

# Priprava cementnih kompozita uz dodatak aditiva

---

**Kuliš, Ana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:844521>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-05-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KEMIJSKO – TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**PRIPRAVA CEMENTNIH KOMOPOZITA UZ DODATAK ADITIVA**

**ZAVRŠNI RAD**

**ANA KULIŠ**

**Matični broj: 65**

**Split, listopad 2022.**



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO TEHNOLOŠKI FAKULTET U SPLITU**  
**PREDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ**  
**ZAŠTITA I OPORABA MATERIJALA**

**PRIPRAVA CEMENTNIH KOMPOZITA UZ DODATAK ADITIVA**

**ZAVRŠNI RAD**

**ANA KULIŠ**

**Matični broj: 65**

**Split, listopad 2022.**

**UNIVERSITY OF SPLIT**  
**FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**  
**UNDERGRADVATE PROFESSIONAL STUDY**  
**MATERIALS PROTECTION AND RECYLING**

**CEMENT COMPOSITES PREPARATION WITH THE ADDITION OF  
ADMIXTURES**

**BACHELOR THESIS**

**ANA KULIŠ**

**PARENT NUMBER:65**

**Split, October 2022.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

### ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu

Kemijsko-tehnološki fakultet Split

Preddiplomski stručni studij Zaštita i uporaba materijala

Znanstveno područje: Tehnike znanosti

Znanstveno polje: Kemijsko inženjerstvo

Tema rada je prihvaćena na svojoj 25., izvanrednoj sjednici održanoj 25. ožujka 2022. godine

Mentor: prof. dr. sc. Pero Dabić

### PRIJAVA CEMENTNIH KOMPOZITA UZ DODATAK ADITIVA

Ana Kulić, 65

#### Sažetak:

U ovom radu je istraženo djelovanje aditiva na cementne kompozite. Proizvodnju betona i cementnih kompozita prate brojni problemi i zahtjevi vezani za povećanje u inkovitosti, za poboljšanje trajnosti i svojstava. Dodatkom aditiva djelomično se ostvaraju ti ciljevi. Danas skoro pa da ne postoji izvedba nekog betonskog objekta bez primjene aditiva. Najviše se koriste za betonske kompozite kojima je postavljen visoki kriteriji kakvoće tј. onih za koje se traže posebna svojstva. Kod samog odabira aditiva treba обратiti pozornost na njegov volumeni udio tј. njegovo doziranje i njegov utjecaj na hidrataciju cementnog kompozita.

**Ključne riječi:** cementi, aditivi za cementne kompozite, hidratacija cementa.

**Rad sadrži:** 24 stranica, 5 slika, 9 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

#### Sustav povjerenstva za obranu:

1. Doc. dr. sc. Mirela Jakić - predsjednik
2. Izv. prof. dr. sc. Damir Barbir - član
3. Red. prof. dr. sc. Pero Dabić - član - mentor

**Datum obrane:** 04. listopad 2022.

**Rad je u tiskanom i elektroničnom (pdf formatu) obliku** pohranjen u Knjižnici Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu, Ručera Boškovića 35.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

### BACHELOR THESIS

**University of Split**

**Faculty of Chemistry and Technology Split**

**Undergraduate professional study materials protection and recycling**

**Scientific area:** Technical science

**Scientific field:** Chemical Engineering

**Thesis subject** was accepted at is 25th extraordinary session of March 25, 2022.

**Mentor:** Pero Dabi , full professor, Ph. D.

### CEMENT COMPOSITES PREPARATION WITH THE ADDITION OF ADMIXTURES

Ana Kulić, 65

**Abstract:**

In this bachelor thesis, the effect of admixtures to cement composites has been investigated. The very production of concrete and cement composites is accompanied by a number of problems and requirements related to the increase in efficiency, to improve durability and properties. The admixtures has partially achieved these objectives. Today almost there is no construction of a concrete object without the use of admixtures. They are mostly used for concrete composites for which a high quality criterion has been set, i. e. those for which special properties are required. In the case of the admixtures itself, attention should be paid to its volume fraction, i.e. dosage and its effect on the hydration of cement composites.

**Keywords:** Cement, admixtures for cement composites, cement hydration

**Thesis contains:** 24 pages, 5 figures, 9 references

**Original in:** Croatian

**Defence committee:**

1. Mirela Jakić, assistant prof, Ph. D. – chair person
2. Damir Barbir, associate professor, Ph. D. – member
3. Pero Dabić, full professor, Ph. D. – supervisor

**Defence date:** October 04<sup>th</sup>, 2022.

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited** in Library of Faculty of Chemistry and Technology Split, Ruđera Boškovića 35.

Završni rad je izrađen u Zavodu za anorgansku tehnologiju Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom prof. dr. sc. Pere Dabića u razdoblju od svibnja do kolovoza 2022. godine.

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Peri Dabi u na ukazanom strpljenju, pomo i, savjetima i vodstvu pri izradi ovog zavr-nog rada.

Zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na velikoj podr-ci tijekom dosada-njeg -kolovanja.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

- Pregledom dostupnih literatura znanstvenih izvora prikupiti podatke o razvoju i primjeni aditiva u cementnim kompozitima.
- Opisati podjelu aditiva s obzirom na osnovni mehanizam djelovanja.
- Opisati djelovanje pojedinih aditiva na hidrataciju cementa te na fizikalno-mehanička svojstva dobivenih cementnih kompozita.
- Na osnovi prikupljenih podataka zaključiti koji su osnovni optimalni parametri primjene aditiva i koje su prednosti primjene aditiva za pripravu cementnih kompozita.

## **SAŽETAK**

U ovom radu je istraženo djelovanje aditiva na cementne kompozite. Proizvodnju betona i cementnih kompozita prate brojni problemi i zahtjevi vezani za poveanje u inkovitosti, za poboljšanje trajnosti i svojstava. Dodatkom aditiva djelomično se ostvaraju ti ciljevi. Danas skoro pa da ne postoji izvedbe nekog betonskog objekta bez primjene aditiva. Najviše se koriste za betonske kompozite kojima je postavljen visoki kriteriji kakvoće tj. onih za koje se traže posebna svojstva. Kod samog odabira aditiva treba обратити pozornost na njegov volumni udio tj. njegovo doziranje i njegov utjecaj na hidrataciju cementnog kompozita.

**Ključne riječi:** Cementi, aditivi za cementne kompozite, hidratacija cementa.

## **SUMMARY**

In this bachelor thesis, the effect of admixtures to cement composites has been investigated. The very production of concrete and cement composites is accompanied by a number of problems and requirements related to the increase in efficiency, to improve durability and properties. The admixtures has partially achieved these objectives. Today almost there is no construction of a concrete object without the use of admixtures. They are mostly used for concrete composites for which a high quality criterion has been set, i. e. those for which special properties are required. In the case of the admixtures itself, attention should be paid to its volume fraction, i.e. dosage and its effect on the hydration of cement composites.

**Keywords:** Cement, admixtures for cement composites, cement hydration.

## **Sadržaj**

UVOD .....	1
1. OP I DIO.....	2
1.1. CEMENT.....	2
1.1.1. PORTLAND CEMENT.....	4
2. ADITIVI.....	5
2.1. UBRZIVA I .....	8
2.1.1. KLORIDNI UBRZIVA I.....	8
2.1.2. NEKLORIDNI UBRZIVA I.....	10
2.2. USPORIVA I .....	10
2.3. SUPERPLASTIFIKATORI .....	12
2.3.1. MEHANIZAM DJELOVANJA SUPERPLASTIFIKATORA.....	13
2.4. PLASTIFIKATORI .....	14
2.4.1. LIGNOSULFONATI.....	16
2.4.2. HIDROKSIKARBOKSILNE KISELINE.....	16
2.4.3. UGLJIKOHIDRATI.....	16
2.4.4. UTJECAJ PLASTIFIKATORA NA HIDRATACIJU PORTLAND-CEMENTA.....	17
2.5. AERANTI.....	18
2.6. FILTARSKA SiO <sub>2</sub> PRA <sup>TM</sup> INA.....	19
2.7. DODACI PROTIV SMRZAVANJA.....	20
2.8. LETE I PEPELI.....	21
3. ZAKLJU CI .....	23
4. LITERATURA .....	24

## **UVOD**

Beton (smjesa cementa, agregata i vode) je primjer kompozita s velikim esticama agregata i sitnim esticama veziva (cementa). Sastoji se od skupina estica (različite veličine) međusobno spajenih mineralnim vezivom. Najčešće korištenjem jedne od vrsta portland cementa.

Cementni reakcijski sustav je heterogen i vrlo složen i procesima hidratacije daje vrlo veliki broj različitih produkata hidratacije koje posjeduju i različita fizikalno-kemijska svojstva.

Svaka smjesa veziva i vode bila bi vezivni kompozit, koji se uslovljava uvođenjem drugih aktivnih sastojaka, kao što su: pijesak (u pripravi mortova), agregat (u pripravi betona) ili pak internih dodataka i aktivnih dodataka koji utječu na hidratačke procese.

## 1. OPIT DIO

### 1.1. CEMENT

Prema Europskoj normi za cement (ENV 197-1 2011), cement je hidraulično vezivo, to zna i fino mljeveni anorganski materijal koji, pomiješan s vodom, daje cementno vezivo koje procesom hidratacije veže i otvrđnjava, te nakon otvrđnjavanja ostaje postojanog volumena tako da će i ispod vode.<sup>1</sup>

Cement se dijeli na dvije glavne skupine prema oksidima koji se nalaze u njegovom faznom sustavu.

- SILIKATNI CEMENTI dobivaju se pećenjem laporu i vapnenca, a predstavnik ove skupine cementa je portland cement. Portland cement služi kao baza u proizvodnji metalurških, pucolanskih i supersulfatnih cemenata.
- ALUMINATNI CEMENTI je proizvod koji se dobiva finim mljevenjem aluminatnog cementnog klinkera. Dobiva se pećenjem vapnenca (oko 40%) i boksita (oko 60%). Koristi se pri izradi vatrostalnih betona, kao i pri betoniranju na vrlo niskim temperaturama.<sup>2</sup>

U kemiji cementa, spojevi se označuju pomoću kartica za pojedine okside koji tvore te spojeve. Na temelju skraćenih simbola kemijski sastav pojedinih osnovnih sastojaka i hidrata prikazati smo na slici 1.

Oznaka	Empirijska formula	Oznaka	Empirijska formula
C	CaO	M	MgO
S	SiO <sub>2</sub>	K	K <sub>2</sub> O
A	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	N	Na <sub>2</sub> O
F	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
H	H <sub>2</sub> O	T	TiO <sub>2</sub>
$\bar{S}$	SO <sub>3</sub>	$\bar{C}$	CO <sub>2</sub>
<b>PRIMJERI SPOJEVA U KEMIJI CEMENTA</b>			
C <sub>3</sub> S	3CaO·SiO <sub>2</sub>	trikalcijev silikat, <i>alit</i>	(Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub> )
C <sub>2</sub> S	2CaO·SiO <sub>2</sub>	dikalcijev silikat, <i>belit</i>	(Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )
C <sub>3</sub> A	3CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	trikalcijev aluminat	(Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )
C <sub>4</sub> AF	4CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	tetrakalcijev aluminat ferit	(Ca <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>10</sub> )
$CSH_2$	CaO·SO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	kalcijev sulfat dihidrat	(CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)
$CSH_{0,5}$	CaO·SO <sub>3</sub> ·1/2H <sub>2</sub> O	kalcijev sulfat poluhidrat	(CaSO <sub>4</sub> ·1/2H <sub>2</sub> O)
$CC$	CaO·CO <sub>2</sub>	kalcijev karbonat	(CaCO <sub>3</sub> )
C-S-H		složeni kalcijev silikat hidrat promjenjiva sastava	
AFt	C <sub>3</sub> A <sub>0,5</sub> F <sub>0,5</sub> (C $\bar{S}$ ) <sub>3</sub> H <sub>31-32</sub>	tetrakalcijev aluminat ferit trisulfat hidrat	
AFm	C <sub>3</sub> A <sub>0,5</sub> F <sub>0,5</sub> C $\bar{S}H_{12}$	tetrakalcijev aluminat ferit monosulfat hidrat	

Slika 1. Prikaz oznaka i primjeri spojeva u kemiji cementa.<sup>1</sup>

Spoj	Kemijski sastav	Oznaka	mas.%
Trikalcijski silikat	3CaO·SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	42 do 65
Dikalcijski silikat	2CaO·SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	10 do 30
Trikalcijski aluminat	3CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	0 do 17
Kalcijev aluminofeferit	4CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF	6 do 18
Minorni konstitutenti	Mg, Na, K, i S oksidi		
<i>Fizikalno-kemijski i mineraloški sastav cementa (CEM I 42,5R)</i>			
Kemijski sastav	mas.%		
SiO <sub>2</sub>	20,38		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,41		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,81		
CaO	63,77		
MgO	1,76		
SO <sub>3</sub>	3,01		
Na <sub>2</sub> O	0,17		
K <sub>2</sub> O	1,00		
Gubitak žarenjem, do 1000 °C	2,2		
Sadržaj vlage	0,2		
C <sub>3</sub> S	55,29		
C <sub>2</sub> S	17,03		
C <sub>3</sub> A	9,59		
C <sub>4</sub> AF	8,54		
Specifična površina			
Blain (m <sup>2</sup> /kg)	332,9		

Slika 2. Prikaz spojeva, fizikalno-kemijski i mineralo-ki sastav cementa.<sup>1</sup>

### 1.1.1. PORTLAND CEMENT

Prema standardu ASTM C 150-94, portland cement je hidrauli ki cement proizveden meljavom u prah klinkera koji se sastoji uglavnom od hidrauli kih kalcijevih silikata, a obi no sadrflji jedan ili vi-e oblika kalcijeva sulfata koji su dodani za vrijeme meljave.<sup>1</sup>

Osnovne sirovine za proizvodnju portland cementa su vapnenac i glina u omjeru 3:1.

Sama proizvodnja portland cementa je sloflen tehnolo-ki procesi u kojem polazni materijal (sirovina) bitno izmjeni svoj sastav i svojstva, te prelazi u portland cementni klinker (PC klinker).

Portland cementni klier se sastoji od etiri glavne mineralne faze: alita, belita, aluminatne faze i feritne faze.

- ALIT je glavni mineral obi nog portland cementa s masenim udjelom vi-im od 50%. O alitu najvi-e ovisi vrsto a cementa.
- BELIT je uglavnom -modifikacija  $C_2S$ . Belitna faza hidratacijom otvrdrnjava znatno sporije od alita, ali postife pribilifno jednaku kona nu vrsto u.
- ALUMINATNA FAZA ( $C_3A$ ) vrlo brzo reagira s vodom, ali nema posebno izraflene hidrauli ke karakteristike, korisna je za postizanje ranih vrsto a cementa.
- FERITNA FAZA je vrsta otopina koja znatno utje e na vrsto u cementa.<sup>3</sup>

## 2. ADITIVI

Aditivi su anorganski ili organski materijali koji se dodaju smjesi u krutom ili teku em stanju u maksimalnom iznosu od 5% u odnosu na cement ili cementne materijale. Aditivi ulaze u interakciju s hidratiziranim sustavom te fizikalnim, kemijskim ili fizikalno-kemijskim djelovanjem, modificiraju jedno ili vi-e svojstava betona, morta ili paste u svjeftem, stvrdnutom ili o vrslog stanju. Aditivi se dodaju isklju ivo za pobolj-anje razli itih svojstava betona bilo u svjeftem ili o vrslog stanju. Danas se vi-e od 70% betona proizvodi s aditivima.<sup>4</sup>

Dodatkom aditiva mijenjaju se svojstva svjeftem i o vrslog betona:

- pove ava se obradljivost svjeftem betona bez pove anja koli ine vode ili se smanjuje koli ina vode uz istu obradljivost,
- ubrzava se ili usporava vrijeme po etka vezivanja,
- smanjuje se ili potpuno sprje ava plasti no skupljanje ili se izaziva pove anje volumena materijala,
- usporava se gubitak obradljivosti,
- pove ava se trajnost betona,
- pove ava se vrsto a,
- sprje ava se -tetno djelovanje alkalija iz cementa na sastojke betona i razne druge modifikacije,
- sprje ava se smrzavanje svjeftem betona,
- smanjenje propusnosti betona i
- usporava se ili smanjuje razvoj topline hidratacije u tek pripremljenom betonu.

Kao aditivi se koriste topljive kemikalije, povr-inski aktivne tvari i prakti no netopljivi minerali.

Aditivi se op enito dijele na:

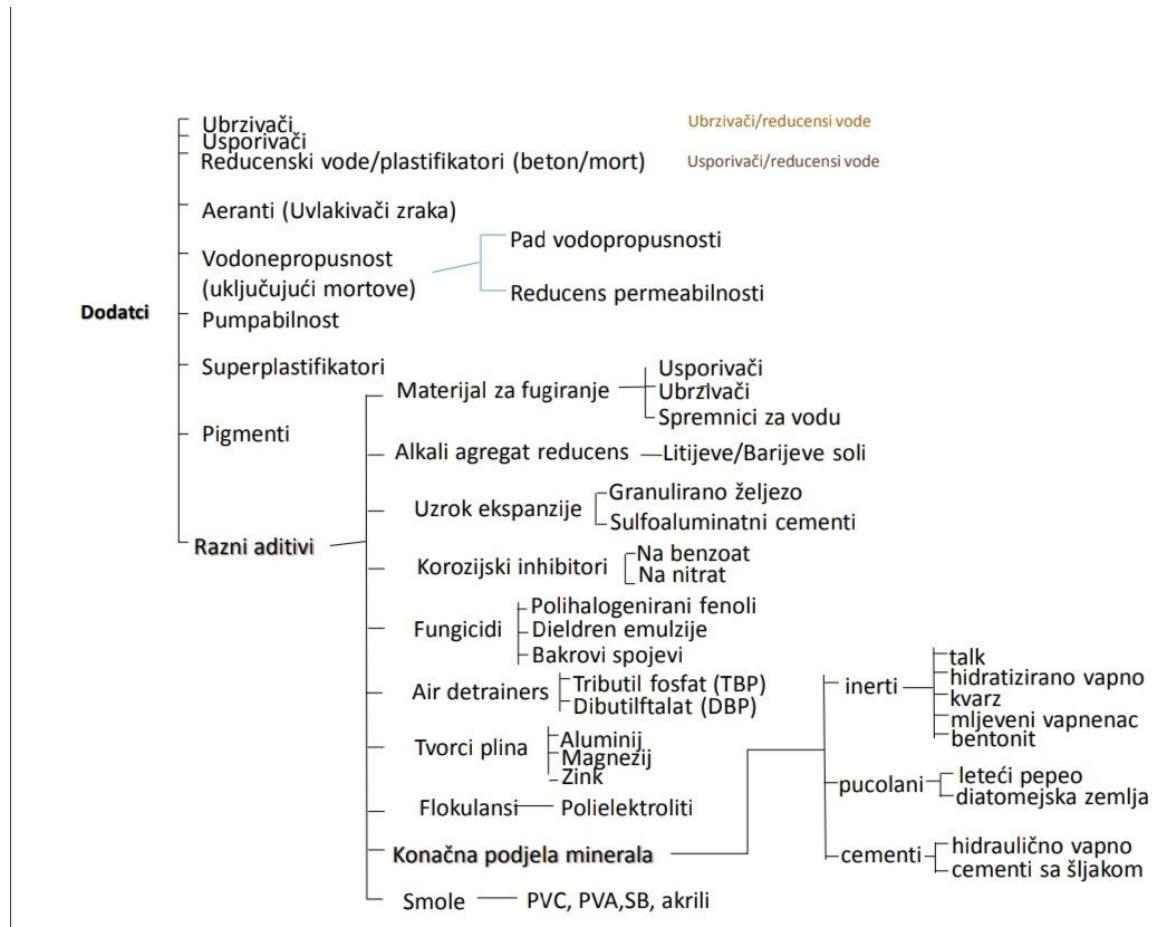
- sredstva za mijenjanje karakteristika betona tijekom o vr- avanja (ubrziva i, usporiva i vezivanja),
- sredstva za pobolj-anje svojstava betona prilikom priprave i

- sredstva za poboljšanje kvalitete ovslog betona (aeranti, sredstva za povećanje vodonepropusnosti, smanjenje toplinske vodljivosti, povećanje vrste e, te sredstva protiv smrzavanja).

Prema namjeni aditivi se dijele na:

- superplastifikatori i plastifikatori,
- ubrzivači i usporivači,
- aeranti i dodaci protiv smrzavanja (antifrizi).<sup>4</sup>

Na slici 3 prikazana je podjela aditiva.



Slika 3. Podjela aditiva prema namjeni.<sup>1</sup>

Prema europskoj normi **EN 934-2** aditivi se dijele:<sup>5</sup>

- Plastifikatori (reducensi vode) ó aditivi dozvoljavaju smanjenje vode u smjesi bez promjene njene konzistencije ili koji pove avaju viskoznost bez smanjenja sadrflaja vode.
- Superplastifikatori ó aditivi koji dozvoljavaju smanjenje vode u smjesi bez promjene konzistencije ili koji pove avaju viskoznost bez smanjenja sadrflaja vode.
- Usporiva i / plastifikatori ó se zovu aditivi koji usporavaju hidrataciju cementa i produljuju vrijeme vezivanja.
- Usporiva i / superplastifikatori - to su aditivi koji proizvode kombinirani efekat znatnog smanjenja vode i usporavanja hidratacije.
- Ubrziva i vezivanja / reducensi vode ó ubrzavaju hidrataciju cementa usred ega se skra uje vrijeme vezivanja, pove avaju brzinu razvoja vrsto e.
- Ubrziva i vezivanja ó skra uju vrijeme po etnog vezivanja uz istovremene porast po etne vrsto e.
- Ubrziva i o vr- ivanja ó ubrzavaju razvoj rane vrsto e betona sa ili bez utjecaja na vrijeme vezivanja i na plasti na svojstva svjefleg betona.
- Usporiva i ó suprotno od ubrziva a, oni produljuju vrijeme po etnog vezivanja uz produljenje vremena obradljivosti i usporavaju razvoj ranih vrsto a.
- Aditivi za modificiranje viskoznosti - to su aditivi koji zadrflavaju vodu u smjesi svjefleg betona.
- Aditivi za uvla enje zraka (aeranti) ó to su aditivi koji omogu uju raspodjelu zra nih mjehuri a uvla enjem odre ene koli ine zra nih mjehuri a za vrijeme mije-anja koji se zadrflavaju u betonu nakon stvrdnjavanja.
- Vodootporni aditivi ó smanjuju apsorpciju kapilarne vode u o vrsrom betonu.

S obzirom da se sve vi-e trafilji visoka kvaliteta betona, nije mogu e da se prilikom proizvodnje ne koristi niti jedan kemijski aditiv. Stoga se prema **ASTM C494** normi kemijski aditivi dijele:<sup>5</sup>

- TIP A ó reducensi vode,
- TIP B ó usporiva i,
- TIP C ó ubrziva i,
- TIP D ó reducensi vode i usporiva i,
- TIP E ó reducensi vode i ubrziva i,

- TIP F ó reduensi vode visokog u inka,
- TIP G ó reduensi vode visokog u inka i usporiva i i
- TIP S ó dodaci za postizanje specifi nih svojstava.<sup>5</sup>

## 2.1. UBRZIVA I

Ubrziva i su dodaci koji kemijskim putem utje u na vezivanje i o vr– ivanje betona.<sup>1</sup> Odlikuju se svojstvom da ubrzavaju proces hidratacije tj. formiranje hidratačkih produkata. Sami procesi o vr– avanja i procesi vezivanja su me usobno povezani jer nema o vr– avanja bez vezivanja. Ubrziva i se mogu podijeliti u dvije skupine i to ubrziva e vezivanja i ubrziva e o vr– ivanja.

Ubrziva i vezivanja ó skra uju induksijski period hidratacije cementa i skra uju vrijeme prelaska iz plasti nog u o vrslo stanje. Skra uju vrijeme vezivanja.

Ubrziva i o vr– avanja ó ubrzavaju razvoj ranih vrsto a s ili bez utjecaja na vrijeme vezivanja

Aktivne tvari u ubrziva ima mogu se podijeliti u dvije skupine i to: kloridne i bezkloridne aktivne tvari. Kao kloridne tvari u ubrziva ima mogu se pojaviti  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  i  $\text{AlCl}_3$ . Me u bezkloridnim aktivnim tvarima u ubrziva ima mogu se na i anorganski i organski spojevi kao –to su: alkalijski hidroksidi, karbonati, silikati, flurosilikati, nitrati, nitriti,  $\text{Ca}$  ó propinat,  $\text{Ca}$  ó tiosulfat,  $\text{Ca}$  ó tiocijanat, etanolamini, formijati i drugo.<sup>4</sup>

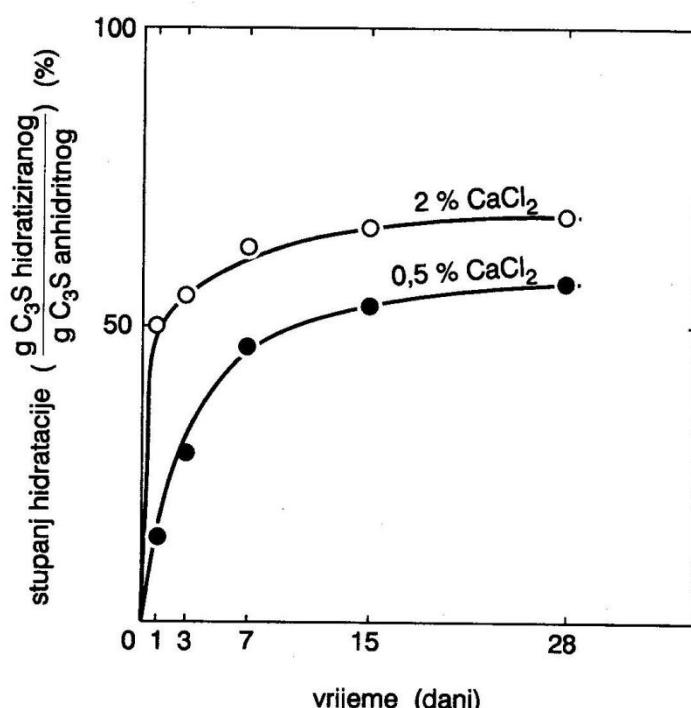
Djelovanje ubrziva a usmjereni je na pove anje stupnja hidratacije, destabiliziraju povr–inu C-S-H, ubrzavaju kristalizaciju  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , pove anjem vjerojatnosti uspje–nih sudara reagiraju ih komponenti. Ubrziva i dovode do pove anja koeficijenta difuzije, kada difuzija postaje odlu uju i proces pri hidrataciji i stvrdnjavanju.

### 2.1.1. KLORIDNI UBRZIVA I

Glavni predstavnik kloridnih ubrziva a je kalcijev klorid  $\text{CaCl}_2$ , te se koristi samostalno ili kao drugi sastojak u dodacima za beton. Jeftina je supstancija i ima veliki u inak na ubrzano

vezivanje cementnog materijala. Kalcijev klorid nastaje kao nusproizvod prilikom proizvodnje kaustične sode,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .  $\text{CaCl}_2$  ubrzava hidrataciju cementa najviše djeluju i na reakcije alita koji zajedno s belitom ine 75% ukupnog cementa.  $\text{CaCl}_2$  u pasti  $\text{C}_3\text{S}$  ubrzava i oslobača toplinu hidratacije, utječe i na sam sastav C-S-H produkta.<sup>4</sup>

Brzina oslobođanja topline hidratacije cementa raste s porastom doziranja  $\text{CaCl}_2$  za vrijeme prvih 10 do 12 sati hidratacije, slika 4.



Slika 4: Utjecaj  $\text{CaCl}_2$  na stupanj hidratacije.<sup>5</sup>

Mehanizam ubrzavanja hidratacije  $\text{C}_3\text{S}$ -a temelji se na samoj sposobnosti  $\text{CaCl}_2$  da poveća nestabilnost primarnih hidrosilikata. Zbog toga se formiraju nukleacijske jezgre s nizkim sadršnjem kalcijeva oksida i poroznijih hidrosilikata. To je potvrđeno injenicom da dodatkom  $\text{CaCl}_2$  u predhidratizirani  $\text{C}_3\text{S}$  ne dolazi do ubrzavanja u dalnjem tijeku hidratacije. Kalcijev klorid djeluje na pojedine konstituente cementa i dolazi do ubrzanja hidratacije portland cementa. Po jednom od mehanizama smatra se da soli koje smanjuju koncentraciju hidroksidnih iona u otopini, uz istovremeno taloženje kalcijeva hidroksida, uvjetuju ubrzanje hidratacije i pomaju u ravnotežu reakcije uz povećanje oslobođene toplinu hidratacije.<sup>5</sup>

Kalcijev klorid poti e osloba anje kalcija iz kalcijevih silikata i pospje-uje precipitaciju kalcijeva hidroksida.  $\text{CaCl}_2$  djeluje kao katalizator i ubrzava hidrataciju silikata. To an mehanizam djelovanja  $\text{CaCl}_2$  nije potpuno razrije-en. Utvr eno je da je kalcijev klorid najdjelotvornija sol za depresiju  $\text{OH}^-$  iona.

Prednost uporabe ubrziva a sa sadrflajem klorida je u tome -to se trajanje obradljivosti nekog morta ili betona mofle koli inom doziranja uz odgovaraju i omjer mije-anja izme u cementa i agregata to no regulirati od nekoliko minuta do nekoliko sati. Mogu se posti i visoke rane vrsto e bez snifljenja krajnjih vrsto a.

Mogu e je odgovaraju im doziranjem izazvati ubrzavanja vezanja i otvrdnjavanje, da se usred osloba anja reakcijske topline mofle raditi i pri temperaturi ispod 0 °C.<sup>5</sup>

## 2.1.2. NEKLORIDNI UBRZIVA I

Kako se primjenom kloridnih ubrziva a mofle izazvati korozija eli nih armatura nastoji se na i odgovaraju a zamjena kojom bi se postiglo isto djelovanje. To su nekloridni ubrziva i kao -to su trietanolamini, formijati i drugi organski i anorganski spojevi poput: natrijeva karbonata, litijeva karbonata, kalijeva karbonata, kalcijeva nitrata i dr.

Nekloridni ubrziva i skra uju trajanje obradljivosti morta i betona u maloj mjeri uz povi-enje ranih vrsto a, u pravilu pove avaju i zavr-ne vrsto e. Tu se zapravo radi o dodacima koji prvenstveno povoljno utje u na tijek otvrdnjavanja.<sup>4,5</sup>

## 2.2. USPORIVA I

Usporiva i su dodaci za beton koji usporavaju proces hidratacije cementa i produfluju vrijeme vezivanja. Zapravo, usporiva i su dodaci koji odre enoj mje-avini produfluju vrijeme prelaska iz plasti nog u o vrslo stanje.<sup>4</sup>

Kao usporiva i mogu se rabiti razli ite tvari i to:

- nerafinirani lignosulfonati koji sadrfle -e ere i njihovi derivati,

- hidroksikarboksilne kiseline i njihove soli,
- ugljikohidrati, posebno -e eri,
- heptoni koji su vezani sa -e erom ili -kromom,
- anorganske soli te
- kombinacije dodataka (za superusporiva e).<sup>4</sup>

Usporiva i usporavaju hidrataciju cementa, tako ustvari djeluju i na oslobađanje topline hidratacije i omogućuju njenu oslobađanje u okolinu pa zbog toga ne nastaje nepoželjno povišenje temperature betona. Usporiva i djeluju i na plastificiranje cementnog kompozita. Usporiva i mogu biti organske i anorganske tvari. U organske tvari spadaju: nerafinirane kalcijeve, natrijeve i amonijeve soli lignosulfonski kiselina, hidroksikarboksilne kiseline i ugljikohidrati. U anorganske tvari spadaju: cinkovi i olovni oksidi, fosfati, magnezijeve soli, flourati, borati, soli arsena i kositra. Usporiva i zapravo modificiraju rast i morfologiju kristala u samom procesu hidratacije cementa. Ima nekoliko teorija o djelovanju usporiva a na hidrataciju koje se temelje na precipitaciji, adsorpцији ili formiranju kompleksa. Sve te tri teorije sprječavaju dodir vode s hidratizirajućim esticama.

Teorija formiranja kompleksa temelji se na pretpostavci da funkcionalne skupine organskog dodatka Ca-iona, Fe-iona i Al-iona formiraju heterogeni kompleks.

Teorija precipitacije temelji se na pretpostavci da se talofle netopljivi hidratačijski produkti koji su nastali reakcijom organskog usporiva a i Ca<sup>2+</sup> iona na površini hidratiziraju eg C<sub>3</sub>A i drugih minerala i na taj način stvaraju prepreku prodiranju vode.

Teorija adsorpције temelji se na pretpostavci da se organski dodatak apsorbira na površini anhidritnih cementnih spojeva i na površini metastabilnih heksagonskih hidrata.

Usporiva i služe da bi se produžilo vrijeme obradivosti betona, kako bi se produžilo i vrijeme u kojem je moguće ugradnja. Usporiva i se upotrebljavaju i pri betoniranju u vrućim klimatskim uvjetima. Primjenjuju se i pri izradi betonskih dijelova u podmorju, u tom slučaju se kombiniraju s drugim dodacima. Upotrebljavaju se kod cementnih buntina za eksploataciju nafte gdje su prisutne velike temperature.<sup>4</sup>

Kao usporiva i esto se koriste hidroksi-karboksilne kiseline, limunska, glukonska i ugljikohidrati. Soli glukonske kiseline usporavaju reakcije C<sub>3</sub>S u tijeku svih faz hidratacije. Saharoza i glukoza djeluju usporavajuće samo u fazi nuklearacije i u fazi kristalizacije

hidratacijskih spojeva. Istraživanja su pokazala da usporavanje najviše ovisi o usporavanju hidratacije trikalcij - aluminata ( $C_3A$ ).

Najčešći rabljeni anorganski usporiva i su borati, fosfati i soli cinka, olova, kositra i arsena. Početni u inak usporenja smanjuje se po redoslijedu soli s ovim kationima:



Za usporiva na bazi anorganskih spojeva prepostavlja se da formiraju za-titni sloj flelatinoznog oksida na esticama cementa.<sup>4</sup>

### 2.3. SUPERPLASTIFIKATORI

Superplastifikator je dodatak koji omogućuje veliko smanjenje vode određenoj betonskoj mještavini, a da pri tome ne mijenja njezinu obradivost ili koji omogućava veliko poboljšanje obradivosti, a da se ne mijenja sadržaj vode u doti noj betonskoj mještavini. Uz dodatak superplastifikatora postiže se bolja struktura kompozita.<sup>6</sup>

Superplastifikatori postižu svoj efekt u vremenu od samog trenutka dodavanja u svježem smjesu, pa do trenutka stvarnjavanja. Da bi uočili mehanizam djelovanja, potrebno je dobro poznavati fluidnost kompozita. Dodatkom superplastifikatora u cementnu pastu dolazi do disperzije većih nakupina cementnih estica u manje. Smanjuje se udio vode koji je bio zadržan u aglomeratima. Sad za istu obradivost treba manja količina vode.

Superplastifikatori se najčešće dijele u 4 grupe:<sup>4</sup>

- sulfonirane melamin- formaldehidne kondenzate (SMF),
- sulfonirane naftalen- formaldehidne kondenzate (SNF)
- modificirane lignosulfonate (MLS),
- polikarboksilat eter (PCE) i
- ostale tipove (esteri, sulfonske kiseline i dr.).

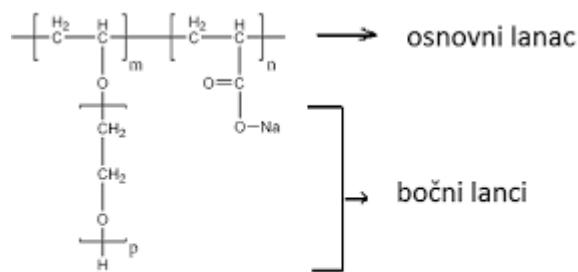
Superplastifikatori se najčešće upotrebljavaju:

- za proizvodnju betona s vrlo niskim omjerom vodocemetnog omjera V/C,

- za proizvodnju betona sa smanjenom količinom cementa, a zadržavanjem konstantnog omjera V/C i
- za proizvodnju tekućeg betona.

U svakoj od navedenih grupa postoje dodatne varijacije, pri čemu nastaju dodaci koji imaju kombinirana djelovanja. Prve tri grupe su klasični superplastifikatori i spadaju u organske polielektrolitne disperzante. Četvrta grupa su superplastifikatori nove generacije.

Polikarboksilat eter je polimer velike molekulske mase, slika 5.



Slika 5. Osnovna polimerna struktura polikarboksilata etera (PCE-a) s karboksilnim grupama u osnovnom lancu i poliglikolnim bočnim lancima<sup>4</sup>.

Kao superplastifikator često se primjenjuje metilceluloza. Metil celuloza je kemijski spoj izveden iz celuloze. Hidrofilni bijeli prah u istom obliku i otapa se u hladnoj vodi tvoreći visokoznu otopinu ili gel. Prodaje se pod različitim trgovim imenima i koristi se kao sredstvo za bubreњe ili emulgator za različite prehrambene i kozmetičke proizvode, nije lako probavljiva i nije toksina.

Metil celuloza ima znatanu primjenu kao aditiv u građevinskim materijalima, poboljšava svojstva obradivosti, podešavanje vremena, zadržavanje vode, viskoznost i adheziju na površinu.<sup>4</sup>

### 2.3.1. MEHANIZAM DJELOVANJA SUPERPLASTIFIKATORA

Pri razmatranju mehanizma djelovanja superplastifikatora u kompozitu kao što su cementna pasta/mort/beton osnovnim svojstvima takva kompozita smatra se njegova fluidnost. Cement

je vi-efazni kompozit koji se sastoji od zraka, vode i krutine. Sve te komponente su različite gustoće. Djelovanjem gravitacije dolazi do razdvajanja odnosno segregacije. Tehnologije stoga biti usmjerene na održavanje homogenosti u takvim vi-efaznim kompozitima. Stabilnost flegjene konzistencije može se postići samo pravilnim korištenjem sila između estica i faze.<sup>7</sup>

Promatrajući se samo svježa cementna pasta razlikuju se sile: kapilarne sile, sile međusobne flokulacije, sile u otopini i efekt dvostrukog sloja.<sup>7</sup>

Kapilarne sile - (estice veličine 1 do 0,1 mm) imaju ulogu u kapilarama koje nastaju nakon miješanja cementa s vodom toliko dugo dok u pasti nema suviška vode.

Flokulacijske sile - (estice veličine od 0,1 do  $2 \times 10^{-4}$  mm) pojavljuju se zbog toga što je površina kristalnih tvari električno nabijena. Flokulacija je pojedostavljena tek u inama koje imaju malu mogućnost ionizacije.

Koloidne sile - (estice veličine  $2 \times 10^{-4}$  do  $10^{-6}$  mm) posebno su važne. U tekusu inama velike ionizirajuće molekule, glavnu ulogu imaju repulsivne sile od takozvanog dvostrukog sloja. Adsorpcijom molekula vode i preferiranih iona iz otopine koji imaju suprotan naboj. Na takav način se oblikuje dvostruki sloj.

Da bi se kompozitu kao što je u ovom slučaju cementna pasta ostvarila flegjena konzistencija ili fluidnost potrebno je fino balansiranje međusobne sila. U samoj praksi se to postiže dodatkom tvari koje deflokuliraju i dodatkom velikih molekula koje se adsorbiraju na estice cementa, tj. upotrebo superplastifikatora.

## 2.4. PLASTIFIKATORI

Europska norma HRN EN 934-5:2008 definira plastifikatore: Plastifikator je dodatak koji omogućuje smanjenje sadržaja vode nekoj betonskoj mješavini, a da se ne promjeni njegova obradivost, ili poboljšava obradivost, a ne mijenja sadržaj vode u betonskoj mješavini.<sup>4</sup>

Razlika plastifikatora i superplastifikatora. Superplastifikatori smanjuju količinu vode najmanje 12%, a plastifikatori 5%.

Namjene plastifikatora su različite:

- povećanje vrstočne način da se smanji vodocemetni omjer uz istu konzistenciju betona,
- zadržavanje iste konzistencije uz smanjenje količine cementa i vode, a tako da vrstočni vodocemetni omjer ostane isti i da se učredi na cementu i
- poboljšanje obradivosti, način da se olakša ugradnja u nepristupačne dijelove konstrukcije.

Plastifikatori utječu na mnoge parametre, najviše na stupanj hidratacije cementa ( )

Stupanj hidratacije se definira pomoći količine količine topline oslobođene hidratacijom:

$$\varphi = \frac{Q(t)}{Q_{\max}} \quad (1)$$

$Q(t)$  količina topline oslobođene u vremenu  $t$ .

$Q_{\max}$  količina topline oslobođene pri potpunoj hidrataciji.<sup>4</sup>

Ovisno o tome kako plastifikatori utječu na stupanj hidratacije dijele se na:<sup>4</sup>

- normalni plastifikatori NP, koji ne mijenjaju značajno ,
- plastifikatori ubrzivači PA, koji utječu na povećanje . Tek neznatno utječu na vrijeme vezivanja, najviše utječu na razvoj vrstočne i
- plastifikatori usporivači PR, koji smanjuju u tijeku rane hidratacije. Djeluju na vrijeme vezivanja.

Prema kemijskom tipu plastifikatori dijele se :<sup>4</sup>

- lignosulfonske kiseline( u obliku Ca-soli, Na ili amonijeve soli),
- hidroksikarboksilne kiseline ( u obliku Ca, Na, NH<sub>4</sub> ó soli ),
- ugljikohidrati i
- ostale vrste - Plastifikatori su najčešće tvari izvedene iz glicerola, polivinil ó alkohola, aluminometil silikonata i drugih spojeva.

#### 2.4.1. LIGNOSULFONATI

Lignosulfonati nastaju pri procesu proizvodnje celuloze sulfitinim postupkom te kao nusproizvod koji sadrži 20-30 mas% sulfoniranog lignina. Samim sulfoniranjem lignin je proveden u oblik topljiv u vodi i izdvaja se kao Ca, Na, K, NH<sub>4</sub> soli. Lignosulfonati sadrže brojne funkcionalne grupe kao što su karboksilna kiselina, metoksi grupa, sulfonska kiselina i različite kombinacije. Lignosulfonatni plastifikator sadrži oko 30% ugljikohidrata (ksiloza, glukoza, manzoza, itd), najčešće se upotrebljava kada se traži djelovanje plastifikatora usporiva a.<sup>5</sup>

Aditivi na bazi lignosulfonata spadaju u skupinu najjeftinijih dostupnih kemijskih aditiva. Pokazuje ograničenu sposobnost redukcije vode pri doziranju od 0,1 do 0,3% na masu cementa i zbog toga se najčešće upotrebljava, ali ipak nije pogodan za dobivanje betona visoke kvalitete.

#### 2.4.2. HIDROKSIKARBOKSILNE KISELINE

U beton se dodaju soli hidroksikarboksline kiseline, upotrebljavaju se manje nego liganosulfonati. Sastoje se od više hidroksilnih i jedne ili dvije krajnje karboksilne grupe koje su vezane na krajevi ugljikovog lanca. Najčešće se koriste kao usporiva i ili plastifikatori ili usporiva i, da bi se upotrijebili kao normalni plastifikatori ili kao plastifikatori ubrziva i moraju im se dodati sastojci za ubrzavanje. Najčešće se upotrebljava glukonska, limunska, vinska, salicilna i druge kiseline, u obliku Na ili soli.<sup>5</sup>

#### 2.4.3. UGLJIKOHIDRATI

Ugljikohidrati su polihidroksi-aldehidi ili polihidroksi-ketoni ili tvari koje hidrolizom daju takve spojeve. Nalaze se u biljkama ili flivotinjama.

Da bi se mogli upotrijebiti kao plastifikatori, potrebno je njihov prirodni oblik modificirati. Hidrolizom se iz velikog polimernog oblika provodi u manji polimer s 3 do 25 glukozidnih jedinica i s niskom molekularnom masom.

Imaju izrafleniji u inak usporavanja nego plastificiranja. Za dobivanje normalnog plastifikatora ili plastifikatora ó ubrziva a dodaju se u proizvodnji manje koli ine  $\text{CaCl}_2$  ili trietanolamina.<sup>5</sup>

#### 2.4.4. UTJECAJ PLASTIFIKATORA NA HIDRATACIJU PORTLAND-CEMENTA

Kod portland cementa sadrflaj  $\text{C}_3\text{A}$  je nizak, a on je bitan za vezanje i po etno o vr- avanje.  $\text{C}_3\text{A}$  u reakciji s vodom daje dvije hidratne metastabilne faze heksagonskog oblika, prije konverzije u kona nu stabilnu fazu kubi nog oblika. Brzina prelaska iz heksagonskih u kubi ne hidrate ovisi o omjeru vode i cementa, temperaturi i itd. Dodatak lignosulfonata usporava i konverziju i hidrataciju navedenih spojeva. Kod same hidratacije  $\text{C}_3\text{A}$  stabilna kubi na forma hidrata pojavljuje se nakon 6 sati, dok se glavna koli ina formira nakon 7 dana. Kada su prisutni lignosulfonati  $\text{C}_3\text{AH}_6$  registriran je nakon 14 dana, a glavnina koli ine formira se nakon 6 mjeseci. Lignosulfonati stabiliziraju heksagonske hidrate, ali i usporavaju samu hidrataciju  $\text{C}_3\text{A}$ .<sup>4</sup>

Trikalcije ó slikat ( $\text{C}_3\text{S}$ ) hidratacijom daje mje-avinu Ca- hidroksida i C-S-H produkta. Uz dodatak male koli ine lignosulfata hidratacija se može blokirati do 14 dana. Smatra se da lignosulfonati usporavaju hidrataciju  $\text{C}_3\text{S}$ . Utjecaj lignosulfonata na hidrataciju portland cementa je kompleksan, zbog mineralo-kog sastava cementa, posebno radi koli ine alkalija, sulfata,  $\text{C}_3\text{A}$ , te specifi nih povr-ina cementa koje su razli ite. Uz normalno doziranje od 0,2 - 0,3 mas.% lignosulfonata dolazi do laganog usporavanja ili laganog ubrzavanja po etka vezivanja cementa, zatim do usporavanja kraja vezanja ili smanjenja ranih vrsto a, te u kona nici do pove anja po etne vrsto e u kasnijoj hidrataciji ali uz slab u inak plastificiranja.

Djelovanje samih plastifikatora ovisi o vrsti i svojstvima cementa, njegovoj koli in, po etnom omjeru V/C i o vrsti i svojstvima agregata.<sup>4</sup>

## 2.5. AERANTI

Aeranti su skupina aditiva za beton koji omogu avaju u fazi mije-anja uvla enje malih, jednakomjerno raspore enih zra nih pora koje nakon o vr-ivanja ostaju u betonu.<sup>4</sup>

Svi aeranti za beton pripadaju vrsti kemijskih spojeva koji se nazivaju povr-inski aktivnim tvarima tj. tenzidima. To su organske tvari koje otopljeni u vodi smanjuju sile -to djeluju na grani nim plohamama izme u faze nastoje i smanjiti povr-inu tih grani nih faza.

Molekule tenzida sastoje se od hidrofobnog i hidrofilnog dijela. U vodenoj otopini se u monomolekularnom sloju orjentiraju na granici faza tako da je hidrofilni dio uvijek orijentiran k otapalu, vodi, a hidrofobni dijelom k podlozi. Ovisno o naboju hidrofilnog dijela mogu biti anionski, kationski ili neionski.

Kao aeranti koriste se:

- soli drvnih smola,
- sintetski detergenti,
- soli sulfoniranih lignina,
- soli karboksilnih kiselina koje se dobivaju iz nafte,
- soli dobivene iz proteinских materijala,
- masne kiseline i njihove soli i
- organske soli sulfoniranih ugljikovodika.<sup>4</sup>

Navedeni aeranti dobivaju se iz relativno jeftinih sirovina. Soli dobivene iz drvene smole najvi-e se upotrebljavaju kao aeranti iji je glavni sastojak abijetinska kiselina. Odgovaraju i aerant ne smije kemijski reagirati s cementom, mora biti sposoban stvoriti zra ne mjeđuri e odre ene veli ine koji ne smiju prebrzo razbiti dobre u inke u cementom kompozitu. Najvaflnija namjena aeranata je njihova primjena u izradi betona otpornih na mraz, tj. na djelovanje mraza i soli za odmrzavanje. Oni mogu smanjiti propusnost betona, pove ati trajnost betona u kemijski agresivnim sredstvima.

Uloga aeranta je stabiliziranje zra nih mjeđuri a koji se dobiju u betonu za vrijeme mije-anja. Tijekom mije-anja nastaje vrtlog koji uvla i zrak u smjesu, uvu eni zrak se pod djelovanjem sna nih sila dispergira i razbija sitne mjeđuri e pri emu agregat djeluje kao trodimenzionalno sito kojim se uvla e i zadržavaju zra ni mjeđuri i me u esticama aggregata. Postoje dvije vrste uvu enog zraka u cementom kompozitu. Prva vrsta je ona koja e se na i u cementnom kompozitu bez obzira je li dodan aerant, a druga vrsta je ona koja nastaje kad se doda aerant. Kod prve vrste nastaju -upljine razli itih veli ine i oblika i mogu biti razlog lo-ije kvalitete betona u pogledu vrsto e i trajnosti. Kod druge vrste aerant stabilizira sitne mjeđuri e zraka i osigurava njihovo zadržavanje u cementom kompozitu. Zra ni mjeđuri i koji nastanu u smjesi za vrijeme mije-anja, iza u iz nje na na in da se me usobno ujedine u ve e mjeđuri e i isplivaju na površinu cementnog kompozita i puknu. Dodatkom aeranta stabiliziraju se mjeđuri i na na in da se njihove molekule adsorbiraju na površinu zra nog mjeđuri a. Adsorbirane molekule su svojim polarnim glavama orijentirane prema vodenoj fazi, a ako molekule imaju električni naboj onda su zra ni mjeđuri i istog naboja i odbijaju se. Na taj na in se sprjeava njihovo me usobno ujedinjenje u ve e mjeđuri e. Aeranti nemaju bitan utjecaj na hidrataciju cementa, ni na razvoj topline hidratacije, kao ni na kemijski sastav produkata hidratacije. Pore koje nastaju dodatkom aeranata sprjeavaju ulazak vode iime se izbjegava erozija betona.

## 2.6. FILTARSKA SiO<sub>2</sub> PRAŠINA

Prema normi ASTM C-1240 filterska prašina definira se kao: Šefini poculanski materijal koji se sastoji uglavnom od amorfognog silicijeva dioksida koji je nastao kao nusproizvod u elektrolu nim pe ima pri proizvodnji elementarnog silicijeva ili ferosilicijskih slatin, a koji je znan i kao CSF (condensed silicia fume).<sup>4</sup>

Aktivnost CSF-a može se promatrati preko dva mehanizma:

- POCULANSKE REAKCIJE o opisuje se preko jednadžbe reaktivnog SiO<sub>2</sub> i Ca(OH)<sub>2</sub>: CH + S → C-S-H. Poculanskom reakcijom uklanja se slobodni Ca(OH)<sub>2</sub>, iime se odga a uspostavljanje ravnotežne kemijske reakcije, tj pospješuje se hidratacija alita i belita.

- U INAK SITNIH ESTICA - koje djeluju kao nukleacijske jezgre ili popunjavaju unutra-nju strukturu cementnog kompozita

CSF ubrzava hidrataciju C<sub>3</sub>A, nakon prva tri dana kvantitativnom rendgenskom analizom utvr eno je da je hidratacija C<sub>3</sub>A u prisutnosti CSF-a usporava. Kasnije, do 28 dana hidratacija C<sub>3</sub>A uz prisutnost CSF-a bila je opet ubrzana kada se usporedi s pastom istog portland cementa.<sup>8</sup>

Kod primjene CSF-a su dva pristupa:

- prvi, vodi se idejom da se rije-i otpada i
- drugi, iskori-tavanje specifi nih karakteristika CSF-a i realizacija takvih svojstava cementnih kompozita kakva do primjene CSF-a prakti ki nisu bila isplativa.<sup>7</sup>

## 2.7. DODACI PROTIV SMRZAVANJA

Antifrizni dodaci primjenjuju se u gra evinskim zahvatima koji se izvode pri izuzetno niskim temperaturama, ispod 0 °C.

Smrzavanje cementnog kompozita treba izbjegavati iz dva glavna razloga. Prvi razlog, u smrznutom cementom kompozitu hidratacija je zaustavljena pa se ne mogu razvijati o ekivana svojstva. Drugi razlog, pojavom leda nastaju unutarnja naprezanja u strukturi djelomi no ili potpuno o vrslog cementnog kompozita i kod naprezanja se razara formirana struktura.<sup>4</sup>

Dodaci protiv smrzavanja za cementne kompozite mogu se podijeliti u dvije glavne skupine:

- Antifrizni dodaci koji sniflavaju ledi-te teku e faze u cementnom kompozitu. Te supstance djeluju kao slabi ubrziva i ili usporiva i u hidrataciji cementa. Me u njima se nalaze jaki NaNO<sub>2</sub> (natrijev nitrit) i slabi elektroliti (urea) te
- antifrizni dodaci koji se odlikuju svojstvom ubrzavanja procesa vezanja i o vr-avanja cementa, uz istodobno dobro antifrizno sredstvo. Tu spadaju smjese NaCl, CaCl<sub>2</sub>, NaNO<sub>2</sub>, smjese Ca(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

Adinol-Rapid je vi-enamjenski ubrziva vezivanja betona, koristi se kao sredstvo protiv smrzavanja. To je teku i aditiv koji skra uje vrijeme vezivanja betona i omogu uje

betoniranje pri niskim temperaturama do  $-10^{\circ}\text{C}$ . Nema negativnog utjecaja na vrsto u betona.<sup>4</sup>

Antifrizni dodaci zbog visokih doziranja u kojima se primjenjuju mijenjaju ionsku jakost otopine, a ako je rije o solima jake baze i slabe kiseline i obrnuto onda utje u i na pH vodene otopine. Smanjenjem pH vrijednosti u vodenoj suspenziji cementnih estica poveava se brzina otapanja cementnih estica, a to onda utje e i na brzinu njihove ukupne hidratacije.

Ve inu antifriznih dodataka ine povrinski negativne tvari koje u sitnim porama ve inom ostaju u otopini, za razliku od povrinski aktivnih tvari koje se adsorbiraju na povrini vrstih estica. Kod odabira tvari za antifrizne dodatke mora se izbjegavati povrinski aktivne tvari.<sup>4</sup>

## 2.8. LETE I PEPELI

Lete i pepeli su ostaci mljevenog ugljena koji su nastaju sagorijevanjem , esto se ozna avaju kao mineralni dodaci.

Pod pojmom mineralnih dodataka podrazumijevaju se finozrnni dispergirani materijali koji mogu biti dodavani u beton u relativno malim udjelima s obzirom na samu masu cementa.

Mineralni dodaci se dijele na :<sup>4</sup>

- Prirodne ó poculani, diatomen zemlje, vulkanski pepeli i
- industrijske ó leti i pepeli, troska visokih pe i, filterska  $\text{SiO}_2$  praina, pepeo riflinih ljski itd.

Lete i pepeli nastaju kao nusprodukt u termoelektranama koje za gorivo koriste sitno samljeveni ugljen. Kada ugljen do e u pe i u zonu visokih temperatura, izme u  $1000^{\circ}\text{C}$  do  $1600^{\circ}\text{C}$ , hlapljive supstance i organski sastojci sagore. Mineralna one i- enja iz ugljena (kvarc, glina i feldspati) ostaju kao nesagorivi ostatak. Taj nesagorivi ostatak se solidificira u obliku sferi nih estica veli ine od 1 do 150 m. Vafne su dvije karakteristike, s to su veli ina estica i sadrflaj pucolanski aktivnog  $\text{SiO}_2$ , odnosno sadrflaj kalcijeva oksida, prema tome se procjenjuje je li leti i pepeo prikladan za uporabu. Lete i pepeli koji se sastoje od

sferi nih isto staklenih estica omogu uje smanjenje koli ine vode potrebnu za pripremu cementnih kompozita.<sup>4</sup>

Utjecaj pepela na hidrataciju portland cementa ovisi o vrsti lete eg pepela, doziranju i njegovojo reaktivnosti. Hidratacija s dodatkom lete ih pepela u tijeku prvih dana je usporena, a mofle biti pospje–ena ako lete i pepeli imaju znatan udio finih estica. Fine estice pomafju i dispergiranju estica cementa u vodi i mogu djelovati kao nukleacijske jezgre. Dodatkom lete ih pepela smanjuje se sadrflaj samog cementa u cementnom kompozitu –to pridonosi smanjenju tro–kova. Smanjuje se toplina razvijena hidratacijom i pobolj–ava se obradivost cementnih kompozita u plasti nom stanju.<sup>4</sup>

### 3. ZAKLJU CI

Na temelju prou ene znanstvene literature može se zaklju iti:

- Suvremena primjena betona i cementnih kompozita zahtjeva primjenu aditiva u svrhu pobolj-anja obradivosti svjele cementne mase ili za dobivanja boljih svojstava kona nog proizvoda.
- Aditivi se u pravilu dodaju s vrlo malim udjelima (obi no do 1%) u odnosu na masu cementa tako da se uz vrlo niski tro-ak dobiva kvalitetniji proizvod.
- Razvijeni su aditivi koji utje u na brzinu hidratacije cementa, usporiva i ili ubrziva i tako da se vrijeme vezanja može prilagoditi potrebama ugradnje.
- Postoje aditivi koji pobolj-avaju obradivost cementne paste uz manji vodocementni omjer, plastifikatori i superplastifikatori te se dobiva proizvod sa ve im vrsto ama.
- Na tržilištu je jako puno razli itih funkcionalnih aditiva tako da je mogu e zadovoljiti zahtjeve proizvodnje betona posebnih svojstava - vodonepropusni, sulfatnootporni, otporni na kloride (more), brzo vezuju i, betoni niske topline hidratacije, pjenobetoni i ostali.

#### 4. LITERATURA

1. D. Jozic , Materijali u graditeljstvu, KTF, 2018.
2. Cement ó Wikipedija (wikipedia.org), (pristupljeno 26.09.2022.)
3. T. Matu-evi , infljenjerstvo mineralnih veziva (interna skripta), Fakultet kemijskog infljenjerstva i tehnologije, Zagreb 2017.
4. N. Vrbos, Dodaci za cementne kompozite (nastavni materijal), Fakultet kemijskog infljenjerstva i tehnologije, Zagreb 2017.
5. A. urekovi , Cement, cementni kompoziti i dodaci za beton, IGH i TKolska knjiga, Zagreb 1996.
6. V. S. Ramachandran, V. M. Malhotra, Superplasticizers, u: Concrete admixtures handbook, Noyes publ., New Jersey, 1984.
7. fi. Jakopovi , Petar Kulu-i , Fizika 1, TKolska knjiga Zagreb, 2000.
8. A. urekovi , Cement pastes of low water to solid ratio:An investigation of the porosity characteristics under influence of a superplasticizer and silica fume, Cem. Concr. Res., Vol 25 (1995).
9. D. Bjegovi , N. Trimer, Teorija i tehnologija betona, Sveu ili-te u Zagrebu, Gra evinski fakultet, Zagreb, 2015.