

Analiza utjecaja metoda njegovanja na čvrstoće cementnih kompozita

Puharić, Nina

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:649553>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

NINA PUHARIĆ

**ANALIZA UTJECAJA METODA NJEGOVANJA NA ČVRSTOĆE CEMENTNIH
KOMPOZITA**

ZAVRŠNI RAD

RIJEKA, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ

GRAĐEVINSKI MATERIJALI

**Nina Puharić
0114033390**

**ANALIZA UTJECAJA METODA NJEGOVANJA NA ČVRSTOĆE CEMENTNIH
KOMPOZITA**

Završni rad

Rijeka, rujan 2024.

IZJAVA

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Nina Puharić

U Rijeci, 1.9.2024.

ZAHVALA

Od srca zahvaljujem svojoj mentorici, Silviji Mrakovčić, na stručnom vodstvu i podršci tijekom izrade ovog rada. Hvala mojim roditeljima, Mladenu i Dunji, na ljubavi i podršci kroz sve godine mog obrazovanja. Posebno hvala mom partneru, Andreju, na strpljenju i razumijevanju. A najdublju zahvalnost dugujem svojoj kćeri, Nicol, čija je sreća bila moja najveća motivacija.

Ovaj rad posvećujem svima vama.

Naslov rada: Analiza utjecaja metoda njegovanja na čvrstoće cementnih kompozita

Student: Nina Puharić

Mentor: izv. prof. dr. sc. Silvija Mrakovčić

Studij: Stručni prijediplomski studij građevinarstva

Kolegij: Građevinski materijali

SAŽETAK

U radu je analiziran utjecaj načina njegovanja na svojstva cementnog morta. Pripremljeni su uzorci od cementnog morta istog sastava te njegovani na različite načine 56 dana: na zraku izloženi atmosferilijama, na zraku u laboratorijskim uvjetima te u vodi sobne temperature. Nakon izloženosti različitim uvjetima ispitana su mehanička svojstva cementnog morta: vlačna čvrstoća savijanjem i tlačna čvrstoća. Analizom rezultata ispitivanja potvrđeno je da način njegovanja cementnog morta uvelike utječe na njegova mehanička svojstva. Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da će isti utjecaj njegovanja biti i na ostale cementne kompozite, pa tako i na beton.

Ključne riječi: njegovanje, mehanička svojstva, cementni kompoziti, beton.

Title of Thesis: Analysis of the Impact of Curing Methods on the Strength of Cement Composites

Student: Nina Puharić

Mentor: Silvija Mrakovčić, PhD

Study programme: Vocational Undergraduate Study Programme in Civil Engineering

Subject: Construction materials

SUMMARY

This study analyzes the impact of curing methods on the properties of cement mortar. Samples of cement mortar with the same composition were prepared and cured in different ways for 56 days: in the open, under laboratory conditions, and in water at room temperature. After exposure to different conditions, the mechanical properties of the cement mortar were tested: tensile strength in bending and compressive strength. The analysis of the test results confirmed that the curing method significantly affects the mechanical properties of the cement mortar. Based on the obtained results, it can be concluded that the same curing impact will apply to other cement composites, including concrete.

Keywords: curing, mechanical properties, cement composites, concrete.

SADRŽAJ:

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | UVOD..... | 1 |
| 2. | KOMPOZITNI MATERIJALI | 2 |
| 2.1. | Cement | 2 |
| 2.1.1. | <i>Hidratacija cementa</i> | 3 |
| 2.2. | Agregat..... | 3 |
| 2.3. | Voda..... | 4 |
| 3. | NAČINI NJEGOVANJA BETONA..... | 5 |
| 3.1. | Njega betona vodom..... | 5 |
| 3.2. | Njega betona folijama..... | 7 |
| 3.3. | Njega betona korištenjem tekuće membrane..... | 8 |
| 3.4. | Njega betona pokrivanjem piljevinom, pijeskom ili zemljom | 9 |
| 3.5. | Njega betona mokrim tkaninama..... | 9 |
| 3.6. | Njega betona zaparivanjem | 10 |
| 3.7. | Njega betona korištenjem električne energije | 11 |
| 3.8. | Njega betona infracrvenim zračenjem | 13 |
| 4. | EKSPERIMENTALNI DIO RADA..... | 14 |
| 4.1. | Priprema uzoraka prizmi cementnog morta | 14 |
| 4.2. | Njegovanje pripremljenih cementnih uzoraka | 16 |
| 4.3. | Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem | 18 |
| 4.3.1. | <i>Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće na savijanje HRN EN 196-1:</i> | 20 |
| 4.3.2. | <i>Analiza rezultata vlačne čvrstoće savijanjem</i> | 25 |
| 4.4. | Ispitivanje tlačne čvrstoće | 25 |
| 4.4.1. | <i>Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće 30.8.2023. HRN EN 196-1:</i> | 27 |
| 4.4.2. | <i>Analiza rezultata tlačnog ispitivanja</i> | 36 |
| 5. | ZAKLJUČAK..... | 37 |
| 6. | LITERATURA | 38 |

POPIS TABLICA:

| | |
|---|----|
| Tablica 1: Mjesečni agrometeorološki bilten [21]..... | 17 |
| Tablica 2. Vlačna čvrstoća morta savijanjem..... | 20 |
| Tablica 3. Tlačna čvrstoća cementnog morta..... | 27 |

POPIS SLIKA:

| | |
|--|----|
| Slika 1. "Ponding" metoda [8]..... | 6 |
| Slika 2. Vlaženje betona prskanjem [9] | 6 |
| Slika 3. Njega korištenjem plastične folije [11] | 7 |
| Slika 4. Njega betona tekućom membranom[12] | 8 |
| Slika 5. Njega betona pokrivanjem slojem zemlje [13] | 9 |
| Slika 6. Njega svježeg betona pokrivanjem mokrom tkaninom [14] | 10 |
| Slika 7. Njega betona zaparivanjem[16] | 11 |
| Slika 8. Ograđeni prostor[17]..... | 20 |
| Slika 9. Njega betona korištenjem električne energije[19]..... | 12 |
| Slika 10. Njega betona infracrvenim zračenjem [7]..... | 13 |
| Slika 11. Laboratorijska miješalica [20]..... | 14 |
| Slika 12. Cementni mort u kalupima [20]..... | 15 |
| Slika 13. Agregat [20]..... | 25 |
| Slika 14. Odvajanje prizmi od kalupa [20]..... | 15 |
| Slika 15. Njegovanje prizmi u vodenom bazenu. [20]..... | 16 |
| Slika 16. Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem [20] | 18 |
| Slika 17. Grafički prikaz nanošenja vlačnog opterećenja na uzorak koji je negovan na sobnoj temperaturi..... | 22 |
| Slika 18. Grafički prikaz nanošenja vlačnog opterećenja na uzorak koji je negovan u vodi | 23 |
| Slika 19. Grafički prikaz nanošenja vlačnog opterećenja na uzorak koji je negovan na suncu..... | 25 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Slika 20. Oblik sloma uzorka nakon tlačnja.....</i> | <i>36</i> |
| <i>Slika 21. Ispitivanje tlačne čvrstoće.....</i> | <i>26</i> |
| Slika 22. Grafički prikaz nanošenja tlačnog opterećenja na uzorak njegovan na sobnoj temperaturi u vremenu, do sile sloma..... | 31 |
| Slika 23. Grafički prikaz nanošenja tlačnog opterećenja na uzorak koji je njegovan u vodenom bazenu u vremenu, do sile sloma..... | 33 |
| Slika 24. Grafički prikaz nanošenja tlačnog opterećenja na uzorak koji je njegovan na suncu u vremenu, do sile sloma | 36 |

1. UVOD

Beton kao smjesa cementa, agregata i vode je primjer cementnog kompozita s većim frakcijama agregata i sitnim česticama veziva - cementa. Sastoji se od skupina čestica različitih veličina međusobno povezanih mineralnim vezivom. Beton, nakon što je ugrađen, mora proći kroz fazu očvršćivanja. Tijekom ovog procesa, beton postupno dobiva čvrstoću zahvaljujući kemijskoj reakciji između cementa i vode poznatoj kao hidratacija. Beton ne postiže punu čvrstoću odmah nakon početnog očvršćivanja, već taj proces traje danima, tjednima, pa čak i mjesecima. [1] Međutim, ovaj period može varirati ovisno o nekoliko čimbenika koji utječu na kvalitetu betona. Jedan od ključnih čimbenika je prisutnost vlage. Zadržavanje optimalne razine vlage tijekom procesa očvršćivanja ključno je za postizanje projektirane čvrstoće betona. Ekstremni vremenski uvjeti, poput iznimno vrućeg ili suhog vremena, mogu negativno utjecati na očvršćivanje betona, jer mogu uzrokovati isušivanje i pucanje betonske mješavine. S druge strane, iznimno hladno vrijeme može dovesti do smrzavanja vode unutar betona, što također može narušiti njegovu strukturu i rezultirati manjom čvrstoćom od projektirane. Kako bi se osigurala njegova optimalna kvaliteta, važno je pravilno pristupiti procesu njegovanja i uzeti u obzir sve faktore koji mogu utjecati na kritični period očvršćivanja. Pravilno njegovanje ne samo da osigurava postizanje projektirane čvrstoće, već i doprinosi dugotrajnosti i otpornosti betonskih konstrukcija. [2]

2. KOMPOZITNI MATERIJALI

Kompozitni materijali su materijali koji nastaju kombiniranjem dvaju ili više materijala različitih fizikalno-kemijskih svojstava, s ciljem stvaranja novog materijala sa svojstvima koja nisu prisutna u pojedinačnim komponentama. Kroz ovaj postupak mogu se dobiti materijali s posebnim karakteristikama poput čvrstoće, tvrdoće, poroznosti, otpornosti na habanje, kemijske stabilnosti, toplinske i električne provodljivosti te termičke otpornosti. Ukupno ponašanje kompozita ovisit će o svojstvima matrice i ojačala (dodatka u matricu), veličini i raspodjeli sastavnih dijelova od kojih je kompozit izrađen, njihovom volumnom udjelu, obliku, ali ponajprije o prirodi i jakosti međusobnih interakcija među sastavnim dijelovima kompozita. Cementni kompozit se dodatno usložnjava uvođenjem drugih aktivnih ili inertnih sastojaka, poput pijeska u mortovima, agregata u betonu, ali i drugih kemijski aktivnih ili pak inertnih dodataka kao što su npr. troska, leteći pepeo, amorfni SiO_2 , kalcijev karbonat i drugi aditivi. Budući da cement predstavlja heterogeni reakcijski sustav koji kroz procese hidratacije proizvodi velik broj različitih produkata s različitim kemijsko-fizikalnim svojstvima, svaka mješavina vode i veziva mogla bi se smatrati vezivnim kompozitom. [3]

2.1. Cement

Cement je hidraulično vezivo, odnosno fino mljeveni anorganski materijal koji, kada se pomiješa s vodom, stvara cementno vezivo koje se hidratacijom veže i otvrdnjava, zadržavajući stabilan volumen nakon otvrdnjavanja. Cement se klasificira u dvije glavne skupine na temelju oksida prisutnih u njegovom faznom sustavu:

1. **Silikatni cement** nastaje pečenjem lapora i vapnenca, a najpoznatiji predstavnik ove skupine je Portland cement. Portland cement se koristi kao baza u proizvodnji metalurških, pucolanskih i supersulfatnih cementa.
2. **Aluminatni cement** dobiva se finim mljevenjem aluminatnog cementnog klinkera, koji nastaje pečenjem mješavine vapnenca (oko 40%) i boksita (oko 60%). Ovaj cement se koristi pri izradi vatrostalnih betona i za betoniranje u vrlo niskim temperaturama. [4]

2.1.1. Hidratacija cementa

Hidratacija cementa se odvija u nekoliko faza:

1. Početna reakcija: Kada se cement i voda pomiješaju, nastaje pasta koja počinje vezivati zrna agregata. Ova faza traje nekoliko sati.
2. Razdoblje mirovanja: Nakon početne reakcije, dolazi do kratkog razdoblja tijekom kojeg se čini da se reakcija usporava. Ovo vrijeme omogućava radnicima da transportiraju i oblikuju beton.
3. Faza ubrzanog očvršćivanja: Nakon razdoblja mirovanja, reakcija se ponovno ubrzava, a beton počinje značajno očvršćivati. U ovoj fazi dolazi do stvaranja kristala kalcijevog hidroksida i kalcijevog silikat hidrata, što doprinosi povećanju čvrstoće.
4. Kontinuirana hidratacija: Hidratacija se nastavlja tjednima nakon ugradnje betona, sve dok je prisutna dovoljna količina vode. Ova faza omogućava betonu da postigne svoju punu čvrstoću.

Nedostatak vode može prekinuti proces hidratacije što bi rezultiralo slabijim, manje trajnim betonom s većom sklonošću pucanju. Zbog toga što je prisustvo adekvatne količine vode od suštinskog značaja za očvršćivanje betona, važno je njegovo pravilno njegovanje tijekom tog procesa. Ono uključuje održavanje vlažnosti površine betona tijekom prvih nekoliko tjedana nakon ugradnje. Visoke temperature mogu ubrzati reakciju hidratacije, ali mogu dovesti do isušivanja površine betona, što može uzrokovati pukotine. S druge strane, niske temperature mogu usporiti ili potpuno zaustaviti proces hidratacije, što može spriječiti beton da postigne projektiranu čvrstoću. [5]

2.2. Agregat

Agregat čini otprilike $\frac{3}{4}$ volumena betona, što ga čini važnom komponentom zbog velikog utjecaja na svojstva svježeg i očvrsnulog betona. Njegova uloga je presudna u postizanju projektirane čvrstoće, kao i u određivanju toplinskih, elastičnih svojstava te stabilnosti

dimenzija i volumena betona. Agregati za beton dijele se na prirodne i umjetne. Prirodni agregati dobivaju se iz dva izvora:

1. vučenog nanosa, nastalog erozijom različitih vrsta stijena
2. drobljenjem velikih komada prirodnih stijena.

Svojstva agregata uglavnom ovise o karakteristikama izvorne stijene i postupku usitnjavanja. Međutim, umjetnom proizvodnjom mogu se minimizirati nedostaci određenih zrna. Granulometrijski sastav agregata odnosi se na raspodjelu veličine zrna u ukupnom sastavu betona, a analizira se prosijavanjem uzoraka kroz standardna sita, bez obzira na to je li riječ o prirodnim ili proizvedenim frakcijama. [6]

2.3. Voda

Voda je ključna komponenta u proizvodnji betona jer direktno utječe na kemijske reakcije koje dovode do stvrdnjavanja betonske smjese, kao i na njegova svojstva u svježem i očvrslom stanju. Voda koja je pogodna za piće smatra se odgovarajućom i za spravljanje betona, pod uvjetom da ne sadrži štetne tvari u visokim koncentracijama, poput kalija, natrija, sulfata, klorida i drugih nečistoća koje mogu negativno utjecati na proces hidratacije cementa ili izazvati dugoročna oštećenja. Kvaliteta vode određuje se i prema pH vrijednosti, koja bi trebala biti između 4,5 i 9,5. Pri niskoj kiselosti voda neće značajno utjecati na svojstva betona, ali prisutnost organskih tvari, kao što su humusne kiseline, može uzrokovati usporavanje vezivanja i smanjenje konačne čvrstoće betona. Morska voda se, u iznimnim situacijama, može koristiti za pripremu betona, ali nije pogodna za armirani beton zbog rizika od korozije armature. Iako morska voda ubrzava vezivanje betona, njezin nedostatak je taloženje soli na površini betona tijekom vremena, što može narušiti estetski izgled i trajnost betonskih struktura. [6]

3. NAČINI NJEGOVANJA BETONA

Očvršćivanje je temeljni proces koji značajno utječe na krajnju čvrstoću, trajnost i kvalitetu betonske konstrukcije. Pravilno očvrstnuli beton pokazuje bolju vlačnu čvrstoću savijanjem i tlačnu čvrstoću te može podnijeti predviđena opterećenja i naprezanja u odnosu na beton koji nije pravilno negovan. Ispravno negovanje doprinosi trajnosti betona smanjenjem površinskih pukotina, što pozitivno utječe na vanjske čimbenike kao što su ciklusi smrzavanja i odmrzavanja te abrazija. Pravilnim održavanjem razine vlage značajno se smanjuje rizik od skupljanja, pojave pukotina i drugih površinskih nedostataka. Proces očvršćivanja utječe na razvoj jake veze između cementne paste i agregata. [2] Kako bi beton dosegao projektiranu tlačnu čvrstoću potrebno je koristiti neku od metoda negovanja betona, dok duljina vremena negovanja ovisi o sljedećim čimbenicima:

- omjerima sastojaka u mješavini betona
- specificiranoj čvrstoći betona
- veličini i obliku betonskog elementa
- vremenskim uvjetima okoline
- uvjetima izloženosti elementa.

3.1. Njega betona vodom

Njegovanje vodom provodi se polijevanjem površine betona vodom tako da se osigura njegovo kontinuirano vlaženje. Međutim, prskanje toplog betona hladnom vodom može dovesti do toplinskog šoka koji može uzrokovati nastanak pukotina. Naizmjenice vlaženje i sušenje betona također se izbjegava jer uzrokuje promjene volumena koje također mogu doprinijeti pucanju površine. [1] U nastavku je opisano nekoliko metoda negovanja vodom:

- a) **Pondiranje ili uranjanje** je metoda kojom se na površinu izlije veća količina vode te se rubnikom spriječi njeno otjecanje (Slika 1). Ova metoda je vrlo korisna u suhim okruženjima jer nije potrebno kontinuirano nadolijevati vodu te pogoduje održavanju ravnomjerne temperature u betonu. Temperatura vode za njegu mora biti najviše 11°C manja od temperature u betonu kako bi se spriječila toplinska naprezanja koja mogu rezultirati pucanjem.[7]



Slika 1. "Ponding" metoda [8]

- b) **Prskanje betona vodom pomoću crijeva s finom mlaznicom ili ručne prskalice** jedan je od najčešćih načina njegoovanja betona (Slika 2).



Slika 2. Vlaženje betona prskanjem [9]

3.2. Njega betona folijama

Postoje dvije vrste folija koje se koriste za njegovanje betona - polietilenska folija i plastična folija. Koriste se kao zaštita novopostavljenom betonu tako što onemogućuju isparavanje vlage s betonske površine. Pri pokrivanju važno je da se zatvore svi rubovi, izglađe bore te da se učvrsti za podlogu tako što se stave letvice na rubove folije kako bi spriječile da vjetar podigne foliju (Slika 3). Folija može biti prozirna ili u boji. Na primjer, bijela ili svijetlo obojana folija reflektira sunčeve zrake i pomaže održati beton relativno hladnim tijekom vrućeg vremena. Crna plastika, s druge strane, apsorbira toplinu i može uzrokovati neprihvatljivo visoku temperaturu betona. Njegovu upotrebu treba izbjegavati po vrućem vremenu. U hladnom vremenu može biti korisna zbog ubrzavanja vremena kojom beton dobiva čvrstoću. Prozirna folija ima neutralniji utjecaj na temperaturu (osim po vrućem vremenu kada ne uspijeva zasjeniti površinu betona od sunca), ali može biti korisna zimi kako bi ubrzala očvršćivanje betona, no prozirna folija ima tendenciju da bude manje izdržljiva nego obojana folija, čime se smanjuje mogućnost za ponovnu uporabu. [10]



Slika 3. Njega korištenjem plastične folije [11]

3.3. Njega betona korištenjem tekuće membrane

Njega betona membranom je proces koji uključuje korištenje tekućine koja stvrdnjavanjem stvara membranu (Slika 4). Ovi se materijali raspršuju na gotovi beton čim se završi završno gletanje. Prikladna tekuća smjesa može održati oko 95% izvornog sadržaja vlage u betonskoj mješavini. Također njega korištenjem membrane je ekonomična i jednostavna za nanošenje. Ova metoda sprječava gubitak vode iz mješavine stvaranjem zaštitne membrane na površini ploče. Ova membrana je vrlo tanka te je učinkovita do 28 dana, a zatim će se istrošiti bez ostavljanja mrlja ili promjene boje betonske površine. Postoje dvije osnovne vrste nepigmentirane tekuće membranske mase, na bazi vode i na bazi smole. Korištenjem smole prikladno je za uporabu na betonu koji se kasnije neće bojati, popločavati ili tretirati na bilo koji način. Vosak sadržan u materijalu ostaje na površini i otežava prijanjanje buduće boje ili mastiksa. Membrana na bazi vode je idealna za ona područja gdje će se naknadno tretirati površina betona. Obje vrste su prozirne boje i nanose se valjkom ili četkom. Tekućina se ne smije nanositi na suhe površine jer će one apsorbirati tu tekućinu, što može rezultirati pojavom mrlja ili promjenom boje. Ako je površina suha, to je znak da je očvršćivanje započelo te ju treba navlažiti čistom vodom te namazati dok je još vlažna. Na ploču se nanosi smjesa što je prije moguće, a najkasnije pola sat nakon što je nestao sjaj uzrokovan vodom. [10]



Slika 4. Njega betona tekućom membranom[12]

3.4. Njega betona pokrivanjem piljevinom, pijeskom ili zemljom

Ova metoda se može primijeniti posebno kada se radi o debelom sloju betona koji nema veliku površinu. Preko betona se postavlja folija, a iznad toga pijesak, zemlja ili piljevina (Slika 5). Sloj zemlje treba biti debljine oko 50 mm te ga treba ravnomjerno rasporediti po prethodno navlaženoj površini betona i održavati kontinuirano vlažnom. Ukoliko se koristi mokro sijeno ili slama treba ga postaviti u sloju od najmanje 150 mm te ga treba pričvrstiti žičanom mrežom ili ceradom kako bi se spriječilo otpuhivanje zbog vjetrova. Veliki nedostatak ovog načina njege je što postoji mogućnost promjene boje betona. [9]



Slika 5. Njega betona pokrivanjem slojem zemlje [13]

3.5. Njega betona mokrim tkaninama

Mokru tkaninu koja zadržava vlagu treba postaviti čim je beton dovoljno očvrstnuo da se spriječi oštećenje površine (Slika 6). Upotreba polietilenske folije preko mokre tkanine je dobra praksa; to će eliminirati potrebu za kontinuiranim zalijevanjem površine.[10]



Slika 6. Njega svježeg betona pokrivanjem mokrom tkaninom [14]

3.6. Njega betona zaparivanjem

Njega betona parom ima prednost tijekom hladnog zimskog vremena kad je betonu potrebna dodatna toplina za postizanje hidratacije i za dobivanje rane čvrstoće betona. Koriste se dvije metode njege parom, živa para na atmosferski tlak (za zatvorene ili predgotovljene betonske konstrukcije) i para pod visokim pritiskom - za male proizvodne jedinice. Tri faze koje se koriste tijekom njegovanja betona parom su:

- 1) Vrijeme između miješanja betona i početka procesa parenja – u ovoj fazi beton se drži na konstantnoj sobnoj temperaturi koja se održava 180 minuta.
- 2) proces povećanja temperature – u ovoj fazi temperatura betona se povećava do 60°C uz približno vremensko razdoblje od 120 minuta.
- 3) održavanje maksimalne temperature – u ovoj fazi beton se drži na temperaturi ne višoj od 70°C i održava se 120 minuta.
- 4) Opadanje temperature – u trajanju od 120 minuta.

Zaparivanje je pogodno za zatvorene prostore kako bi se smanjili gubici vlage i topline (Slika 7). Cerade se često koriste za formiranje ograđenog prostora (Slika 8). Nanošenje pare treba započeti u razdoblju od 3 do 5 sati nakon betoniranja kako bi se omogućilo određeno očvršćivanje prije zaparivanja. [15]



Slika 7. Njega betona zaparivanjem[16]



Slika 8. Ograđivanje prostora[17]

3.7. Njega betona korištenjem električne energije

Električno njegovanje betona provodi se korištenjem topline generirane iz izmjenične struje za podizanje temperature betona koji sazrijeva (Slika 9). Beton se zagrijava pomoću izmjenične struje do otprilike 90°C jer će deset stupnjeva više dovesti do pretvaranja vode u paru, što može oštetiti beton. Ovim načinom toplinski se ubrzavaju reakcije hidratacije betona koji sazrijeva. Očvršćivanje se može izvesti na tri načina:

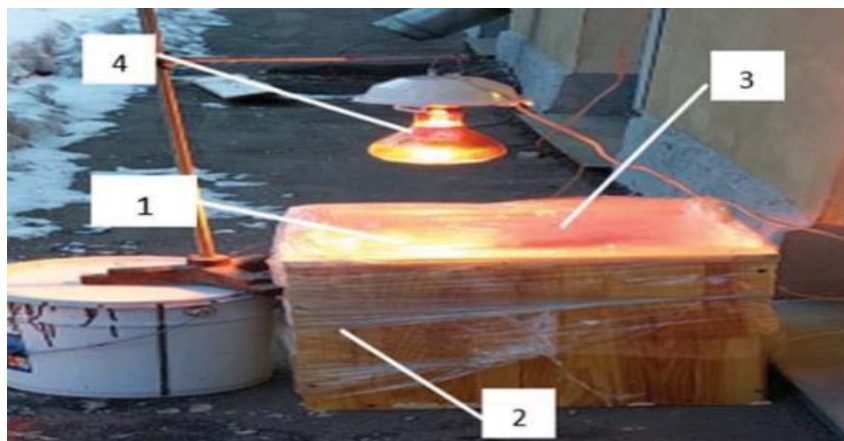
1. Elektrodne ploče ili mreža elektrodnih ploča spajaju se na lica betonskog elementa, a izmjenični napon od općenito 30 V ili 60 V prolazi kroz razdoblje od najviše tri dana. Pokazalo se da su dulja vremena stvrdnjavanja neekonomična čak i u najpovoljnijim uvjetima.
2. Veća magnituda i niži napon izmjenične struje u usporedbi s prvom metodom prolazi samo kroz čeličnu armaturu u betonu. To osigurava sporu, ali stabilnu i ravnomjernu raspodjelu topline.
3. Veliki električni jastučići okružuju beton poput oplata. Struja prolazi samo kroz jastučice i oni se zagrijavaju. Toplina vrlo ravnomjerno zagrijava beton. Iako je to prilično impresivna tehnika njege betona, rijetko se koristi jer je neekonomična. Koristi se samo u hladnim klimama gdje je beton vrlo osjetljiv na smrzavanje i odmrzavanje unutar prvog tjedna. Također, prirodno očvršćivanje nije lako po hladnom vremenu. Druga upotreba je tamo gdje trošak nije, ali je vrijeme najvažnije (veliki projekti). [18]



Slika 7. Njega betona korištenjem električne energije[19]

3.8. Njega betona infracrvenim zračenjem

Korištenje infracrvenog zračenja na betonskim površinama postaje sve popularnije zbog mnogih pogodnosti koje nudi. Postoji elektromagnetsko zračenje poznato kao infracrveno zračenje koje može prodrijeti duboko u čvrste objekte (Slika 10). Koristeći ovaj tretman, izgled betona se može uljepšati, proces njege može se ubrzati, a ukupni strukturni integritet betona može se poboljšati. Vrijedno je spomenuti da postoje mnoge vrste infracrvenog zračenja koje se koriste za obradu betonskih površina, od kojih svaki ima svoje prednosti i nedostatke. Najčešća vrsta infracrvenog zračenja koja se koristi za tretiranje betonskih površina poznata je kao infracrveno zračenje (SIR). Mnogo prednosti pruža SIR, koji je sposoban prodrijeti duboko u beton. Srednje infracrveno zračenje (MIR) je druga vrsta infracrvenog zračenja koja se može koristiti za tretiranje betonskih površina. Pokazalo se da je MIR sposoban dubokog prodiranja u površinu betona i brzog zagrijavanja, što pomaže u postupku njegovanja. Važno je napomenuti da je infracrveno zračenje vrsta elektromagnetskog zračenja. Ono djeluje na više načina na beton. Kao rezultat, temperatura betona se povećava. Zbog činjenice da je infracrveno zračenje vrsta energije koja može putovati kroz materijale, u slučaju betona, voda zagrijavanjem teže prodire i uzrokuje štetu. Beton se također stvrdnjava infracrvenim zračenjem kada je izložen tome. Nekoliko je razloga za to. Jedna od njih je da je infracrveno zračenje vrsta energije koja može promijeniti mikrostrukturu betona. [7]



Slika 8. Njega betona infracrvenim zračenjem [7]

4. EKSPREMINTALNI DIO RADA

4.1. Priprema uzoraka prizmi cementnog morta

Uzorci cementnog morta rađeni su u omjeru 1:3:0,5 (cement 450 g: agregat 1350g: voda 225 ml). Za miješanje je korištena laboratorijska miješalica s posudom volumena 5 L i lopaticom za miješanje (Slika 11). Miješalica ima dvije brzine okretaja, 125 i 280 o/min. Priprema mješavine cementnog morta prema normi HRN EN 196-provedena je prema sljedećoj proceduri:

1. doziranje cementa
1. dodavanje vode
2. miješanje 30 s na prvoj brzi okretaja
3. dodavanje agregata
4. miješanje 30 s na prvoj brzini okretaja
5. miješanje 30 s na drugoj brzini okretaja



Slika 9. Laboratorijska miješalica [20]

Svježi cementni mort, nakon miješanja, ugrađen je u metalne kalupe oblika prizme standardnih dimenzija 4 cm · 4 cm · 16 cm (Slika 12). Kalupi su prethodno premazani uljem

kako bi se olakšalo odvajanje prizmi nakon očvršćivanja. Nakon što je cementni mort ugrađen u kalupe, oni su postavljeni na vibro-ploču kako bi se uklonili zračni mjehurići i osigurala homogenost mješavine.



Slika 10. Cementni mort u kalupima [20]

Svi su ispitani uzorci izrađeni s istom vrstom agregata i cementa (Slika 13). Nakon 24 h u kalupu, uz pomoću laganih udaraca čekićem, uzorci su izvađeni (Slika 14) te su postavljeni u različite uvjete tijekom perioda očvršćivanja kako bi mogli ispitati utjecaje metoda njegovanja na njegovu čvrstoću.



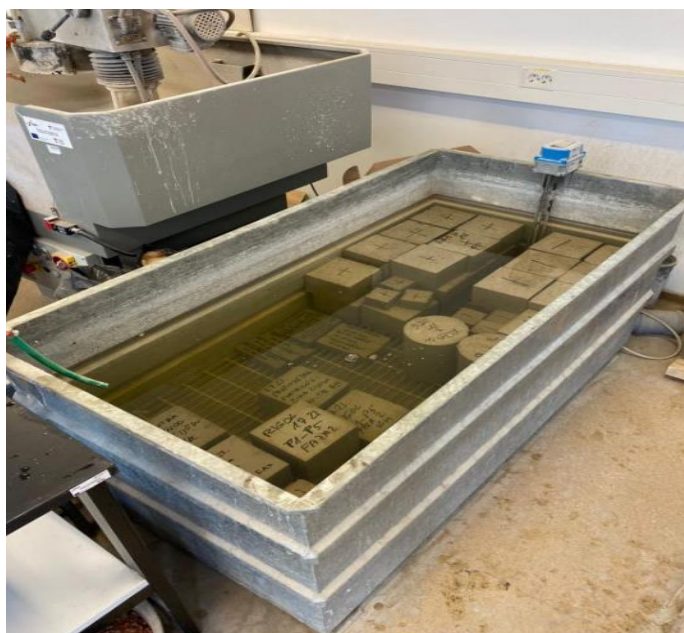
Slika 11. Agregat [20]



Slika 12. Odvajanje prizmi od kalupa [20]

4.2. Njegovanje pripremljenih cementnih uzoraka

Njegovanje prva 3 uzoraka provedeno je u bazenu s vodom temperature 20°-25° kako bi se spriječilo brzo isušivanje (Slika 15). Druga 3 uzorka postavljena su na uvjete sobne temperature od oko 22°C te su sljedeća 3 uzorka postavljena u uvjete direktne sunčeve svjetlosti.



Slika 13. Njegovanje prizmi u vodenom bazenu. [20]

U srpnju i kolovozu kada su prizme bile izložene vanjskim utjecajima, vanjska temperatura u prosjeku je iznosila 28°C s maksimalnom temperaturom od 38,5°C te najnižom od 15°C. Prosjek oborina iznosio je 103 mm te je trajanje sijanja sunca u mjesecu srpnju iznosilo 355,5 h kao što je evidentno u *Tablici 1*. Očvršćivanje na suncu provodilo se bez dodatnog polijevanja vodom. Ispitivanje čvrstoće pripremljenih prizmi provedeno nakon 56 dana od miješanja, a standardno se ispitivanja provode nakon 2, 7 ili 28 dana. Rezultati ispitivanja čvrstoće mogu se promijeniti s vremenom, a dulje vrijeme zrenja može dovesti do daljnjeg povećanja čvrstoće morta.

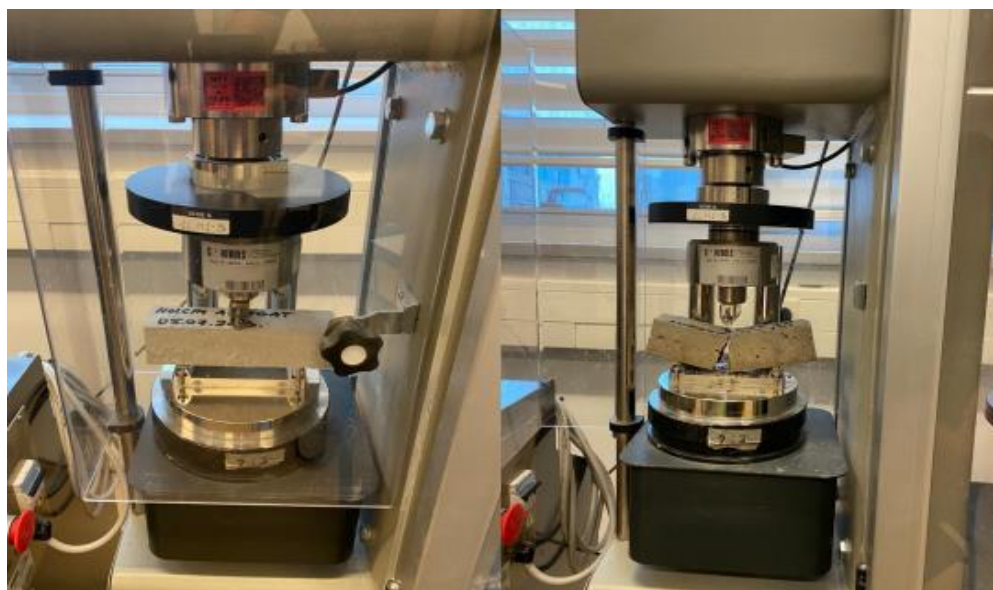
Tablica 1: Mjesečni agrometeorološki bilten [21]

| srpanj 2023 * | LIKA I G. KOTAR | ISTRA I PRIMORJE | DALMACIJA obala i otoci | DALMACIJA unutrašnjost |
|----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|
| | TEMPERATURA ZRAKA (°C) | | | |
| Maksimalna | • 36.5 | • 38.5 | • 37.5 | • 39.4 |
| Srednja mj. maks. | • 29.3 | • 31.4 | • 31.9 | • 33.0 |
| Srednja mjesečna | • 21.8 | • 26.5 | • 27.5 | • 26.5 |
| Srednja mj. min. | • 14.0 | • 21.6 | • 22.9 | • 19.3 |
| Minimalna | • 6.8 | • 15.0 | • 14.5 | • 10.0 |
| | TRAJANJE SIJANJA SUNCA (h) | | | |
| Maks. mjesečno | 345.8 | 388.0 | 388.9 | 370.7 |
| Srednje mjesečno | 328 | 355.6 | 380.1 | 365.2 |
| Min. mjesečno | 311.7 | 332.8 | 366.7 | 359.7 |
| | OBORINA (mm) | | | |
| Maks. mjesečna | • 105 | • 217 | • 101 | • 32 |
| Srednja mjesečna | • 74 | • 103 | • 26 | • 23 |
| Min. mjesečna | • 25 | • 26 | • 2 | • 13 |
| Maks. dnevna | • 73.0 | • 80.8 | • 83.7 | • 25.3 |

| | | | | |
|------------------------|------------------------------|------|------|------|
| Sr. br. dana s ob. | • 8 | • 9 | • 3 | • 3 |
| | RELATIVNA VLAŽNOST ZRAKA (%) | | | |
| Maks. sr. mjesečna | • 72 | • 62 | • 70 | • 72 |
| Srednja mjesečna | • 69 | • 60 | • 57 | • 52 |
| Min. sr. mjesečna | • 65 | • 57 | • 48 | • 22 |
| Sr. br. suhih dana* | • 1 | • 0 | • 2 | • 10 |
| Sr. br. vlažnih dana** | • 1 | • 0 | • 0 | • 1 |

4.3. Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem

Vlačna čvrstoća ispitana je pomoću savijanja u tri točke, kao što je prikazano na Slici 16.



Slika 14. Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem [20]

Svaka prizma je prvo izmjerena (b, h, l) prije nego što je postavljena u uređaj za ispitivanje. Rezultati tih mjerenja navedeni su u Tablici 2. Dimenzije uzoraka, njihova starost, primijenjeni standard za ispitivanje, kao i svi drugi relevantni podaci uneseni su u računalni program. Uzorak je smješten u uređaj tako da se ravnomjerno oslonio na dva donja oslonca, koja su bila udaljena 100 mm, dok je središnji dio uzorka bio smješten ispod točke na kojoj je primijenjeno opterećenje. Opterećenje se primjenjivalo ravnomjerno brzinom od 50 ± 10 N/s sve dok uzorak nije pukao. Pri trenutku sloma, zabilježena je maksimalna sila koja je djelovala na prizmu. Rezultati ispitivanja čvrstoće, uključujući maksimalnu silu koju je uzorak izdržao pod tlakom, zabilježeni su u izvještaju, zajedno s ostalim relevantnim podacima. Ispitivanje je provedeno na tri uzorka koristeći istu metodu.

Tablica 2. Uzorci cementnih prizmi po oznakama

| UZORAK | OZNAKA | DIMENZIJE(mm) | | | MASA (kg) |
|---------------------|--------|---------------|------|-------|-----------|
| | | b | h | l | |
| SOBNA TEMPERATURA 1 | ST1 | 40,8 | 40,6 | 160,2 | 0,55 |
| SOBNA TEMPERATURA 2 | ST2 | 40,8 | 40,1 | 160,2 | 0,56 |
| SOBNA TEMPERATURA 3 | ST3 | 40,3 | 40,1 | 160,1 | 0,56 |
| U VODI 1 | V1 | 41,0 | 40,2 | 160,4 | 0,57 |
| U VODI 2 | V2 | 41,3 | 40,2 | 160,4 | 0,57 |
| U VODI 3 | V3 | 42,0 | 40,3 | 160,3 | 0,59 |
| NA SUNCU 1 | S1 | 40,1 | 39,2 | 160,1 | 0,54 |
| NA SUNCU 2 | S2 | 40,1 | 39,4 | 160,0 | 0,51 |
| NA SUNCU 3 | S2 | 40,1 | 40,0 | 160,1 | 0,53 |

Ova metoda osigurava standardiziran način određivanja čvrstoće. Da bi se osigurala točnost i dosljednost rezultata ispitivanja, ključno je pridržavati se norme HRN EN 196-1.

Čvrstoća na savijanje računa se kao srednja vrijednost tri ispitana uzorka prizme prema formuli (1):

$$\sigma_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (1)$$

Gdje je:

σ_f – čvrstoća na savijanje (MPa)

F_f – sila sloma (N)

b – širina poprečnog presjeka (mm)

h – visina poprečnog presjeka (mm)

l – udaljenost između oslonaca (mm)

Ispitivanje je provedeno na ukupno 9 uzoraka prizme, od kojih su svaka 3 njegovana u drugačijim uvjetima 56 dana i to - 3 uzorka na sobnoj temperaturi u hladu (ST), 3 u vodi (V) i 3 na suncu (S).

4.3.1. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće na savijanje HRN EN 196-1:

Rezultati svih ispitivanja vlačnih čvrstoća na savijanje prikazani su u *Tablici 3*, dok rezultate pojedinačnih uzoraka, onih njegovanih na sobnoj temperaturi vidimo na *Slici 17*, njegovanih u vodi na *Slici 18*, te rezultate uzoraka koji su bili na suncu na *Slici 19*.

Tablica 2. Vlačna čvrstoća savijanjem

| | OZNAKA | SILA SLOMA (N) | ČVRSTOĆA (MPa) | SREDNJA ČVRSTOĆA (MPa) |
|-----------------|--------|----------------|----------------|------------------------|
| UZORAK U HLADU | ST1 | 2688 | 6,19 | 6,44 |
| | ST2 | 2972 | 6,88 | |
| | ST3 | 2678 | 6,25 | |
| UZORAK U VODI | V1 | 3528 | 7,99 | 8,50 |
| | V2 | 3743 | 8,53 | |
| | V3 | 4099 | 8,99 | |
| UZORAK NA SUNCU | S1 | 2027 | 4,81 | 5,61 |
| | S2 | 2899 | 6,39 | |
| | S3 | 2529 | 5,64 | |

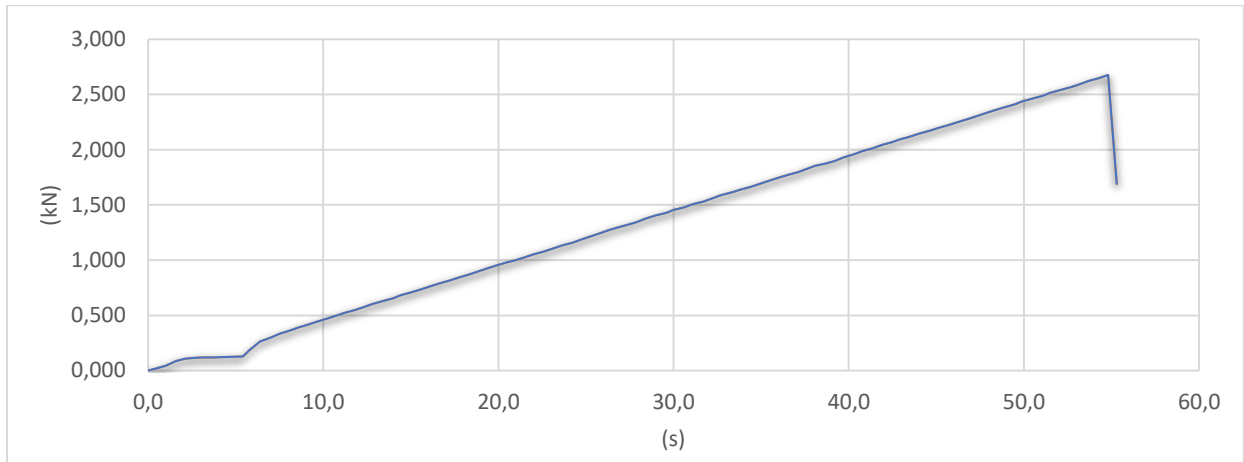
Rezultati ispitivanja uzoraka koji je njegovan na sobnoj temperaturi

UZORAK ST1:

MASA:0,55 kg

SILA SLOMA: 2688 N

ČVRSTOĆA: 6,19 MPa

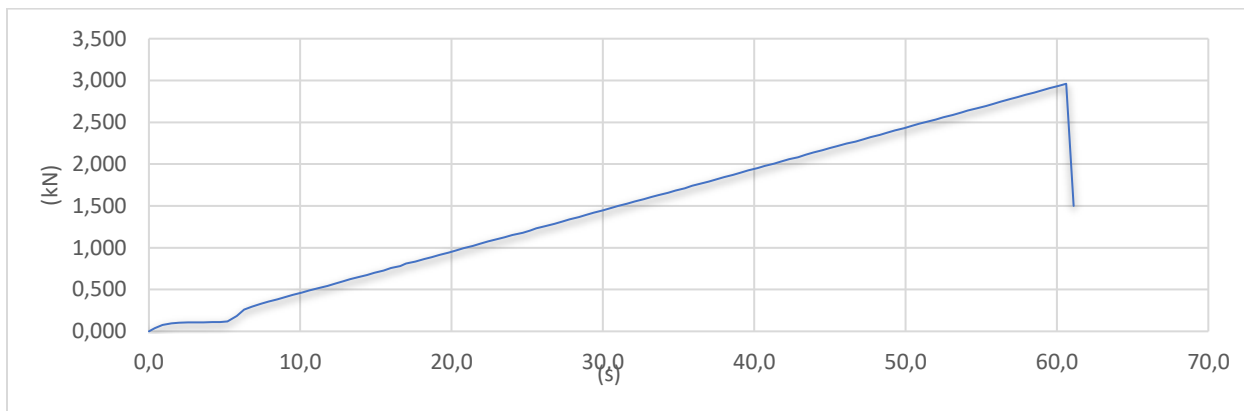


UZORAK ST2:

MASA:0,56 kg

SILA SLOMA: 2972 N

ČVRSTOĆA: 6,88 MPa

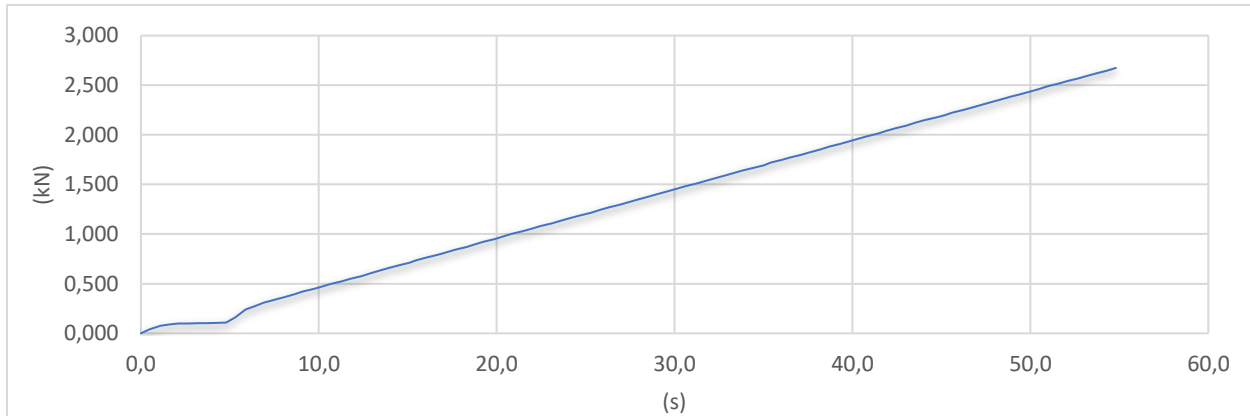


UZORAK ST3:

MASA:0,56 kg

SILA SLOMA: 2678 N

ČVRSTOĆA: 6,25 MPa



Slika 15. Grafički prikaz nanošenja vlačnog opterećenja na uzorak koji je njegovan na sobnoj temperaturi.

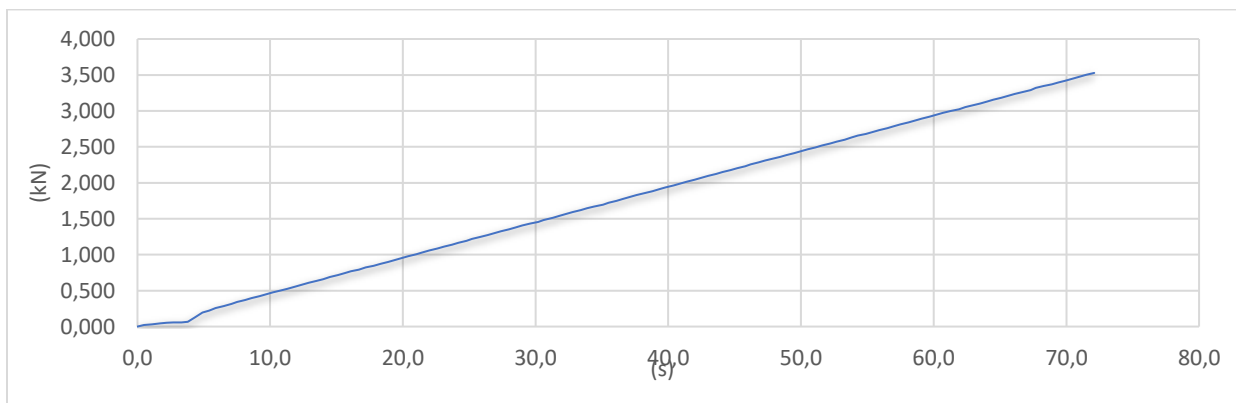
Rezultati ispitivanja za uzorak koji je bio potopljen u vodi

UZORAK V1:

MASA:0,57 kg

SILA SLOMA: 3528 N

ČVRSTOĆA: 7,99 MPa

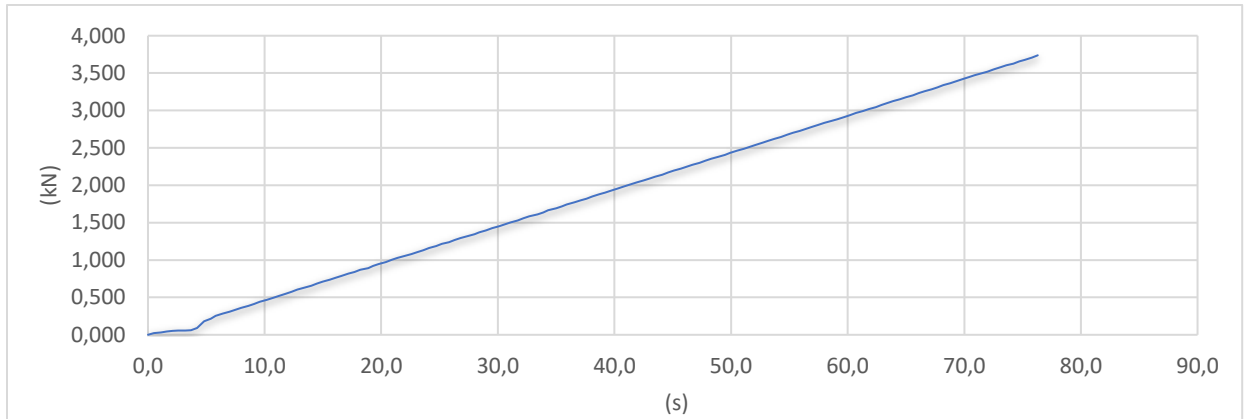


UZORAK V2:

MASA:0,57 kg

SILA SLOMA: 3743 N

ČVRSTOĆA: 8,53 MPa

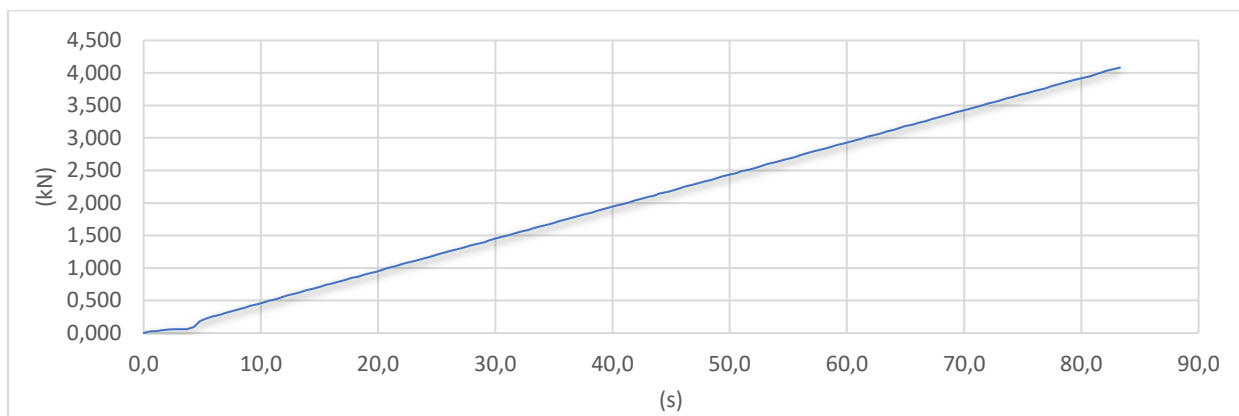


UZORAK V3:

MASA:0,59 kg

SILA SLOMA: 4099 N

ČVRSTOĆA: 8,99 MPa



Slika 16. Grafički prikaz nanošenja vlačnog opterećenja na uzorak koji je njegovan u vodi

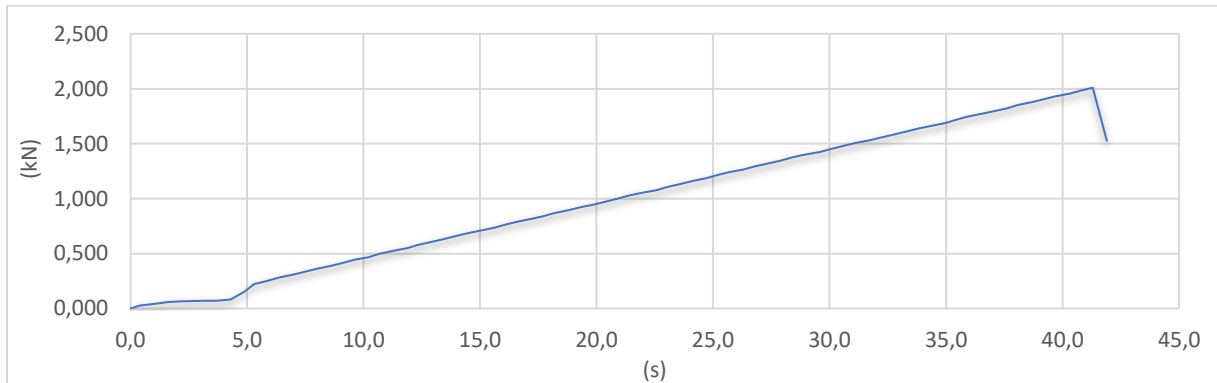
Rezultati ispitivanja za uzorak koji je bio na suncu

UZORAK S1:

MASA:0,54 kg

SILA SLOMA: 2027 N

ČVRSTOĆA: 4,81 MPa

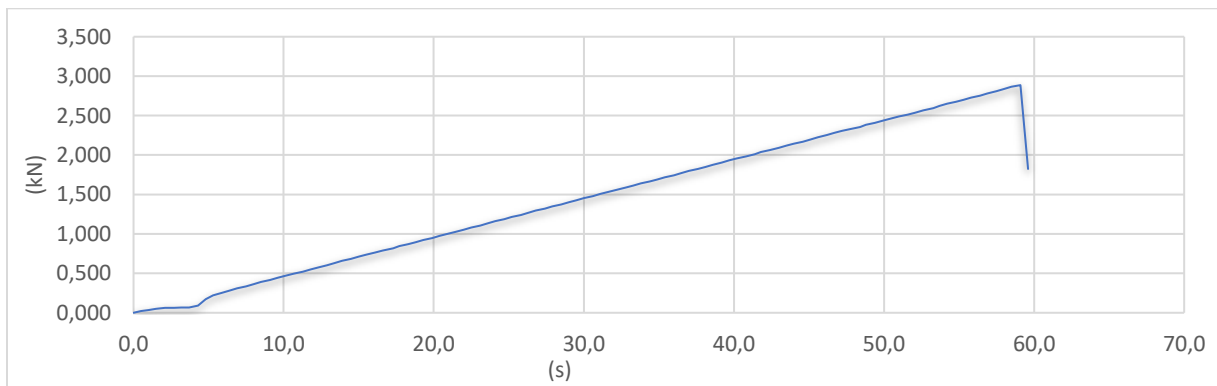


UZORAK S2:

MASA:0,51 kg

SILA SLOMA: 2899 N

ČVRSTOĆA: 6,39 MPa

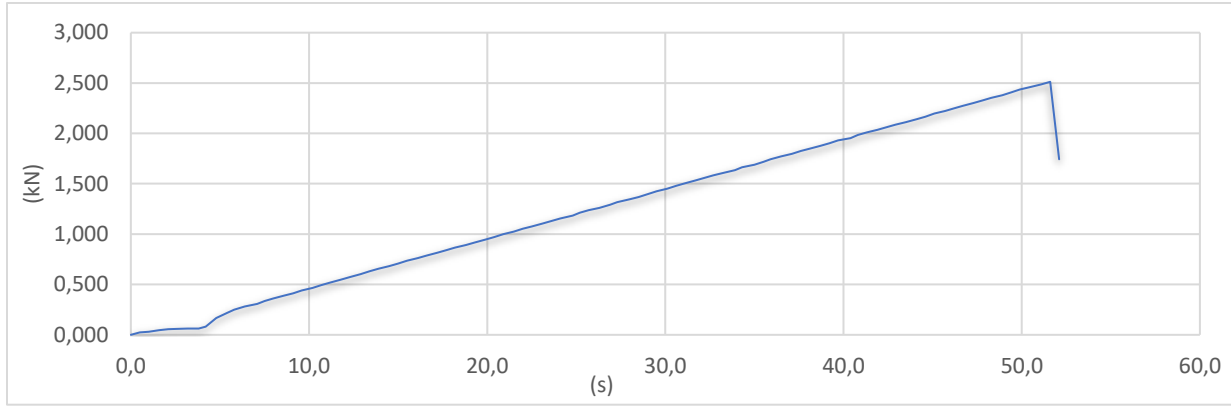


UZORAK S3:

MASA: 0,53 kg

SILA SLOMA: 2529 N

ČVRSTOĆA: 5,64 MPa



Slika 17. Grafički prikaz nanošenja vlačnog opterećenja na uzorak koji je njegovan na suncu.

4.3.2. Analiza rezultata vlačne čvrstoće savijanjem

Analizom srednjih čvrstoća uzoraka prizmi prikazanih u Tablici 3, može se zaključiti da način njegovanja značajno utječe na čvrstoću betona. Također, uzorci se razlikuju u intenzitetu sile potrebne za slom i u vremenskom periodu od primjene sile do trenutka sloma, što je vidljivo i iz grafičkih prikaza. Iako su svi uzorci imali iste dimenzije, primijećene su razlike u njihovoj masi prije ispitivanja, što ovisi o uvjetima kojima su uzorci bili izloženi tijekom očvršćivanja. Uzorak koji je bio potopljen u vodi pokazuje najveću silu sloma (N), najvišu čvrstoću (MPa), i bilo je potrebno najviše vremena (s) za slom prizme.

4.4. Ispitivanje tlačne čvrstoće

Prizme se nakon ispitivanja na savijanje slome u dva dijela nepravilnog oblika (Slika 20). Potrebno je unijeti podatke u računalni program, kao kod ispitivanja tlačne čvrstoće, ali ovog puta se unose dimenzije metalnih pločica koje prenose opterećenje na uzorke, a ne dimenzije prizme. Svaki dio se opterećuje na tlak preko pravokutnih čeličnih pločica dimenzija 40 · 40 mm, prenoseći opterećenje jednoliko s obje strane brzinom 2400 ± 200 N/s do sloma (Slika 21). Na taj način simuliraju se uzorci u obliku kocke sa stranom $a = 40$ mm, budući da preostali dio prizme koji nije u kontaktu s pločicom ne utječe na rezultate ispitivanja. Sila

koja se primjenjuje na uzorak postepeno se povećava sve dok uzorak ne pukne, a pritom se bilježi maksimalna sila koju uzorak može podnijeti.



Slika 18. Oblik sloma uzorka nakon tlačnja



Slika 19. Ispitivanje tlačne čvrstoće

Čvrstoća na tlak računa se kao srednja vrijednost 6 ispitanih uzoraka koji su polovice prizme prema formuli (2):

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad (2)$$

Gdje je $A = 40 \cdot 40 = 1600 \text{ mm}^2$

σ_c – čvrstoća na tlak (MPa)

F_c – sila sloma (N)

A – površina opterećenja (mm^2)

Ispitivanje se provodi na 6 uzoraka polovina prizmi, što znači da se testira ukupno 18 uzoraka ako se koriste 3 različite metode njegovanja. Ako jedan od rezultata u grupi od 6 uzoraka istog agregata odstupa više od 10% od srednje vrijednosti, taj rezultat se odbacuje, a srednja vrijednost se računa na temelju preostalih 5 rezultata. Ako se još jedan rezultat među tih preostalih 5 također razlikuje za više od 10% od srednje vrijednosti, svi rezultati iz tog ispitivanja se odbacuju.

4.4.1. Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće prema HRN EN 196-1:

Rezultati svih ispitivanja tlačnih čvrstoća prikazani su u *Tablici 4*, dok grafičke rezultate pojedinačnih uzoraka, onih njegovanih na sobnoj temperaturi vidimo na Slici 20, njegovanih u vodi na Slici 21, te rezultate uzoraka koji su bili na suncu na Slici 22.

Tablica 3. Tlačna čvrstoća cementnog morta

| | OZNAKA | SILA SLOMA[N] | ČVRSTOĆA[MPa] | SREDNJA ČVRSTOĆA[MPa] |
|-----------------------|--------|---------------|---------------|-----------------------|
| UZORAK U HLADU | ST1(A) | 6007 | 37,54 | 37,41 |
| | ST1(B) | 6251 | 39,07 | |
| | ST2(A) | 6109 | 38,18 | |
| | ST2(B) | 5911 | 36,95 | |
| | ST3(A) | 5549 | 34,68 | |
| | ST3(B) | 6084 | 38,02 | |
| UZORAK U VODI | V1(A) | 8500 | 53,13 | 52,20 |
| | V1(B) | 8203 | 51,27 | |
| | V2(A) | 8195 | 51,22 | |
| | V2(B) | 8021 | 50,13 | |
| | V3(A) | 8639 | 53,99 | |
| | V3(B) | 8555 | 53,47 | |
| UZORAK NA SUNCU | S1(A) | 5011 | 31,26 | 27,95 |
| | S1(B) | 4315 | 26,97 | |
| | S2(A) | 5137 | 32,10 | |
| | S2(B) | 3467 | 21,67 | |
| | S3(A) | 5645 | 35,28 | |
| | S3(B) | 3266 | 20,41 | |

U ispitivanjima betona, omjer čvrstoća između različitih strana prizme računa se kako bi se procijenila ujednačenost materijala. Manja čvrstoća se podijeli s većom i pretvori u postotak. Ispitivanje uzorka koji odstupa više od 10% od srednje čvrstoće se odbacuje kako bi se

osigurala točnost i pouzdanost rezultata ispitivanja. Kada jedan uzorak odstupa značajno od prosječne vrijednosti, to može ukazivati na neku nepravilnost u postupku izrade, očvršćivanja ili ispitivanja tog uzorka.

RAČUNSKI POSTUPAK:

Za uzorke njegovane u hladu:

$$\frac{37,41 - 34,68}{37,41} \times 100\% = 7,29\% \rightarrow \text{prihvaća se}$$

$$\frac{37,41 - 39,07}{37,41} \times 100\% = 4,44\% \rightarrow \text{prihvaća se}$$

Za uzorke njegovane u vodi:

$$\frac{52,20 - 50,13}{52,20} \times 100\% = 3,97\% \rightarrow \text{prihvaća se}$$

$$\frac{52,20 - 53,99}{52,20} \times 100\% = 3,42\% \rightarrow \text{prihvaća se}$$

Za uzorke njegovane na suncu:

$$\frac{27,95 - 20,41}{27,95} \times 100\% = 26,98\% \rightarrow \text{odbacuje se}$$

$$\frac{27,95 - 35,28}{27,95} \times 100\% = 26,22\% \rightarrow \text{odbacuje se}$$

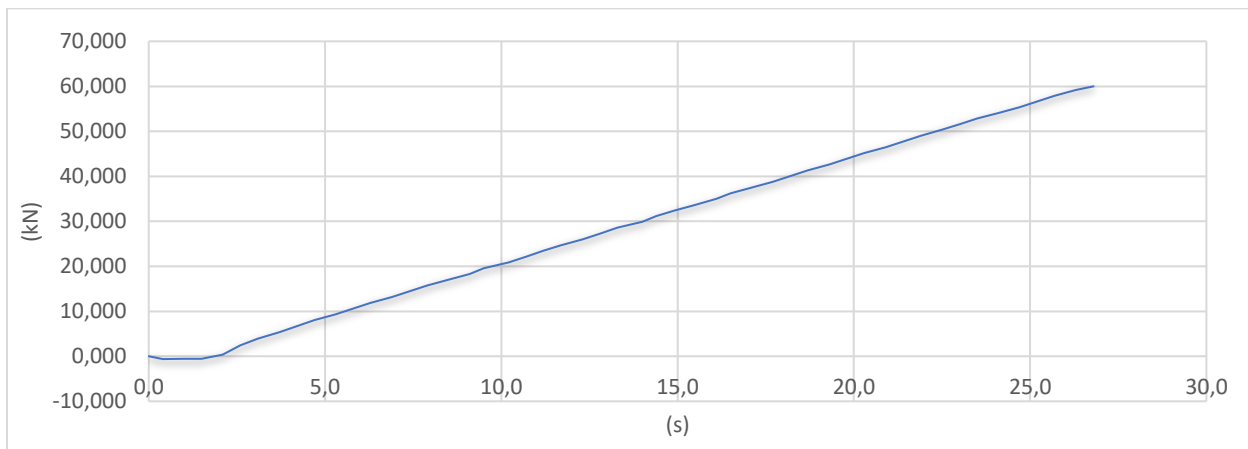
Ovo ispitivanje se odbacuje jer dva rezultata odstupaju više od 10%

Rezultati ispitivanja za uzorak koji je bio u hladu

UZORAK ST1(A):

SILA SLOMA: 6007 N

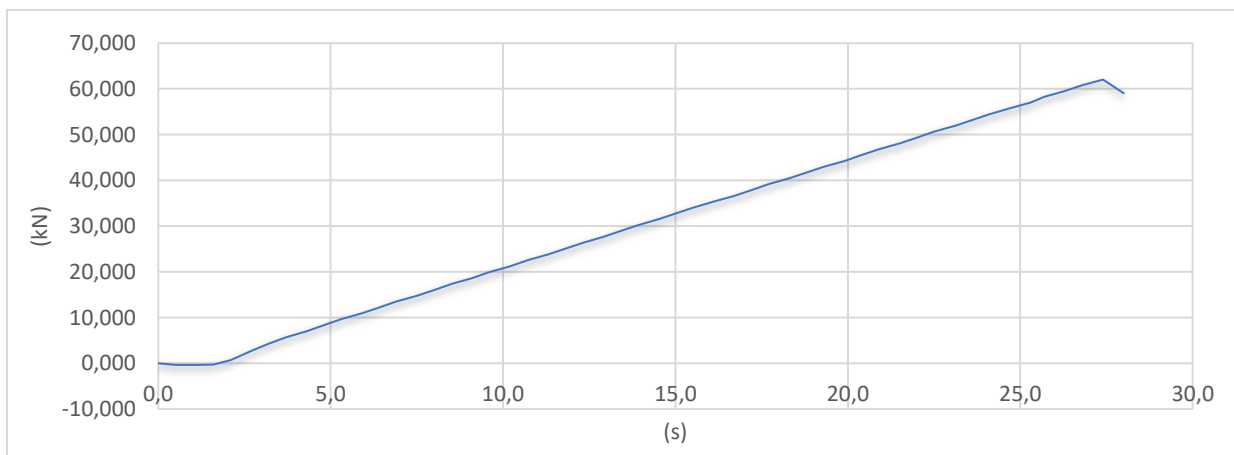
ČVRSTOĆA: 37,54 MPa



UZORAK ST1(B):

SILA SLOMA: 6251 N

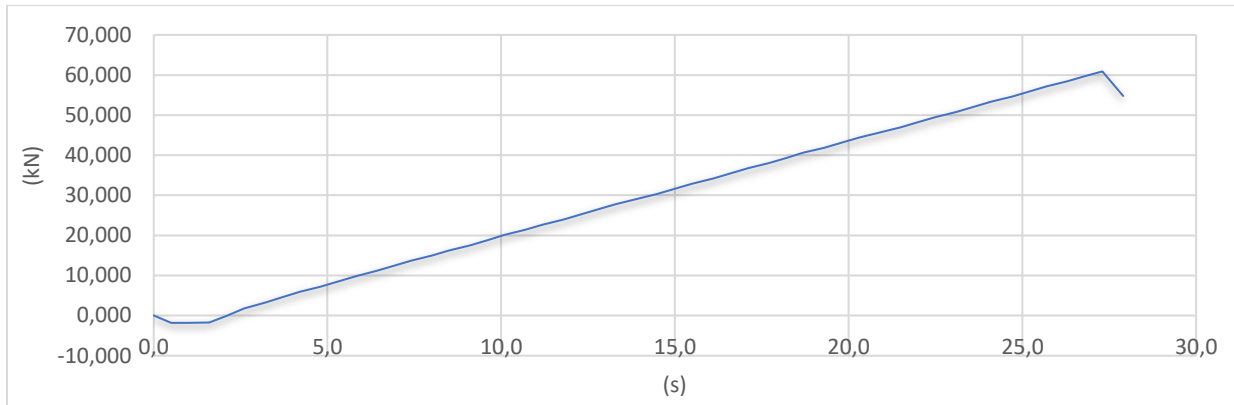
ČVRSTOĆA: 39,07 MPa



UZORAK ST2(A):

SILA SLOMA: 6109 N

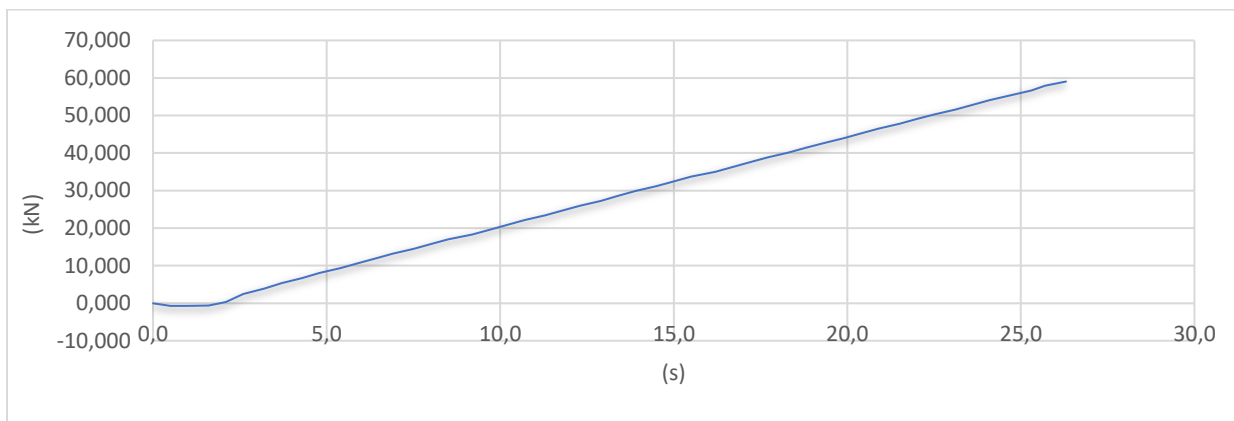
ČVRSTOĆA: 38,18 MPa



UZORAK ST2(B):

SILA SLOMA: 5911 N

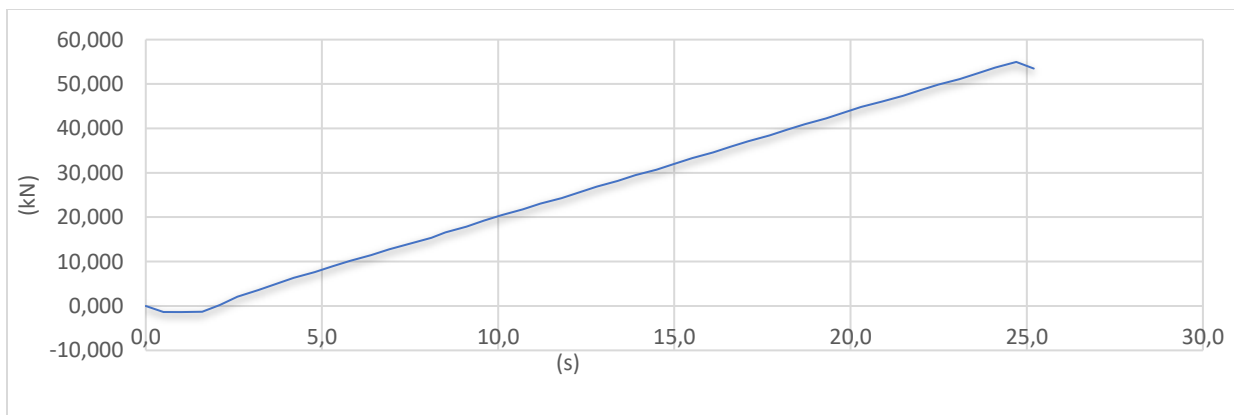
ČVRSTOĆA: 36,95 MPa



UZORAK ST3(A):

SILA SLOMA: 5549 N

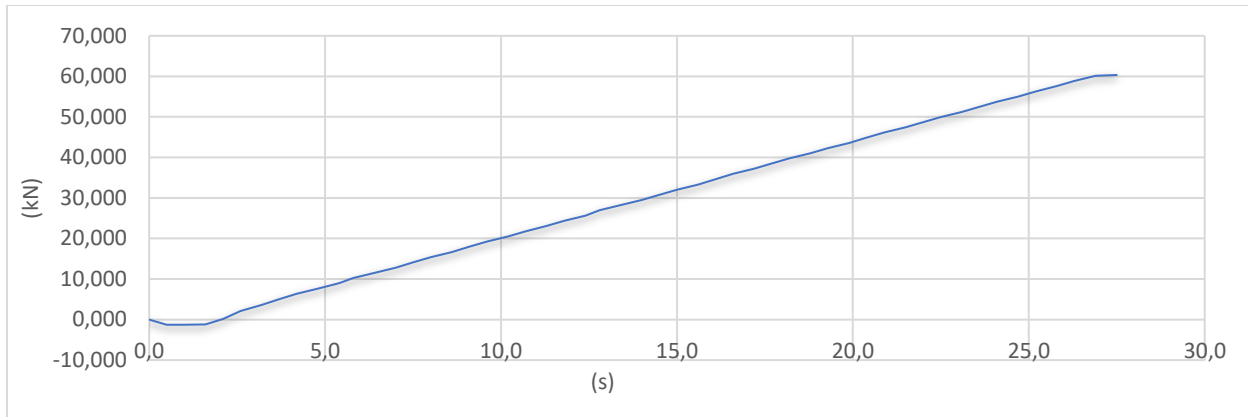
ČVRSTOĆA: 34,68 MPa



UZORAK ST3(B):

SILA SLOMA: 6084 N

ČVRSTOĆA: 38,02 MPa



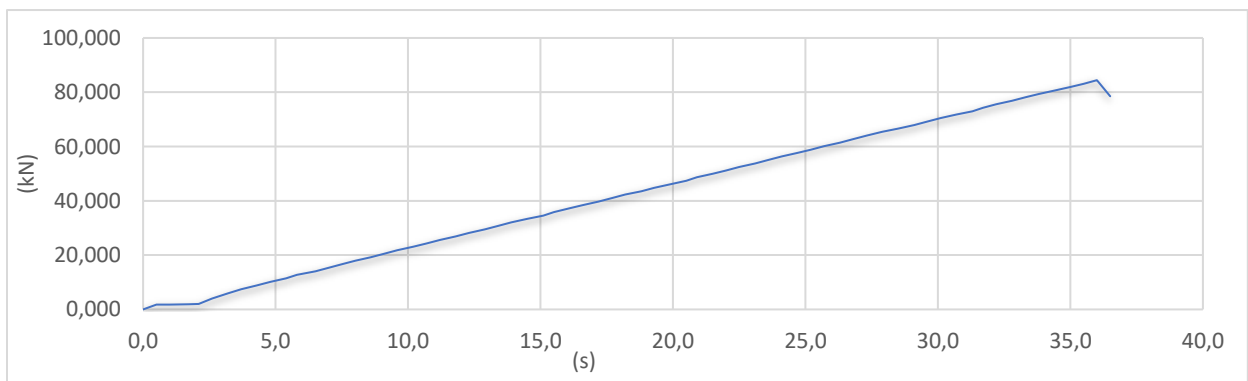
Slika 20. Grafički prikaz nanošenja tlačnog opterećenja na uzorak njegovan na sobnoj temperaturi u vremenu, do sile sloma

Rezultati ispitivanja za uzorak koji je bio u vodi

UZORAK V1(A):

SILA SLOMA: 8500 N

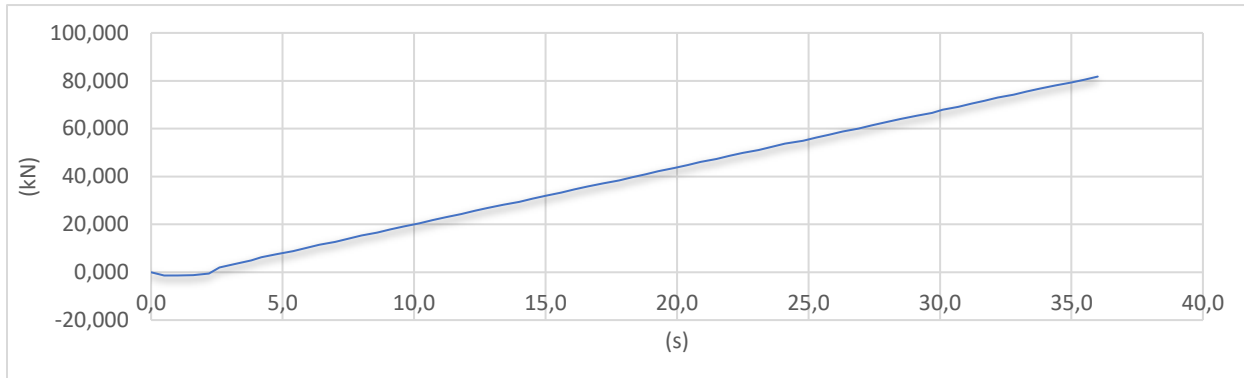
ČVRSTOĆA: 53,13 MPa



UZORAK V1(B):

SILA SLOMA: 8203 N

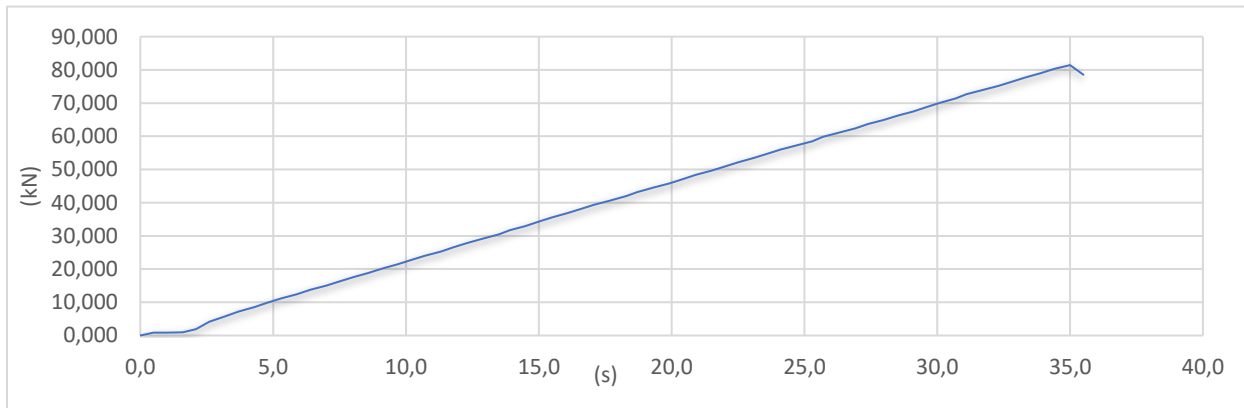
ČVRSTOĆA: 51,27 MPa



UZORAK V2(A):

SILA SLOMA: 8195 N

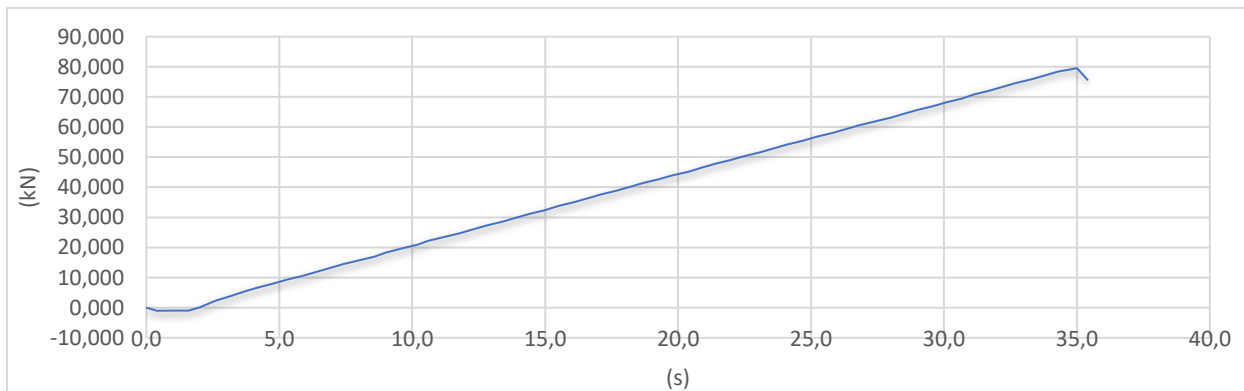
ČVRSTOĆA: 51,22 MPa



UZORAK V2(B):

SILA SLOMA: 8021N

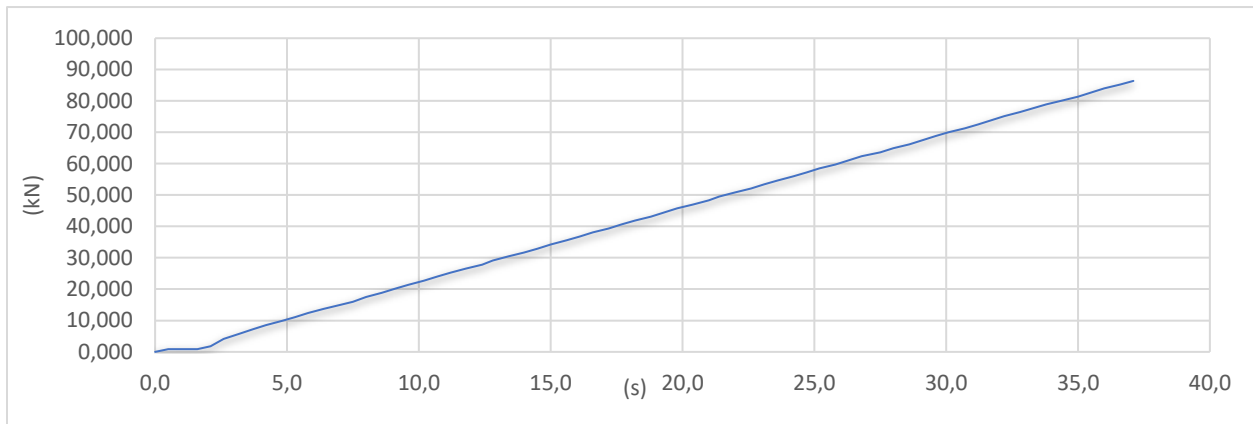
ČVRSTOĆA: 50,13 MPa



UZORAK V3(A):

SILA SLOMA: 8639 N

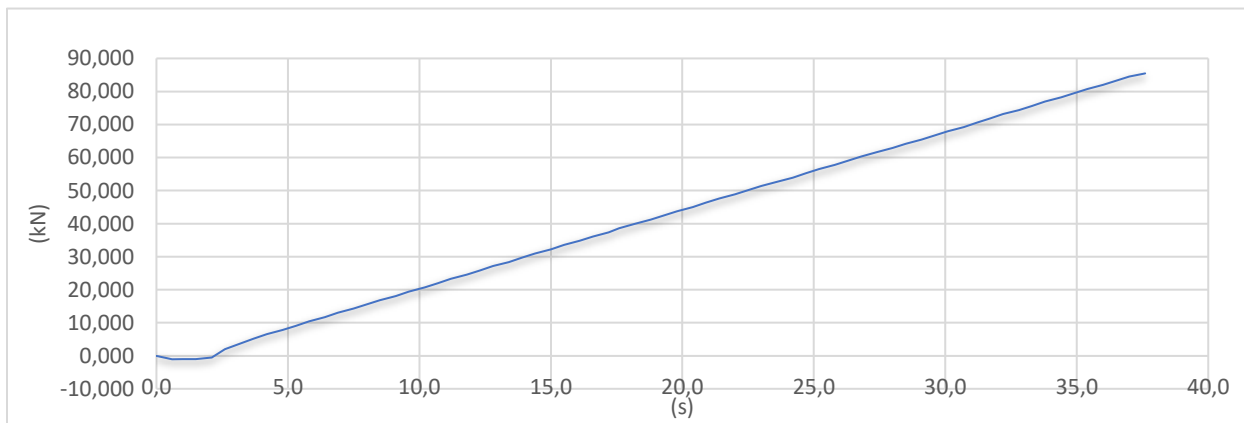
ČVRSTOĆA: 53,99 MPa



UZORAK V3(B):

SILA SLOMA: 8555 N

ČVRSTOĆA: 53,47 MPa



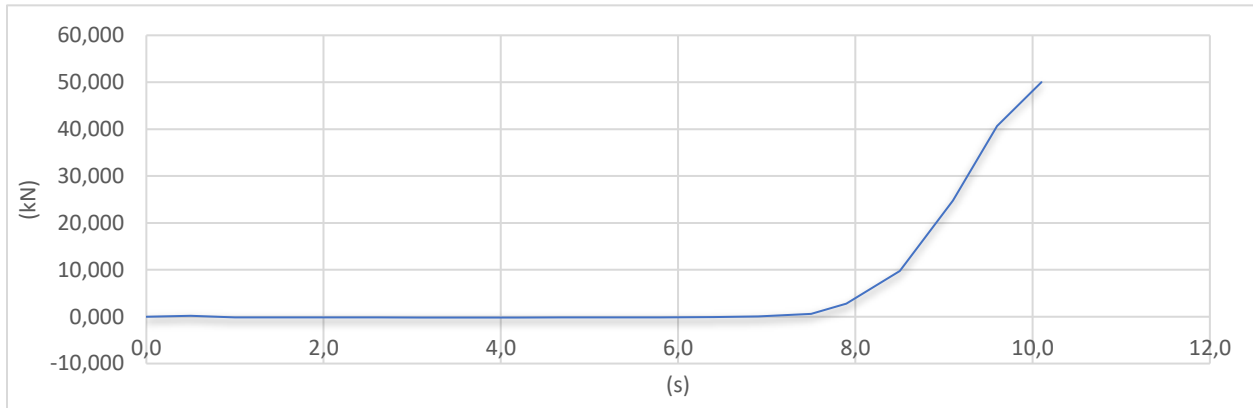
Slika 21. Grafički prikaz nanošenja tlačnog opterećenja na uzorak koji je njegovan u vodenom bazenu u vremenu, do sile sloma

Rezultati ispitivanja za uzorak koji je bio na suncu

UZORAK S1(A):

SILA SLOMA: 5011 N

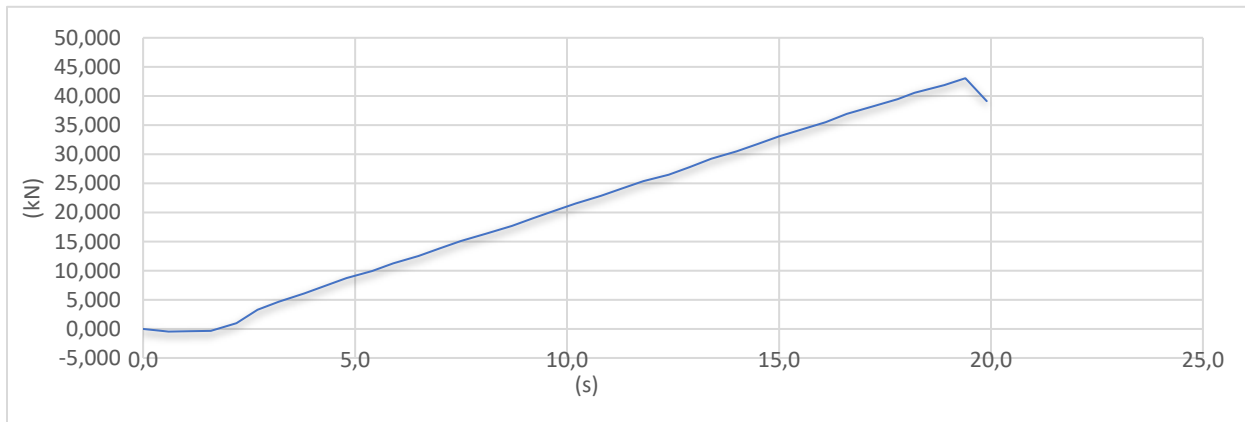
ČVRSTOĆA: 31,26 MPa



UZORAK S1(B):

SILA SLOMA: 4315 N

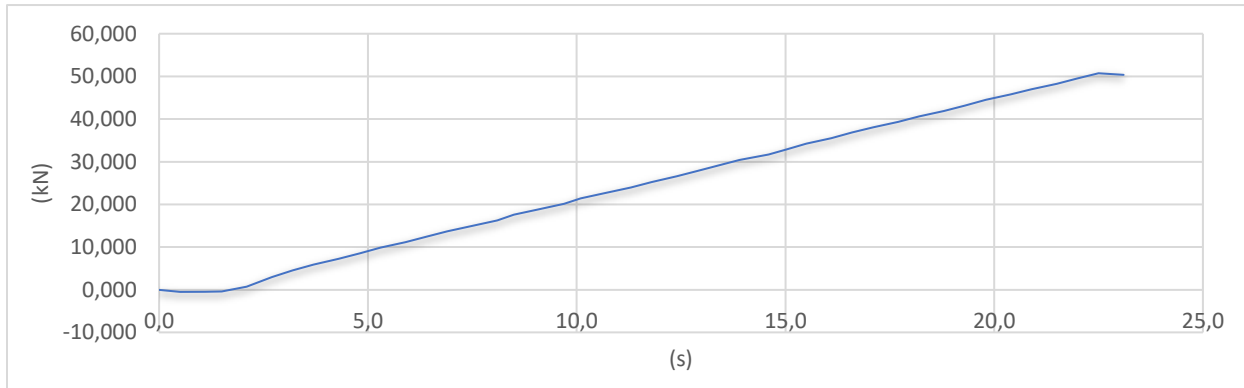
ČVRSTOĆA: 26,97 MPa



UZORAK S2(A):

SILA SLOMA: 5137 N

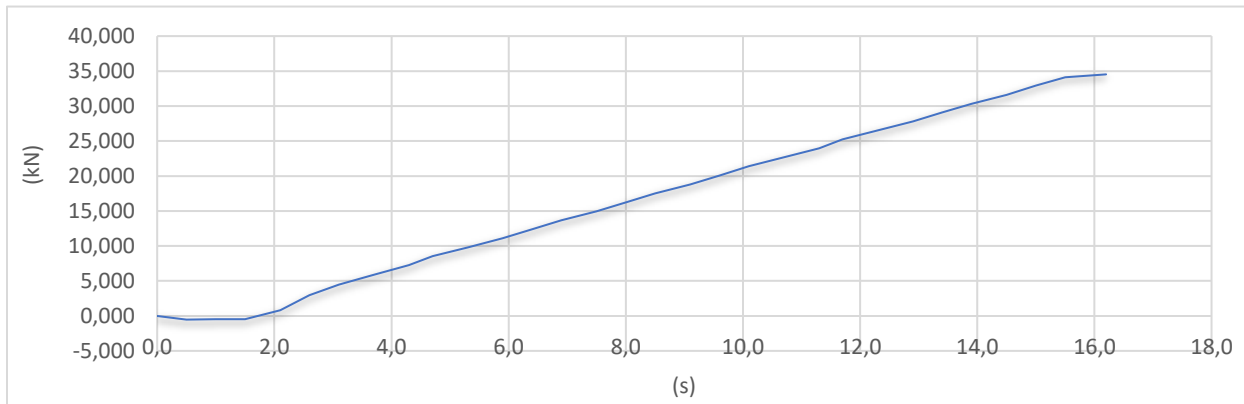
ČVRSTOĆA: 32,10 MPa



UZORAK S2(B):

SILA SLOMA: 3467 N

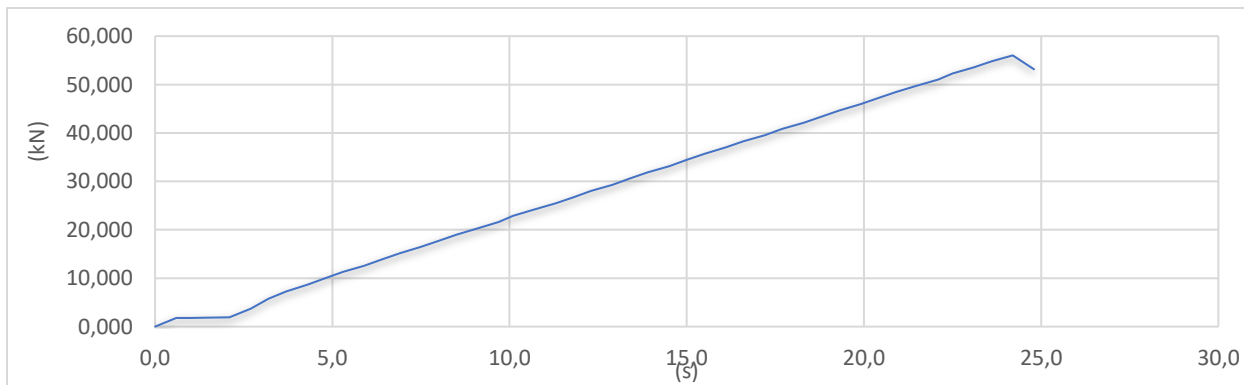
ČVRSTOĆA: 21,67 MPa



UZORAK S3(A):

SILA SLOMA: 5645 N

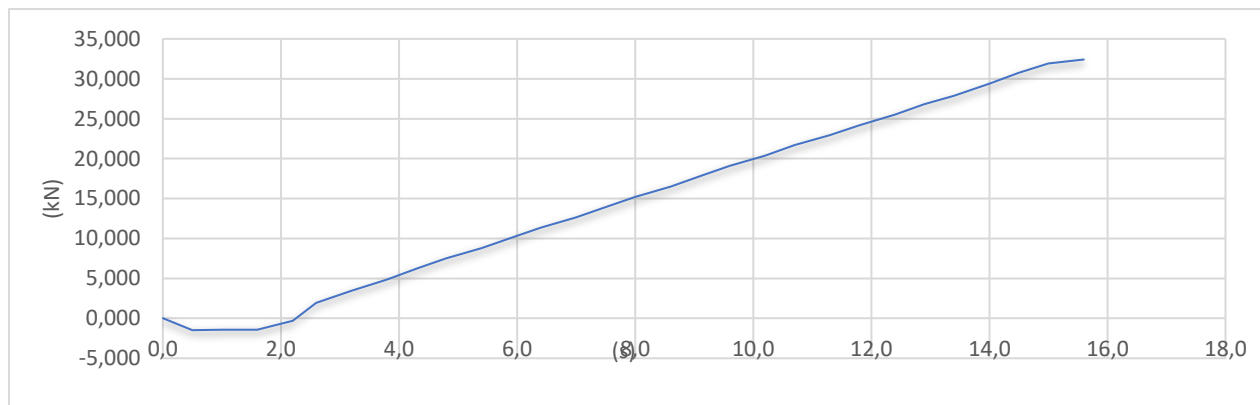
ČVRSTOĆA: 35,28 MPa



UZORAK S3(B):

SILA SLOMA: 3266 N

ČVRSTOĆA: 20,41 MPa



Slika 22. Grafički prikaz nanošenja tlačnog opterećenja na uzorak koji je njegovan na suncu u vremenu, do sile sloma

4.4.2. Analiza rezultata tlačnog ispitivanja

Iz grafičkih prikaza rezultata ispitivanja na Slikama 22, 23 i 24 može se ponovno zaključiti da način njegovanja značajno utječe na silu sloma (N), čvrstoću (MPa) i vremenski period (s) od početka tlačenja do trenutka sloma, kako je prikazano u Tablici 4. Uzorci koji su njegovani u vodi pokazuju znatno veću silu sloma, bolju čvrstoću i dulje trajanje od početka tlačenja do sloma u usporedbi s uzorcima koji su njegovani na suncu i u hladu, što je vidljivo na Slici 23. Najmanja oštećenja primijećena su na uzorku očvrstulom u vodi, koji također pokazuje najbolje karakteristike u odnosu na preostala dva uzorka. Nasuprot tome, uzorak očvrstnut na suncu pokazuje najveće promjene i oštećenja, što je očekivano s obzirom na najslabije karakteristike.

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu istražen je utjecaj različitih metoda negovanja na čvrstoće cementnog morta i betona kako bi se identificirale optimalne prakse za postizanje maksimalne izdržljivosti materijala. Kroz pregled literature, detaljno su opisane standardne metode negovanja, uključujući vlažno negovanje, primjenu membrana za zadržavanje vlage te pokrivanjem folijama, zemljom... Eksperimentalni dio rada obuhvatio je pripremu uzoraka cementnog morta koji su potom izloženi različitim uvjetima očvršćivanja. Rezultati ispitivanja čvrstoće pokazali su značajne razlike u ovisnosti o korištenim metodama negovanja. Uzorci izloženi vlažnim uvjetima pokazali su najvišu razinu čvrstoće što potvrđuje važnost održavanja optimalne vlažnosti tijekom faze očvršćivanja. Uzorci izloženi suhim uvjetima pokazali su značajno nižu čvrstoću, što ukazuje na štetne posljedice nedostatka vlage u ranoj fazi sazrijevanja. Mort koji nije hidriran može imati i do 50% manju tlačnu čvrstoću u odnosu na onaj pravilno negovan. Ova razlika se očituje već u prvih nekoliko dana sazrijevanja, međutim, nedostatak vode ne smanjuje samo njegovu inicijalnu čvrstoću, već također negativno utječe na dugoročnu čvrstoću i trajnost. Nedostatak vlage ometa proces hidratacije, povećava poroznost i uzrokuje stvaranje pukotina, što rezultira mortom koji je manje izdržljiv i manje sposoban da izdrži opterećenja. Stoga je pravilno negovanje ključno za postizanje njegovih optimalnih mehaničkih svojstava i dugotrajnosti.

6. LITERATURA

- [1] A.A.Raheem, A.A. Soyingbe: *Effect of Curing Methods on Density and Compressive Strength of Concrete*, <https://www.ijastnet.com/journals/Vol 3 No 4 April 2013/7.pdf> , pristup 20.5.2024.
- [2] Y. Pawar, S. Kate.: *Curing of Concrete : A review* , https://www.researchgate.net/publication/344176273_Curing_of_Concrete_A_Review , pristup 03.6.2024.
- [3] Grgić, Tamara: *Novi cementni kompoziti*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Završni rad, Zagreb 2015.
- [4] Kuliš, Ana: *Priprava cementnih kompozita uz dodatak aditiva*, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split 2022.
- [5] JK Cement.: *What is Cement Hydration*, <https://www.jkcement.com/blog/basics-of-cement/what-is-cement-hydration/> , pristup 05.5.2024.
- [6] Boban, Goran: *Mehaničke karakteristike betona ojačanog otpadnim polipropilenskim maskama za lice*, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Završni rad , Split 2022.
- [7] Petrovich A., Abumahadi M., Abdelsalam A., *Strengthening of Concrete Using Infrared Radiation*, https://www.researchgate.net/publication/371370587_STRENGTHENING_OF_CONCRETE_HARDENING_USING_INFRARED_RADIATION , pristup 22.6.2024.
- [8] URL: <https://gharpedia.com/blog/cure-concrete-ponding-method/> , pristup 22.8.2024.
- [9] URL: <https://hrv.sika.com/hr/gradevina/dodaci-za-proizvodnju-betona/njega-betona.html> , pristup 22.8.2024.
- [10] Shyam Steel,: <https://shyamsteel.com/blogs/different-type-of-curing-methods-in-concrete-construction/> pristup : 05.5.2024.
- [11] URL: https://www.researchgate.net/figure/Concrete-curing-using-plastic-wrap_fig4_322687303 , pristup 22.8.2024.
- [12] URL: https://theconstructor.org/concrete/concrete-curing-compound-types/13478/#google_vignette , pristup 22.8.2024.
- [13] URL: <https://www.specifyconcrete.org/blog/techniques-for-concrete-curing> , pristup 22.8.2024.

[14] URL: <https://engineeringdiscoveries.com/methods-of-curing-concrete-and-curing-periods/> , pristup 23.8.2024.

[15] The Constructor,; *Steam Curing of Concrete: Methods and Advantages*, <https://test.theconstructor.org/concrete/steam-curing-concrete-methods-advantages/> , pristup 05.5.2024.

[16] URL: <https://www.aralsan.com/en/steam-usage-concrete-curing>, pristup 23.8.2024.

[17] URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/concrete-steam-curing-system-for-pre-stressed-concrete-20431566630.html>, pristup 23.8.2024.

[18] Heritage Ian.: Direct Electric Curing of Mortar and Concrete, <https://www.napier.ac.uk/~media/worktribe/output-276402/heritagemortarpdf.pdf> , pristup 18.5.2024.

[19] URL: <https://civiconcepts.com/blog/curing-of-concrete-meaning-methods>, pristup 23.8.2024.

[20] Štefok, Kristijan: Proizvodnja i svojstva cementa, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Završni rad, Rijeka 2023.

[21] URL: https://meteo.hr/podaci.php?section=podaci_agro¶m=mjesečni_agro_bilten&Mjesec=07&Godina=2023, pristup 23.8.2024.