, da je začetna vrednost serije II enaka vrednosti serije I po 21. dnevih staranja – vzorci imajo v obeh primerih enako starost.

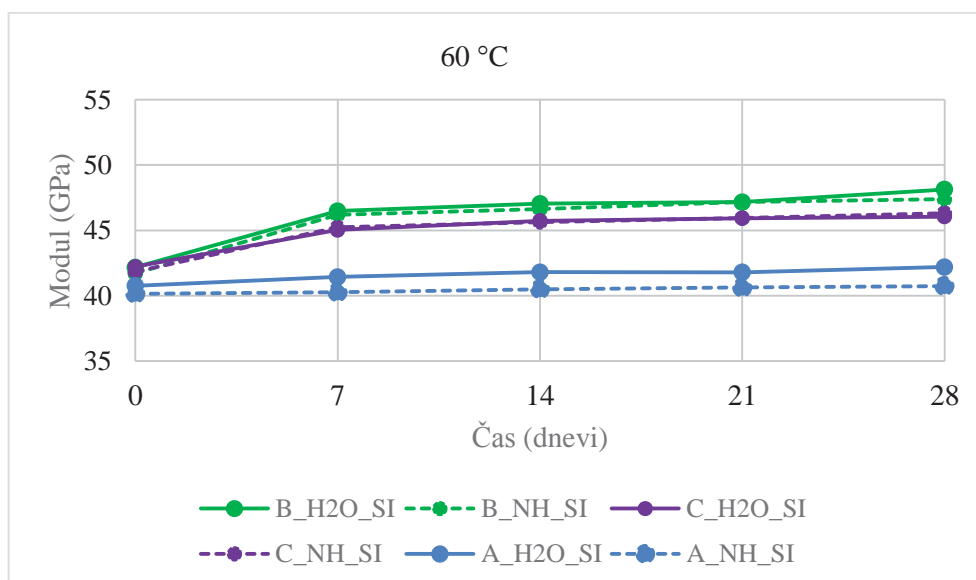


Grafikon 24: Dinamični modul elastičnosti serije II pri 20 °C

## 6.2 Serija 60 °C

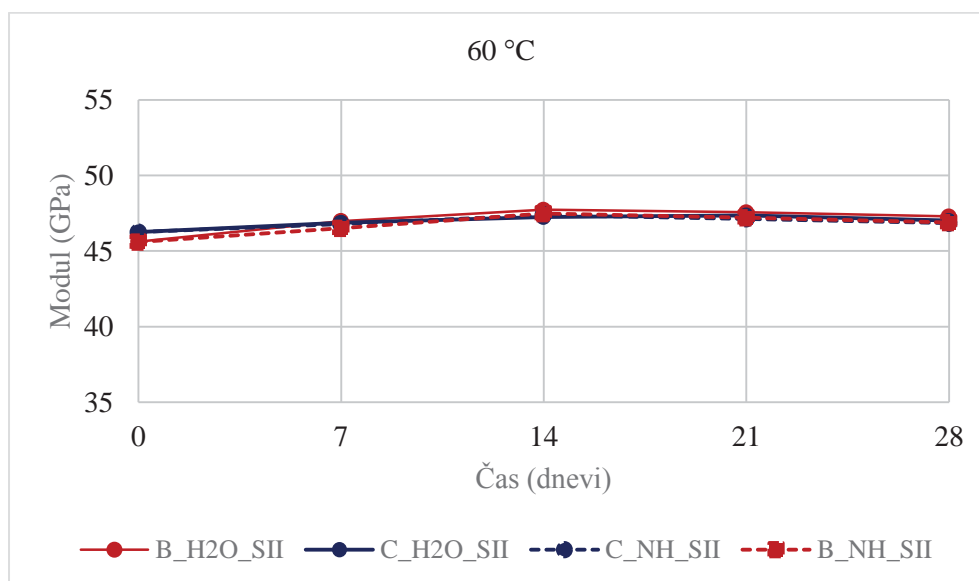
Iz grafikona 25 je razviden hiter razvoj E modula v prvem tednu preiskav pospešenega staranja, nato se vrednosti umirijo in dosežejo podobne vrednosti kakor serija II pri 20 °C. V tem okolju dosežejo prizme z agregatom B nekoliko višje vrednosti kot tiste z agregatom C. Prav tako ima serija I pri 60 °C visok skok tlačnih trdnosti na 7. dan meritev (Grafikon 6, Grafikon 11), za kar smo predpostavili vpliv ACR.

Prav tako predvidevamo, da ACR vpliva tudi na hitro zvišanje E modula v začetnem delu staranja, saj v primeru prizem z agregatom A, kjer ACR ni bila detektirana, ni opaznega nobenega skoka E modula v prvem tednu meritev.



Grafikon 25: Dinamični modul elastičnosti serije I pri 60 °C

Okolje 60 °C serije II ne predstavlja nobenih posebnosti. Vrednosti E modula sicer v prvih 14 dneh staranja nekoliko narastejo, potem pa rahlo upadejo, vendar so razlike majhne, zato lahko zaključimo, da so v teh razmerah E moduli od 7. Dneva staranja naprej približno enaki. Zaključimo lahko, da povišana temperatura in/ali ACR vpliva na velikost in spreminjanje E, kajti pri seriji II pri 20 °C (Grafikon 24) opazimo rahel prirast E modula, medtem ko se v okolju s 60 °C po 14 dneh vrednost E modula celo rahlo znižuje.



Grafikon 26: Dinamični modul elastičnosti serije II pri 60 °C

## 7 ZAKLJUČEK

Namen naše diplomske naloge je bil, da preverimo vpliv alkalno-karbonatne reakcije na dolomitne agregate in s tem na mehanske lastnosti betona izdelanega iz dolomitnega agregata, pri čemer smo prišli do naslednjih ugotovitev.

Tekom raziskave smo ugotovili, da se rezultati tlačnih in upogibnih trdnosti betonov z dvema obravnavanima dolomitoma (B in C) ujemajo. S tem smo potrdili ugotovitve (Štukovnik, 2014, Prinčič, 2013), da ACR vpliva le na dolomitni agregat ter da se po vsej verjetnosti vsi dolomiti obnašajo podobno. Predvidevamo, da ACR vpliva tudi na agregat C, ki ni bil vključen v študiji (Štukovnik, 2014, Prinčič, 2013).

Tlačne trdnosti prizem so v okolju z višjo temperaturo višje pri dolomitnem agregatu, poleg tega pa višje tlačne trdnosti beležimo tudi v 1 M raztopini NaOH. Razlog je ACR, ki jo pospešimo z 1 M raztopino NaOH in/ali višjo temperaturo. Pri ACR reakciji sta opisana proces dedolomitizacije in tvorba sekundarnega  $\text{CaCO}_3$  v bližini spremenjenih zrn, s tem pa pride do spremembe mikro strukture (Štukovnik, 2014).

V kolikor pogledamo serijo II agregata A, opazimo, da je povprečna tlačna trdnost pri 60 °C nižja kakor pri 20 °C, kar je prav nasprotno kot pri prizmah z dolomitnim agregatom.

Začetne tlačne trdnosti prizem vseh treh agregatov (serije I – stanje 7) so v vseh primerih visoke, kar je pričakovano, saj smo uporabili hitrovezoči cement. V seriji II tega efekta ne zaznamo, saj se faza hidratacije cementa po 28 dneh bolj ali manj zaključijo.

V seriji II se (razen izjem) stanje tlačnih trdnosti umiri ter doseže povprečne vrednosti posameznega vzorca. Vzorca dolomitnega agregata (B, C) dosežeta vrednosti okoli 80 MPa, medtem ko vzorec z apnenčevim (A) 70 MPa.

Naraščanje trdnosti prizem se konča po 35 dneh, saj je povsod v seriji II razvidna rahla porast trdnosti do 7. dne v vseh okoljih staranja (izjema vzorec C\_H2O SII\_60).

Kakor je pričakovano, imajo vzorci z dolomitnim agregatom za približno 10 MPa višje tlačne trdnosti kakor vzorci z apnenčevim agregatom. Porast tlačnih trdnosti prizem z dolomitom od začetnega do končnega stanja serije I je bolj izrazita pri prizmah agregata C, kjer se trdnost zviša med 10 in 20 MPa, medtem ko se vzorcem agregata B trdnost zviša med 5 in 10 MPa.

Nasprotno kot pri tlačnih trdnostih, so upogibne trdnosti v umetnem okolju pri povišani temperaturi nižje in to velja za vse betone z dolomitnim agregatom v različnih okoljih staranja.

Rezultati dinamičnega modula elastičnosti prizem agregata B in C v vseh okoljih staranja sovpadajo. V seriji I modul elastičnosti narašča, medtem ko se v seriji II ustali.

Opazimo tudi, da naraščanje modula elastičnosti spremlja zviševanjem tlačnih trdnosti (Grafikon 6, Grafikon 11 in Grafikon 25). Predvsem je izrazito ujemanje rezultatov za vzorce, ki so starani pri 60 °C, kjer pride do skoka trdnosti na 7. dan staranja in nato sledi rahel prirast trdnosti do konca meritev. Prav enako obnašanje opazimo pri merjenju dinamičnega modula elastičnosti. Predvidevamo, da ACR vpliva tudi na E modul.

Ugotovimo lahko, da povišana temperatura vpliva na velikost in spreminjanje E modula, kajti pri seriji II pri 20 °C (Grafikon 24) opazimo rahel prirast E, medtem ko se v okolju 60 °C po 14 dneh vrednost E celo rahlo znižuje (Grafikon 26).



## VIRI

AAR. 2014. Alkali – aggregate reaction.

<http://www.cement.org/for-concrete-books-learning/concrete-technology/durability/alkali-aggregate-reaction> (Pridobljeno 3. 9. 2014).

AAR. 2014. Alkali – aggregate reaction.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Alkali%E2%80%93aggregate\\_reaction](http://en.wikipedia.org/wiki/Alkali%E2%80%93aggregate_reaction) (Pridobljeno 3. 9. 2014).

ASTM E1876-09. Standard Test Methods for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Eccitation of Vibration. ASTM International, West Conshohocken.

Hočevar, A. 2007. Vpliv vrste cementa na sulfatno odpornost betona. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Hočevar): 75 str.

Ingham, J. 2011. Geomaterials Under the Microscope. London, Mason Publishing: 192 str.

Katayama, T. 2004. How to identify carbonate rock reactions in concrete. Materials Characterization 53: 85 – 104.

Katayama, T. 2010. The so-called alkali-carbonate reaction (ACR) — Its mineralogical and geochemical details, with special reference to ASR. Cement and Concrete Research 40: 643-675.

Lafarge. 2014. Varnostni list-Portlandski cement. Lafarge.

[http://www.lafarge.si/FileUpload/lafarge/File/Dokumentacija\\_cementi\\_2012/varnostni%20list-LC\\_TRB\\_18082012.pdf](http://www.lafarge.si/FileUpload/lafarge/File/Dokumentacija_cementi_2012/varnostni%20list-LC_TRB_18082012.pdf) (Pridobljeno 17. 8. 2014).

Lafarge. 2014. Predstavitev cementa Profi. Lafarge.

<http://www.lafarge.si/uploads/www.lafarge.si/Dokumentacija/Certifikati/profi.pdf> (Pridobljeno 17. 8. 2014).

Lafarge. 2014. Izjava o lastnostih, cement Profi. Lafarge.

[http://www.lafarge.si/uploads/www.lafarge.si/Dokumentacija/Certifikati/DOP\\_Profi\\_maj%2014.pdf](http://www.lafarge.si/uploads/www.lafarge.si/Dokumentacija/Certifikati/DOP_Profi_maj%2014.pdf) (Pridobljeno 17. 8. 2014).

López-Buendía, A.M., Climent, V., Verdú, P. 2006. Lithological influence of aggregate in the alkali – carbonate reaction. Cement and concrete research 36: 1490 – 1500.

Pavement interactive. 2011. Gradation test.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Sieve\\_analysis#cite\\_note-Materials\\_for...-5](http://en.wikipedia.org/wiki/Sieve_analysis#cite_note-Materials_for...-5) (Pridobljeno 1. 9. 2014).

Piranesi. 2014. Battista Piranesi, G., Section along the Pantheon, which shows the pronaos or portico and the interior of the Temple.

<http://www.wikiart.org/en/giovanni-battista-piranesi/section-along-the-pantheon-which-shows-the-pronaos-or-portico-and-the-interior-of-the-temple/> (Pridobljeno 2. 4. 2014).

Plenicar, M., Premru Uro,s Herak Milan, Cajhen Joze, Ferjancic Lado, Grad Karel, Mioc Pero, Novak Dusan, Prah Ladislav, Sribar Ljudmila, Turnsek Dragica, Volk Jurij, Vujic Dragan. , 1975. Geoloska karta SFRJ. L 33-79, Novo mesto [karta]. 1:100.000 Zvezni geoloski zavod, Beograd.

Prinčič, T., Štukovnik, P., Pejovnik, S., De Schutter, G., Bokan Bosiljkov, V., 2013. Observations on dedolomitization of carbonate concrete aggregates, implications for ACR and expansion. Cement and Concrete Research 54, 151-160.

SIST EN 197-1: 2011. Cement – 1.del: Sestava, zahteve in merila skladnosti za običajne cemente.

SIST EN 1015-3:2001 - Metode preskušanja zidarske malte - 3. del: Določevanje konsistence sveže malte (s stresalno mizo). Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.

SIST EN 933-1: 2012. Preskusi geometričnih lastnosti agregatov – 1. del: Ugotavljanje zrnivosti – Metoda sejanja.

Swenson, E. G., Gillott, J. E. 1964. »Alkali-carbonate rock reaction«, Highway Research Record 45, 21-40.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Alkali%E2%80%93carbonate\\_reaction](http://en.wikipedia.org/wiki/Alkali%E2%80%93carbonate_reaction) (Pridobljeno 29. 3. 2014).

Štukovnik, P., Prinčič, T., Pejovnik, R.S., Bokan Bosiljkov, V., 2014. Alkali-carbonate reaction in concrete and its implications for a high rate of long-term compressive strength increase. Construction and Building Materials 50, 699-709.

Zabred, J. 2014. Vpliv vrste karbonatnega agregata na mehanske lastnosti malt. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Zabred): 46 str.

Zajec, M. 2012. Krčenje s polipropilenskimi vlakni mikroarmiranega betona visoke trdnosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Zajec): 77 str.

Žarnić, R. 2005. LASTNOSTI GRADIV. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Katedra za preizkušanje materialov in konstrukcij: 350 str.

Žarnić, R., Bosiljkov, V., Bokan Bosiljkov, V., Dujič, B. 2007. Gradiva vaje 2007/2008. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Gradbeništvo in geodezijo: 1 – 140.

## **PRILOGE**

### **PRILOGA A: Pregled tlačnih trdnosti Serije I**

Preglednica A.1: Vrednosti tlačnih trdnosti

Preglednica A.2: Odstopanja tlačnih trdnosti prizem I. in II. serije pri 20 °C (levo) in 60 °C (desno)

Preglednica A.3: Odstopanja tlačnih trdnosti prizem, staranih pri 20 °C in 60 °C

Preglednica A.4: Odstopanja tlačnih trdnosti prizem, staranih v H<sub>2</sub>O in NaOH

### **PRILOGA B: Pregled tlačnih trdnosti serije II**

Preglednica B.1: Vrednosti tlačnih trdnosti

Preglednica B.2: Odstopanja tlačnih trdnosti prizem, staranih pri 20 °C in 60 °C

Preglednica B.3: Odstopanja tlačnih trdnosti prizem, staranih v H<sub>2</sub>O in NaOH

### **PRILOGA C: Tlačne in upogibne trdnosti prizem serije I, povprečne vrednosti in standardni odkloni**

### **PRILOGA D: Tlačne in upogibne trdnosti prizem serije II, povprečne vrednosti in standardni odkloni**

### **PRILOGA E: Pregled upogibnih trdnosti Serije I**

Preglednica E.1: Vrednosti upogibnih trdnosti

Preglednica E.1: Odstopanja upogibnih trdnosti prizem, staranih pri 20 °C in 60 °C

Preglednica E.2: Odstopanja upogibnih trdnosti prizem, staranih v H<sub>2</sub>O in NaOH

### **PRILOGA F: Pregled upogibnih trdnosti Serije II**

Preglednica F.1: Vrednosti upogibnih trdnosti

Preglednica F.1: Odstopanja upogibnih trdnosti prizem, staranih pri 20 °C in 60 °C

Preglednica F.2: Odstopanja upogibnih trdnosti prizem, staranih v H<sub>2</sub>O in NaOH

**PRILOGA A: Pregled tlačnih trdnosti Serije I**

Preglednica A.1: Vrednosti tlačnih trdnosti

TLAČNE TRDNOSTI											
		Stanje 0 I.S		Stanje 7 I.S		Stanje 14 I.S		Stanje 21 I.S		Stanje 28 I.S	
Mešanice:		20	60	20	60	20	60	20	60	20	60
A	H2O	55,42	55,42	61,13	63,13	65,23	68,83	65,18	65,64	65,16	67,31
A	NaOH	55,42	55,42	62,74	61,76	66,07	67,39	65,13	66,78	65,03	66,59
B	H2O	65,97	65,97	66,15	74,30	71,55	78,10	71,05	81,05	68,56	83,96
B	NaOH	65,97	65,97	66,40	73,51	71,70	73,83	76,03	77,44	70,38	84,06
C	H2O	63,42	63,42	66,39	73,41	62,29	77,03	70,89	77,70	73,20	81,50
C	NaOH	63,42	63,42	67,98	74,51	65,28	77,41	67,64	78,92	76,46	80,59

Preglednica A.2: Odstopanja tlačnih trdnosti prizem I. in II. serije pri 20 °C (levo) in 60 °C (desno)

		Odstotek odstopanj pri 20°C med I in II serijo							
Mešanice:		0	7	14	21	28	AVG	AVG 0 in 28	
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
A	H2O	12,3	3,0	3,3	4,4	3,3	5,27	7,82	
A	NaOH	12,3	12,4	2,1	4,5	9,4	8,15	10,89	
							all AVG	6,71	9,36
B	H2O	12,7	18,7	2,6	3,2	16,4	10,72	14,54	
B	NaOH	11,3	13,7	5,5	9,9	3,0	8,70	7,14	
							all AVG	9,71	10,84
C	H2O	18,6	19,7	23,1	3,9	4,1	13,86	11,30	
C	NaOH	15,7	11,1	15,2	6,2	1,5	9,92	8,59	
							all AVG	11,89	9,95

		Odstotek odstopanj pri 60°C med I in II serijo							
Mešanice:		0	7	14	21	28	AVG	AVG 0 in 28	
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
A	H2O	12,3	16,7	1,6	5,2	0,5	7,25	6,41	
A	NaOH	12,3	15,3	5,9	8,7	1,7	8,80	7,04	
							all AVG	8,02	6,73
B	H2O	12,7	7,7	7,7	1,0	2,4	6,29	7,53	
B	NaOH	12,7	7,9	7,4	3,2	4,6	7,15	8,64	
							all AVG	6,72	8,09
C	H2O	18,6	10,6	4,9	9,2	10,7	10,79	14,62	
C	NaOH	18,6	11,0	0,3	2,5	0,4	6,56	9,50	
							all AVG	8,68	12,06

Preglednica A.3: Odstopanja tlačnih trdnosti prizem, starih pri 20 °C in 60 °C

		Odstotek odstopanj med 20°C in 60°C						
Mešanice:		0	7	14	21	28	AVG	
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
A	H2O	0	3,3	5,5	0,7	3,3	2,56	
A	NaOH	0	1,6	2,0	2,5	2,3	1,69	
							all AVG	2,13
B	H2O	0	12,3	9,2	14,1	22,5	11,60	
B	NaOH	0	9,7	3,0	3,3	16,5	6,48	
							all AVG	9,04
C	H2O	0	10,5	25,3	9,6	6,9	10,45	
C	NaOH	0	8,8	20,8	16,7	5,1	10,27	
							all AVG	10,36

Preglednica A.4: Odstopanja tlačnih trdnosti prizem, starih v H2O in NaOH

		Odstotek odstopanj med H2O in NaOH						
		0	7	14	21	28	AVG	
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
	20°C	0,0	2,6	1,3	0,1	0,2	0,84	
	60°C	0,0	2,2	2,1	1,7	1,1	1,42	
							all AVG	1,13
	20°C	0,0	0,4	0,2	5,6	2,6	1,75	
	60°C	0,0	1,1	5,5	4,5	0,4	2,28	
							all AVG	2,02
	20°C	0,0	2,3	4,2	4,6	4,5	3,12	
	60°C	0,0	1,5	0,5	1,6	3,0	1,32	
							all AVG	2,22

**PRILOGA B: Pregled tlačnih trdnosti serije II**

Preglednica B.1: Vrednosti tlačnih trdnosti

TLAČNE TRDNOSTI											
		Stanje 0 I.I.S		Stanje 7 I.I.S		Stanje 14 I.I.S		Stanje 21 I.I.S		Stanje 28 I.I.S	
Mešanice:		20	60	20	60	20	60	20	60	20	60
A	H2O	62,26	62,26	62,96	73,69	67,38	67,76	68,06	62,26	69,08	68,31
A	NaOH	62,26	62,26	70,50	71,20	67,52	63,39	68,18	60,99	71,17	65,44
-----											
B	H2O	74,35	74,35	78,53	80,01	73,41	84,11	73,34	81,85	80,58	82,03
B	NaOH	74,35	74,35	76,95	79,30	75,68	79,29	67,54	79,93	72,55	80,59
-----											
C	H2O	75,19	75,19	79,51	80,01	75,72	71,06	73,63	84,91	76,16	88,81
C	NaOH	75,19	75,19	76,43	82,73	75,25	77,20	71,80	76,77	77,70	82,20

Preglednica B.2: Odstopanja tlačnih trdnosti prizem, starih pri 20 °C in 60 °C

Odstotek odstopanj med 20°C in 60°C					
0	7	14	21	28	AVG
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0	17,0	0,6	8,5	1,1	5,45
0	1,0	6,1	10,5	8,7	5,28
				all AVG	5,37
0	1,9	14,6	11,6	1,8	5,97
0	3,0	4,8	18,3	10,0	7,21
				all AVG	6,59
0	0,6	6,1	15,3	16,6	7,74
0	7,6	2,6	6,9	5,5	4,52
				all AVG	6,13

Preglednica B.3: Odstopanja tlačnih trdnosti prizem, starih v H2O in NaOH

Odstotek odstopanj med H2O in NaOH						
	0	7	14	21	28	AVG
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
20°C	0,0	12,0	0,2	0,2	3,0	3,08
60°C	0,0	3,4	6,5	2,0	2,3	2,84
					all AVG	2,96
20°C	0,0	2,0	3,1	7,9	9,1	4,42
60°C	0,0	0,9	5,7	2,4	1,7	2,14
					all AVG	3,28
20°C	0,0	3,9	2,5	2,5	1,9	2,16
60°C	0,0	1,9	5,4	9,3	7,6	4,85
					all AVG	3,51

**PRILOGA C: Tlačne in upogibne trdnosti prizem serije I, povprečne vrednosti in standardni odkloni**

Temperatu 20°C															
Staranje:	0.	Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL	
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.					
A	H2O	13,01	14,27	16,05	52,40	57,45	59,13	54,51	55,14	53,88	14,44	55,42	1,53	2,46	
	NaOH														
B	H2O	15,68	16,13	16,91	68,81	64,81	65,88	66,94	67,13	62,25	16,24	65,97	0,63	2,26	
	NaOH														
C	H2O	17,70	15,94	15,19	61,24	62,94	65,25	61,66	64,00	65,44	16,28	63,42	1,29	1,78	
	NaOH														
Temperatu 20°C															
Staranje:	7.	Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL	
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.					
A	H2O	13,35	16,13	13,65	56,61	59,13	62,69	60,39	62,08	65,88	14,38	61,13	1,52	3,19	
	NaOH	14,55	14,33	15,30	66,06	64,63	59,34	61,24	63,31	61,87	14,73	62,74	0,51	2,43	
B	H2O	17,33	17,48	15,56	70,31	65,69	67,31	67,56	65,44	60,61	16,79	66,15	1,06	3,23	
	NaOH	15,11	17,33	16,35	65,88	66,94	68,00	66,06	66,69	64,81	16,26	66,40	1,11	1,08	
C	H2O	17,48	18,45	18,75	69,25	63,31	64,63	61,66	71,31	68,38	18,23	66,39	0,67	2,87	
	NaOH	16,50	18,00	18,08	67,75	67,13	68,19	68,00	70,50	66,31	17,53	67,98	0,89	1,41	
Temperatu 60°C															
Staranje:	7.	Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL	
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.					
A	H2O	15,11	13,05	14,44	62,29	63,13	63,13	62,50	65,25	62,50	14,20	63,13	1,05	1,10	
	NaOH	13,31	13,91	12,49	63,13	62,29	60,61	62,08	60,39	62,08	13,24	61,76	0,72	1,05	
B	H2O	14,18	14,78	15,15	75,94	73,63	75,31	71,75	74,69	74,50	14,70	74,30	0,49	1,47	
	NaOH	15,11	14,96	15,41	74,94	74,94	73,00	71,31	72,38	74,50	15,16	73,51	0,23	1,51	
C	H2O	15,15	16,24	12,90	72,19	74,06	75,31	74,94	73,25	70,69	14,76	73,41	1,70	1,75	
	NaOH	13,31	13,05	14,40	73,25	74,31	78,31	75,56	73,63	72,00	13,59	74,51	0,72	2,20	
Temperatu 20°C															
Staranje:	14.	Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL	
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.					
A	H2O	17,48	16,35	16,54	62,94	67,13	65,44	69,00	64,81	62,08	16,79	65,23	0,60	2,58	
	NaOH	20,18	18,11	17,36	66,06	67,56	63,56	65,44	66,50	67,31	18,55	66,07	1,46	1,46	
B	H2O	19,69	18,98	18,26	68,00	68,81	72,38	72,19	73,00	74,94	18,98	71,55	0,71	2,64	
	NaOH	19,39	17,78	19,43	72,19	74,31	70,94	72,38	69,25	71,13	18,86	71,70	0,94	1,70	
C	H2O	16,84	15,90	15,45	40,19	63,56	60,19	64,81	60,61	58,29	16,06	62,29	0,71	2,25	
	NaOH	18,08	15,71	18,94	51,14	63,31	62,69	65,69	72,19	69,44	17,58	65,28	1,67	3,06	
Temperatu 60°C															
Staranje:	14.	Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL	
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.					
A	H2O	15,71	13,95	18,49	69,00	68,38	68,38	67,13	68,38	71,75	16,05	68,83	2,29	1,55	
	NaOH	16,69	17,29	13,54	67,56	68,63	65,69	63,75	69,88	68,81	15,84	67,39	2,01	2,28	
B	H2O	18,68	17,85	17,21	79,94	78,50	80,38	75,13	76,38	78,31	17,91	78,10	0,73	2,03	
	NaOH	16,05	18,38	17,06	74,31	74,06	72,81	73,00	76,81	72,00	17,16	73,83	1,17	1,69	
C	H2O	16,35	15,34	18,94	78,31	76,19	78,50	74,50	78,31	76,38	16,88	77,03	1,86	1,61	
	NaOH	19,24	17,33	15,60	80,63	80,63	79,75	77,00	73,63	72,81	17,39	77,41	1,82	3,52	

Temperatu 20°C														
Staranje: 21.		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	15,26	17,40	18,30	64,63	66,50	66,31	62,94	65,88	64,81	16,99	65,18	1,56	1,34
	NaOH	17,36	18,79	14,40	63,75	66,06	65,88	64,81	65,88	64,38	16,85	65,13	2,24	0,95
B	H2O	17,33	18,45	18,83	73,88	69,88	66,50	71,75	61,45	73,25	18,20	71,05	0,78	2,97
	NaOH	18,34	20,51	20,21	72,19	69,88	74,31	76,63	78,69	78,31	19,69	76,03	1,18	2,75
C	H2O	18,75	18,38	17,63	68,63	72,81	71,31	72,19	72,19	68,19	18,25	70,89	0,57	1,98
	NaOH	19,01	18,98	19,24	72,19	64,63	66,50	67,75	61,24	67,13	19,08	67,64	0,14	2,80
Temperatu 60°C														
Staranje: 21.		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	12,30	14,10	13,88	61,45	64,00	66,94	65,88	66,94	68,63	13,43	65,64	0,98	2,55
	NaOH	15,75	16,84	14,74	68,00	65,00	68,19	64,00	65,88	69,63	15,78	66,78	1,05	2,16
B	H2O	15,60	18,64	18,98	77,88	79,94	85,88	83,56	77,63	81,44	17,74	81,05	1,86	3,25
	NaOH	18,64	16,76	18,45	76,63	78,06	75,13	79,31	76,19	79,31	17,95	77,44	1,03	1,73
C	H2O	15,71	18,90	15,04	78,94	79,56	77,44	77,88	76,19	76,19	16,55	77,70	2,06	1,39
	NaOH	21,19	14,93	18,19	83,56	80,19	78,50	78,69	75,75	76,81	18,10	78,92	3,13	2,75
Temperatu 20°C														
Staranje: 28.		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	15,56	16,76	15,49	62,69	65,88	62,08	68,81	65,44	66,06	15,94	65,16	0,72	2,46
	NaOH	17,48	17,96	18,60	64,63	63,13	64,19	68,19	63,75	66,31	18,01	65,03	0,56	1,88
B	H2O	18,04	17,78	16,84	71,56	59,13	64,63	72,19	71,31	63,13	17,55	68,56	0,63	4,32
	NaOH	19,39	20,36	19,24	67,75	64,38	73,00	67,31	72,81	77,00	19,66	70,38	0,61	4,67
C	H2O	18,49	17,96	19,20	69,63	72,19	72,00	74,69	75,13	75,56	18,55	73,20	0,62	2,31
	NaOH	19,01	19,80	20,40	79,13	72,81	76,19	75,94	77,88	76,81	19,74	76,46	0,70	2,14
Temperatu 60°C														
Staranje: 28.		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	12,68	12,00	12,86	67,56	68,81	69,88	66,31	62,94	68,38	12,51	67,31	0,45	2,46
	NaOH	14,55	12,30	13,50	65,88	68,63	65,44	65,88	48,61	67,13	13,45	66,59	1,13	1,30
B	H2O	14,48	15,56	14,89	83,94	85,63	79,31	80,63	88,81	85,44	14,98	83,96	0,55	3,50
	NaOH	15,26	15,45	15,56	83,75	81,44	80,63	85,63	85,44	88,81	15,43	84,06	0,15	1,94
C	H2O	14,78	14,85	16,09	83,94	80,63	60,82	79,94	68,38	62,69	15,24	81,50	0,74	2,14
	NaOH	17,18	16,76	16,01	85,63	70,69	80,19	83,31	76,81	77,00	16,65	80,59	0,59	3,88



### PRILOGA D: Tlačne in upogibne trdnosti prizem serije II, povprečne vrednosti in standardni odkloni

Temperatura 20°C														
Staranje: 0.		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	16,54	16,46	15,86	66,50	64,81	65,69	67,56	66,31	62,69	16,29	65,59	0,37	1,69
	NaOH													
B	H2O	18,30	16,09	16,88	70,69	75,13	76,19	73,00	77,88	73,25	17,09	74,35	1,12	2,56
	NaOH													
C	H2O	16,73	15,15	15,64	74,69	75,56	75,94	73,00	75,13	76,81	15,84	75,19	0,81	1,29
	NaOH													
Temperatura 20°C														
Staranje: 7.		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	15,38	14,89	17,36	66,06	59,34	63,56	54,93	61,45	64,38	15,88	62,96	1,31	2,61
	NaOH	17,36	17,33	16,73	69,44	69,88	69,44	71,31	72,00	70,94	17,14	70,50	0,36	1,07
B	H2O	19,69	17,89	18,71	80,81	78,31	78,50	77,00	76,38	80,19	18,76	78,53	0,90	1,73
	NaOH	16,91	17,63	18,71	73,00	77,88	78,94	77,00	76,81	78,06	17,75	76,95	0,91	2,08
C	H2O	19,65	18,30	20,18	81,63	78,94	76,63	82,50	77,44	79,94	19,38	79,51	0,97	2,30
	NaOH	18,26	19,13	19,31	74,69	74,69	77,25	78,94	77,44	75,56	18,90	76,43	0,56	1,72
Temperatura 60°C														
Staranje: 7.		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	11,29	11,48	10,69	72,81	74,50	74,94	73,00	73,25	73,63	11,15	73,69	0,41	0,86
	NaOH	11,89	13,13	12,53	70,31	74,06	68,63	69,00	72,81	72,38	12,51	71,20	0,62	2,21
B	H2O	15,56	13,84	15,86	81,44	83,75	77,44	80,63	77,88	78,94	15,09	80,01	1,09	2,40
	NaOH	15,64	15,23	14,21	77,88	77,63	81,44	76,81	83,13	78,94	15,03	79,30	0,73	2,46
C	H2O	14,36	14,51	13,84	86,94	78,31	78,94	79,94	82,69	80,19	14,24	80,01	0,35	1,68
	NaOH	15,04	13,99	16,16	86,25	79,75	80,19	83,56	83,94	82,69	15,06	82,73	1,09	2,44
Temperatura 20°C														
Staranje: 14.		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	17,25	15,64	16,50	71,31	66,06	58,93	65,88	65,88	67,75	16,46	67,38	0,81	2,34
	NaOH	16,50	15,53	17,81	64,81	68,81	69,25	67,13	68,00	67,13	16,61	67,52	1,15	1,58
B	H2O	18,68	18,49	17,70	72,63	70,69	73,44	72,63	76,38	74,69	18,29	73,41	0,52	1,95
	NaOH	18,26	18,34	19,50	73,63	74,31	75,75	76,19	78,50	81,00	18,70	75,68	0,69	1,89
C	H2O	18,38	19,05	19,80	73,25	75,75	74,69	75,13	75,31	80,19	19,08	75,72	0,71	2,35
	NaOH	18,94	18,45	16,76	66,69	71,75	75,31	73,44	77,88	77,88	18,05	75,25	1,14	2,71
Temperatura 60°C														
Staranje: 14.		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	12,90	12,86	14,44	65,44	66,50	68,38	68,38	67,56	70,31	13,40	67,76	0,90	1,69
	NaOH	14,48	14,66	15,15	61,24	62,94	63,31	62,50	66,94	53,03	14,76	63,39	0,35	2,13
B	H2O	16,91	20,33	18,56	88,63	88,63	82,25	81,25	80,81	83,13	18,60	84,11	1,71	3,58
	NaOH	16,61	18,34	16,76	77,63	83,13	82,25	75,13	79,31	78,31	17,24	79,29	0,96	2,98
C	H2O	19,09	15,41	18,98	67,56	66,31	68,63	84,00	78,31	74,50	17,83	71,06	2,09	5,13
	NaOH	17,55	18,75	17,55	76,63	74,31	80,38	78,50	76,38	77,00	17,95	77,20	0,69	2,06

Temperat <b>20°C</b>														
<b>Staranje: 21.</b>		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	15,11	15,79	14,33	66,31	72,00	66,50	66,31	69,25	68,00	15,08	68,06	0,73	2,26
	NaOH	13,54	16,46	13,20	64,81	68,38	72,38	67,56	67,75	56,82	14,40	68,18	1,79	2,72
B	H2O	18,08	17,74	17,48	70,50	74,06	74,94	72,81	74,31	73,44	17,76	73,34	0,30	1,57
	NaOH	16,39	19,13	16,46	70,50	67,75	67,13	69,63	67,75	62,50	17,33	67,54	1,56	2,78
C	H2O	14,55	17,10	16,16	73,25	74,31	75,75	73,44	74,31	70,69	15,94	73,63	1,29	1,69
	NaOH	15,68	17,29	19,88	72,63	73,88	71,75	72,38	68,63	71,56	17,61	71,80	2,12	1,76
Temperat <b>60°C</b>														
<b>Staranje: 21.</b>		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	14,25	12,90	12,83	59,34	63,75	64,00	59,13	63,56	63,75	13,33	62,26	0,80	2,34
	NaOH	14,44	12,56	13,24	58,29	61,24	62,50	59,13	62,08	62,69	13,41	60,99	0,95	1,85
B	H2O	15,38	17,48	15,08	82,69	79,13	84,38	85,00	80,63	79,31	15,98	81,85	1,31	2,54
	NaOH	16,65	16,91	16,65	77,88	78,31	82,25	68,81	81,00	80,19	16,74	79,93	0,15	1,83
C	H2O	13,50	17,29	18,71	82,06	83,31	86,69	87,56	91,56	77,88	16,50	84,91	2,69	2,64
	NaOH	18,23	17,85	16,39	73,25	77,63	81,88	70,31	74,31	84,19	17,49	76,77	0,97	3,88
Temperat <b>20°C</b>														
<b>Staranje: 28.</b>		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	13,09	17,29	15,23	63,31	62,50	75,94	75,13	72,63	65,00	15,20	69,08	2,10	6,15
	NaOH	15,94	16,05	15,56	73,88	72,00	68,38	70,69	72,63	69,44	15,85	71,17	0,26	2,06
B	H2O	18,56	16,99	19,65	79,75	82,69	69,88	78,94	80,94	86,50	18,40	80,58	1,34	1,63
	NaOH	16,09	16,28	15,49	69,63	72,63	68,13	74,06	78,31	0,00	15,95	72,55	0,41	3,99
C	H2O	16,88	18,00	15,45	76,19	78,31	75,56	75,81	74,94	69,06	16,78	76,16	1,28	1,29
	NaOH	17,74	18,23	18,71	81,00	75,13	79,94	76,19	79,56	74,06	18,23	77,70	0,49	2,41
Temperat <b>60°C</b>														
<b>Staranje: 28.</b>		Upogibna trdnost (Mpa)			Tlačna trdnost (Mpa)						Pov. UP	Pov. TL	ST. Dev. UP	ST.Dev.TL
Mešanice:		1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
A	H2O	13,35	13,88	14,14	60,38	66,50	65,25	71,75	70,50	67,56	13,79	68,31	0,40	2,73
	NaOH	13,01	13,58	13,76	66,50	67,13	65,25	66,06	65,44	62,29	13,45	65,44	0,39	1,69
B	H2O	12,60	15,11	18,11	68,00	75,56	83,31	80,38	82,94	87,94	15,28	82,03	2,76	4,53
	NaOH	16,54	14,70	16,31	85,88	81,44	87,94	73,88	78,50	75,94	15,85	80,59	1,00	5,55
C	H2O	13,39	16,61	14,25	87,94	90,94	89,44	89,88	85,88	81,44	14,75	88,81	1,67	1,96
	NaOH	16,69	13,54	12,90	84,63	82,06	74,69	82,25	80,19	81,88	14,38	82,20	2,03	1,59

**PRILOGA E: Pregled upogibnih trdnosti Serije I**

Preglednica E.1: Vrednosti upogibnih trdnosti

UPOGIBNE TRDNOSTI											
		Stanje 0 I.S		Stanje 7 I.S		Stanje 14 I.S		Stanje 21 I.S		Stanje 28 I.S	
Mešanice:		20	60	20	60	20	60	20	60	20	60
A	H2O	14,44	14,44	14,38	14,20	16,79	16,05	16,99	13,43	15,94	12,51
A	NaOH	14,44	14,44	14,73	13,24	18,55	15,84	16,85	15,78	18,01	13,45
B	H2O	16,24	16,24	16,79	14,70	18,98	17,91	18,20	17,74	17,55	14,98
B	NaOH	16,24	16,24	16,26	15,16	18,86	17,16	19,69	17,95	19,66	15,43
C	H2O	16,28	16,28	18,23	14,76	16,06	16,88	18,25	16,55	18,55	15,24
C	NaOH	16,28	16,28	17,53	13,59	17,58	17,39	19,08	18,10	19,74	16,65

Preglednica E.2: Odstopanja upogibnih trdnosti prizem, staranih pri 20 °C in 60 °C

Odstotek odstopanj med 20°C in 60°C							
		0	7	14	21	28	AVG
Mešanice:		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A	H2O	0	1,2	4,4	21,0	21,5	9,61
A	NaOH	0	11,2	14,6	6,4	33,9	13,23
						all AVG	11,42
B	H2O	0	12,4	5,6	2,5	14,7	7,05
B	NaOH	0	7,3	9,0	8,8	27,5	10,51
						all AVG	8,78
C	H2O	0	19,0	5,1	9,3	17,9	10,25
C	NaOH	0	29,0	1,1	5,1	18,5	10,74
						all AVG	10,49

Preglednica E.3: Odstopanja upogibnih trdnosti prizem, staranih v H2O in NaOH

Odstotek odstopanj med H2O in NaOH							
		0	7	14	21	28	AVG
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
20°C		0,0	2,4	10,5	0,8	13,0	5,35
60°C		0,0	6,8	1,3	17,5	7,5	6,62
						all AVG	5,99
20°C		0,0	3,1	0,6	8,2	12,0	4,79
60°C		0,0	3,1	4,2	1,2	3,0	2,31
						all AVG	3,55
20°C		0,0	3,8	9,4	4,5	6,4	4,84
60°C		0,0	8,0	3,0	9,4	9,3	5,93
						all AVG	5,38

**PRILOGA F: Pregled upogibnih trdnosti Serije II**

Preglednica F.1: Vrednosti upogibnih trdnosti

UPOGIBNE TRDNOSTI											
		Stanje 0 I.I.S		Stanje 7 I.I.S		Stanje 14 I.I.S		Stanje 21 I.I.S		Stanje 28 I.I.S	
<b>Mešanice:</b>		<b>20</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>60</b>
A	H2O	16,29	16,29	15,88	11,15	16,46	13,40	15,08	13,33	15,20	13,79
A	NaOH	16,29	16,29	17,14	12,51	16,61	14,76	14,40	13,41	15,85	13,45
B	H2O	17,09	17,09	18,76	15,09	18,29	18,60	17,76	15,98	18,40	15,28
B	NaOH	17,09	17,09	17,75	15,03	18,70	17,24	17,33	16,74	15,95	15,85
C	H2O	15,84	15,84	19,38	14,24	19,08	17,83	16,63	18,00	17,44	14,75
C	NaOH	15,84	15,84	18,90	15,06	18,05	17,95	17,61	17,49	18,23	14,38

Preglednica F.2: Odstopanja upogibnih trdnosti prizem, starih pri 20 °C in 60 °C

Odstotek odstopanj med 20°C in 60°C							
		<b>0</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>AVG</b>
<b>Mešanice:</b>		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A	H2O	0	29,8	18,6	11,6	9,3	13,85
A	NaOH	0	37,0	11,1	6,9	17,8	14,56
						<b>all AVG</b>	<b>14,21</b>
B	H2O	0	19,6	1,7	10,1	17,0	9,67
B	NaOH	0	18,1	7,8	3,4	0,6	6,00
						<b>all AVG</b>	<b>7,83</b>
C	H2O	0	26,5	6,6	3,5	12,1	9,73
C	NaOH	0	25,5	0,6	0,7	26,8	10,70
						<b>all AVG</b>	<b>10,22</b>

Preglednica F.3: Odstopanja upogibnih trdnosti prizem, starih v H2O in NaOH

Odstotek odstopanj med H2O in NaOH							
		<b>0</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>AVG</b>
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
20°C		0,0	8,0	0,9	4,5	4,3	3,52
60°C		0,0	12,2	10,2	0,7	2,4	5,10
						<b>all AVG</b>	<b>4,31</b>
20°C		0,0	5,4	2,3	2,5	13,3	4,69
60°C		0,0	0,4	7,3	4,8	3,8	3,26
						<b>all AVG</b>	<b>3,97</b>
20°C		0,0	2,5	5,4	10,5	8,6	5,40
60°C		0,0	5,8	0,7	6,0	2,5	3,00
						<b>all AVG</b>	<b>4,20</b>