

# 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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:167:844521>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-02**

*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO – TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**PRIPRAVA CEMENTNIH KOMPOZITA 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: Tehni ke znanosti

Znanstveno polje: Kemijsko inženjerstvo

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

Mentor: prof. dr. sc. Pero Dabi

### PRIPRAVA CEMENTNIH KOMPOZITA UZ DODATAK ADITIVA

Ana Kulić, 65

#### Sažetak:

U ovom radu je istrafleno djelovanje aditiva na cementne kompozite. Proizvodnju betona i cementnih kompozita prate brojni problemi i zahtjevi vezani za pove anje u inkovitosti, za pobolj-anje trajnosti i svojstava. Dodatkom aditiva djelomi no se ostvaraju ti ciljevi. Danas skoro pa da ne postoji izvedbe nekog betonskog objekta bez primjene aditiva. Najvi-e se koriste za betonske kompozite kojima je postavljen visoki kriteriji kakvo e tj. onih za koje se trafe posebna svojstva. Kod samog odabira aditiva treba obratiti pozornost na njegov volumni udio tj. 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. Mi e Jaki - predsjednik
2. Izv. prof. dr. sc. Damir Barbir - lan
3. Red. prof. dr. sc. Pero Dabi ó lan - mentor

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

**Rad je u tiskanom i elektroničnom (pdf formatu) obliku pohranjen u Knjižnici Kemijsko tehnolo-kog fakulteta u Splitu, Ru era Bo-kovi a 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 its 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. Mi e Jakić , assistant prof, Ph. D. ó chair person
2. Damir Barbir, associate professor, Ph. D. ó member
3. Pero Dabić , full professor, Ph. D. ó 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, Ruđerka 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, pomoći, savjetima i vodstvu pri izradi ovog završnog rada.

Zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na velikoj podršci tijekom dosadašnjeg 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 istrafleno djelovanje aditiva na cementne kompozite. Proizvodnju betona i cementnih kompozita prate brojni problemi i zahtjevi vezani za pove anje u inkovitosti, za pobolj-anje trajnosti i svojstava. Dodatkom aditiva djelomi no se ostvaraju ti ciljevi. Danas skoro pa da ne postoji izvedbe nekog betonskog objekta bez primjene aditiva. Najvi-e se koriste za betonske kompozite kojima je postavljen visoki kriteriji kakvo e tj. onih za koje se trafe posebna svojstva. Kod samog odabira aditiva treba obratiti 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 wich a high quality criterion has been set, i. e. those for wich special properties are required. In the case of the admixtures itself, attetintio 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. HIDROSIKARBOKSILNE KISELINE .....	16
2.4.3. UGLJIKOHIDRATI .....	16
2.4.4. UTJECAJ PLASTIFIKATORA NA HIDRATACIJU PORTLAND- CEMENTA .....	17
2.5. AERANTI .....	18
2.6. FILTERSKA SiO <sub>2</sub> PRAŠINA .....	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 (razliite velicine) me usobno spojenih mineralnim vezivom. Najee korištenjem jedne od vrsta portland cementa.

Cementni reakcijski sustav je heterogen i vrlo slofen i procesima hidratacije daje vrlo veliki broj razli itih produkata hidratacije koje posjeduju i razli ita fizikalno-kemijska svojstva.

Svaka smjesa veziva i vode bila bi vezivni kompozit, koji se uslofnjava uvo enjem drugih aktivnih sastojaka, kao to su: pijesak (u pripravi mortova), agregat (u pripravi betona) ili pak internih dodataka i aktivnih dodataka koji utje u na hidratacijske procese.

## 1. OP I DIO

### 1.1. CEMENT

Prema Europskoj normi za cement (ENV 197-1 2011), cement je hidrauli no vezivo, to zna i fino mljeveni anorganski materijal koji, pomije-an s vodom, daje cementno vezivo koje procesom hidratacije veće i otvrdnjava, te nakon otvrdnjavanja ostaje postojanog volumena tako er 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 pe enjem lapora i vapnenca, a predstavnik ove skupine cementa je portland cement. Portland cement služi kao baza u proizvodnji metalur-kih, pucolanskih i supersulfatnih cemenata.
- ALUMINATNI CEMENTI je proizvod koji se dobiva finim mljevenjem aluminatnog cementnog klinkera. Dobiva se pe enjem 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 ozna uju pomo u kartica za pojedine okside koji tvore te spojeve. Na temelju skra enih simbola kemijski sastav pojedinih osnovnih sastojaka i hidrata prikazat emo 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>
PRIMJERI SPOJEVA U KEMIJI CEMENTA			
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> )
$\bar{C}\bar{S}\bar{H}_2$	CaO·SO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	kalcijev sulfat dihidrat	(CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)
$\bar{C}\bar{S}\bar{H}_{0,5}$	CaO·SO <sub>3</sub> ·1/2H <sub>2</sub> O	kalcijev sulfat poluhidrat	(CaSO <sub>4</sub> ·1/2H <sub>2</sub> O)
$\bar{C}\bar{C}$	CaO·CO <sub>2</sub>	kalcijev karbonat	(CaCO <sub>3</sub> )
C-S-H		složeni kalcijev silikat hidrat promjenjiva sastava	
AFt	$C_3A_{0,5}F_{0,5}(\bar{C}\bar{S})_3H_{31-32}$	tetrakalcijev aluminat ferit trisulfat hidrat	
AFm	$C_3A_{0,5}F_{0,5}\bar{C}\bar{S}H_{12}$	tetrakalcijev aluminat ferit monosulfat hidrat	

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

Spoj	Kemijski sastav	Oznaka	mas. %
Trikalcijev silikat	3CaO·SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	42 do 65
Dikalcijev silikat	2CaO·SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	10 do 30
Trikalcijev aluminat	3CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	0 do 17
Kalcijev aluminoferit	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 konstituenti	Mg, Na, K, i S oksidi		

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

*Fizikalno–kemijski  
i  
minerološki sastav cementa  
(CEM I 42,5R)*

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 sadrffi 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 slofen tehnolo-ki procesi u kojem polazni materijal (sirovina) bitno izmjeni svoj sastav i svojstva, te prelazi u portland cementni klinker (PC klinker).

Portland cementni kliker 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 otvrdnjava znatno sporije od alita, ali postife priblifno 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 tekućem 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 više svojstava betona, morta ili paste u svježem, stvrdnutom ili ovisnom stanju. Aditivi se dodaju isključivo za poboljšanje različitih svojstava betona bilo u svježem ili ovisnom stanju. Danas se više od 70% betona proizvodi s aditivima.<sup>4</sup>

Dodatkom aditiva mijenjaju se svojstva svježeg i ovisnog betona:

- povećava se obradljivost svježeg betona bez povećanja količine vode ili se smanjuje količina vode uz istu obradljivost,
- ubrzava se ili usporava vrijeme početka vezivanja,
- smanjuje se ili potpuno sprječava plastično skupljanje ili se izaziva povećanje volumena materijala,
- usporava se gubitak obradljivosti,
- povećava se trajnost betona,
- povećava se vrstoća,
- sprječava se štetno djelovanje alkalija iz cementa na sastojke betona i razne druge modifikacije,
- sprječava se smrzavanje svježeg betona,
- smanjenje propusnosti betona i
- usporava se ili smanjuje razvoj topline hidratacije u tek pripremljenom betonu.

Kao aditivi se koriste topljive kemikalije, površinski aktivne tvari i praktično netopljivi minerali.

Aditivi se općenito dijele na:

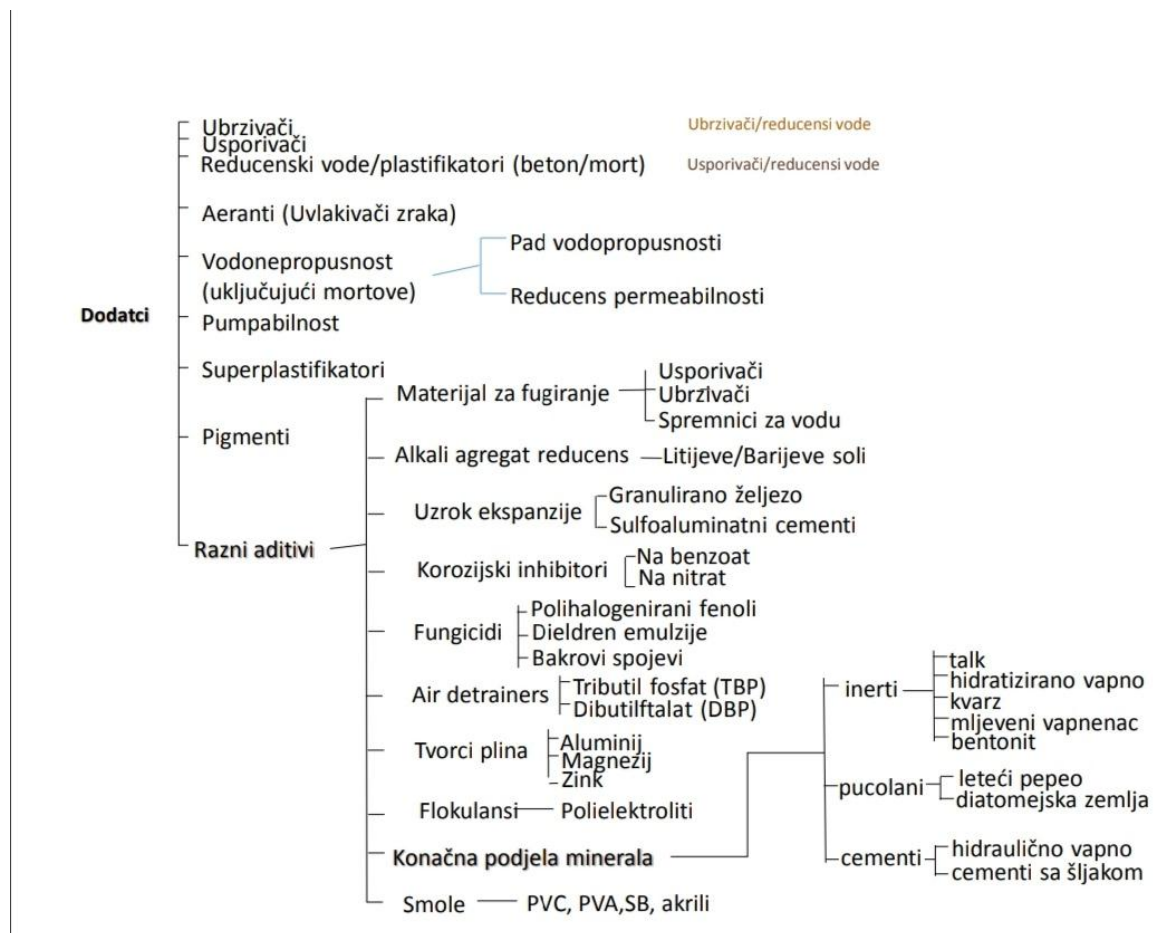
- sredstva za mijenjanje karakteristika betona tijekom ovisivanja (ubrziva i, usporiva i vezivanja),
- sredstva za poboljšanje svojstava betona prilikom pripreme i

- sredstva za poboljšanje kvalitete o vrslog betona (aeranti, sredstva za pove anje vodonepropusnosti, smanjenje toplinske vodljivosti, pove anje vrsto e, te sredstva protiv smrzavanja).

Prema namjeni aditivi se dijele na:

- superplastifikatori i plastifikatori,
- ubrziva i i usporiva i,
- 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 povećavaju viskoznost bez smanjenja sadržaja vode.
- Superplastifikatori ó aditivi koji dozvoljavaju smanjenje vode u smjesi bez promjene konzistencije ili koji povećavaju viskoznost bez smanjenja sadržaja 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 efekt znatnog smanjenja vode i usporavanja hidratacije.
- Ubrziva i vezivanja / reducensi vode ó ubrzavaju hidrataciju cementa usred čega se skraćuje vrijeme vezivanja, povećavaju brzinu razvoja vrste.
- Ubrziva i vezivanja ó skraćuju vrijeme po etnog vezivanja uz istovremene porast po etne vrste.
- Ubrziva i ovršivanja ó ubrzavaju razvoj rane vrste betona sa ili bez utjecaja na vrijeme vezivanja i na plastična svojstva svježeg betona.
- Usporiva i ó suprotno od ubrzivača, oni produljuju vrijeme po etnog vezivanja uz produljenje vremena obradljivosti i usporavaju razvoj ranih vrsta.
- Aditivi za modificiranje viskoznosti - to su aditivi koji zadržavaju vodu u smjesi svježeg betona.
- Aditivi za uvlačenje zraka (aeranti) ó to su aditivi koji omogućuju raspodjelu zračnih mjehurića uvlačenjem određene količine zračnih mjehurića za vrijeme mijenjanja koji se zadržavaju u betonu nakon stvrdnjavanja.
- Vodootporni aditivi ó smanjuju apsorpciju kapilarne vode u ovršlom betonu.

S obzirom da se sve više traži visoka kvaliteta betona, nije moguće 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 usporivači,
- TIP C ó ubrzivači,
- TIP D ó reducensi vode i usporivači,
- TIP E ó reducensi vode i ubrzivači,

- TIP F ó reducensi vode visokog u inka,
- TIP G ó reducensi 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 hidratacijskih 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 indukcijski 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>

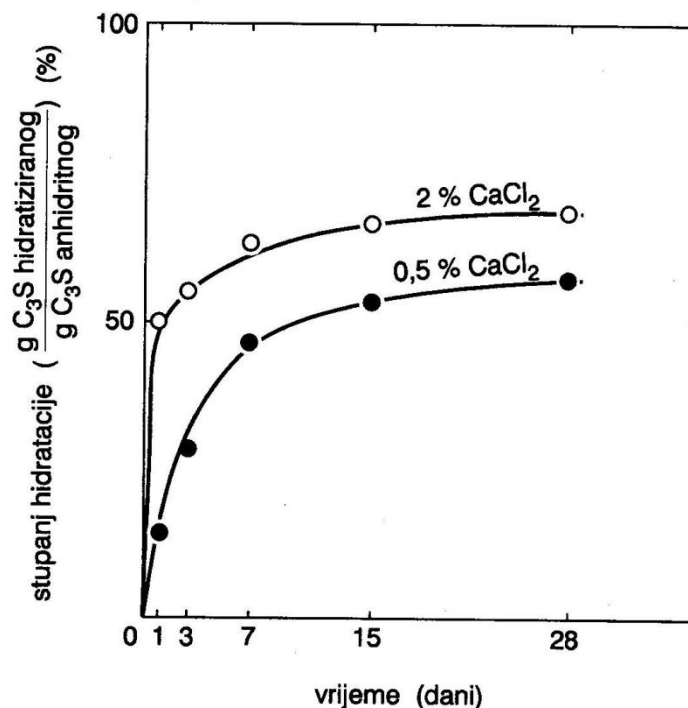
Djelovanje ubrziva a usmjereno je na pove anje stupnja hidratacije, destabiliziraju povr–inu C-S-H, ubrzavaju kristalizaciju  $\text{Ca(OH)}_2$ , pove anjem vjerojatnosti uspje–nih sudara reagiraju ih komponenti. Ubrziva i dovode do pove anja koeficijenta difuzije, kada difuzija postaje odlu uju i proces 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 nusprodukt 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 čine 75% ukupnog cementa.  $\text{CaCl}_2$  u pasti  $\text{C}_3\text{S}$  ubrzava i oslobađa toplinu hidratacije, utječe i na sam sastav C-S-H produkta.<sup>4</sup>

Brzina oslobađanja 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 ubrzanja hidratacije  $\text{C}_3\text{S}$ -a temelji se na samoj sposobnosti  $\text{CaCl}_2$  da povećava nestabilnost primarnih hidrosilikata. Zbog toga se formiraju nukleacijske jezgre s nižim sadržajem kalcijeva oksida i poroznijih hidrosilikata. To je potvrđeno činjenicom da dodatkom  $\text{CaCl}_2$  u predhidratizirani  $\text{C}_3\text{S}$  ne dolazi do ubrzanja u daljnjem 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 pomiču u ravnotežu reakcije uz povećanu oslobodenu toplinu hidratacije.<sup>5</sup>

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

Prednost uporabe ubrziva a sa sadržajem 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 sniflenja 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  $0^\circ\text{C}$ .<sup>5</sup>

### 2.1.2. NEKLORIDNI UBRZIVA I

Kako se primjenom kloridnih ubrziva a mofle izazvati korozija eli njih 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 sadrfe –e ere i njihovi derivati,

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

Usporiva i usporavaju hidrataciju cementa, tako ustvari djeluju i na osloba anje topline hidratacije i omogu uju njeno osloba anje u okolinu pa zbog toga ne nastaje nepofeljno povi–enje 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, hidrosikarboksilne 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, adsorpciji ili formiranju kompleksa. Sve te tri teorije sprje avaju dodir vode s hidratiziraju im esticama.

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

Teorija precipitacije temelji se na pretpostavci da se talofe netopljivi hidratacijski produkti koji su nastali reakcijom organskog usporiva a i Ca ó iona na povr–ini hidratiziraju eg C<sub>3</sub>A i drugih minerala i na taj na in stvaraju prepreku prodiranju vode.

Teorija adsorpcije temelji se na pretpostavci da se organski dodatak apsorbira na povr–inu anhidritnih cementnih spojeva i na povr–inu metastabilnih heksagonskih hidrata.

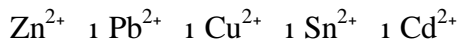
Usporiva i služe da bi se produffilo vrijeme obradivosti betona, kako bi se produffilo i vrijeme u kojem je mogu a ugradnja. Usporiva i se upotrebljavaju i pri betoniranju u vru im klimatskim uvjetima. Primjenjuju se i pri izradi betonskih dijelova u podmorju, u tom slu aju se kombiniraju s drugim dodacima. Upotrebljavaju se kod cementnih bu–otina 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 faza hidratacije. Saharoza i glukoza djeluju usporavaju e samo u fazi nukleacije i u fazi kristalizacije



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

Najčešće rabljeni anorganski usporivači su borati, fosfati i soli cinka, olova, kositra i arsena. Po etni u inak usporenja smanjuje se po redoslijedu soli s ovim kationima:



Za usporivače na bazi anorganskih spojeva pretpostavlja se da formiraju zaštitni sloj felatinoznog oksida na esticama cementa.<sup>4</sup>

### 2.3. SUPERPLASTIFIKATORI

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

Superplastifikatori postižu svoj efekt u vremenu od samog trenutka dodavanja u svježu smjesu, pa do trenutka stvrdnjavanja. Da bi uoči ili mehanizam djelovanja, potrebno je dobro poznavati fluidnost kompozita. Dodatkom superplastifikatora u cementnu pastu dolazi do disperzije veštih 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 (estri, sulfonske kiseline i dr).

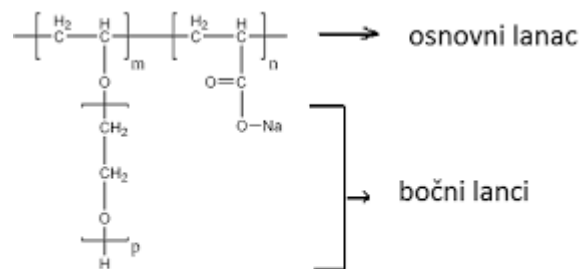
Superplastifikatori se najčešće upotrebljavaju:

- 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 polikarboksilat 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 viskoznu otopinu ili gel. Prodaje se pod različitim trgovačkim imenima i koristi se kao sredstvo za bubrenje ili emulgator za različite prehrambene i kozmetičke proizvode, nije lako probavljiva i nije toksična.

Metil celuloza ima značajnu primjenu kao aditiv u građevinskim materijalima, poboljšava svojstva obradivosti, povećanje vremena, zadržavanje vode, viskoznost i adheziju na površini.<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-fazni kompozit koji se sastoji od zraka, vode i krutine. Sve te komponente su različite gustoće. Djelovanjem gravitacije dolazi do razdvajanja odnosno segregacije. Tehnološke mjere se stoga bitno usmjerene na održavanje homogenosti u takvim vi-faznim kompozitima. Stabilnost željene konzistencije može se postići i samo pravilnim korištenjem sila između čestice i faze.<sup>7</sup>

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

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

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

Koloidne sile - (čestice veličine  $2 \times 10^{-4}$  do  $10^{-6}$  mm) posebno su važne. U tekućini inama velike ionizirajuće mogućnosti, 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 željena konzistencija ili fluidnost potrebno je fino balansiranje međusobnih sila. U samoj praksi se to postiže dodatkom tvari koje deflokuliraju i dodatkom velikih molekula koje se adsorbiraju na čestice cementa, tj. upotrebom 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 njezina obradivost, ili poboljšavaju obradivost, a ne mijenjaju 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 vrstene na in da se smanji vodocementni omjer uz istu konzistenciju betona,
- zadržavanje iste konzistencije uz smanjenje količine cementa i vode, a tako da vrstena i vodocementni omjer ostanu isti i da se uštedi na cementu i
- poboljšanje obradivosti, na in da se olakša ugradnja u nepristupačne dijelove konstrukcije.

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

Stupanj hidratacije se definira pomoću količine topline oslobođene hidratacijom:

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

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

$Q_{\max}$  količina topline oslobođena 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 vrstena, 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,  $\text{NH}_4$  soli ),
- ugljikohidrati i
- ostale vrste - Plastifikatori su najčešće tvari izvedene iz glicerola, polivinilnog alkohola, aluminometil silikonata i drugih spojeva.

#### 2.4.1. LIGNOSULFONATI

Lignosulfonati nastaju pri procesu proizvodnje celuloze sulfitnim postupkom te kao nusproizvod koji sadrži 20-30 mas% sulfoniranog lignina. Samim sulfoniranjem lignin je preveden 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, manoza, itd), najčešće se upotrebljava kada se traži djelovanje plastifikatora usporivača.<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 hidroksikarboksilne kiseline, upotrebljavaju se manje nego lignosulfonati. Sastoje se od višestrukih hidroksilnih i jedne ili dvije krajnje karboksilne grupe koje su vezane na kraje ugljikovog lanca. Najčešće se koriste kao usporivači ili plastifikatori ili usporivači, da bi se upotrijebili kao normalni plastifikatori ili kao plastifikatori i ubrzivači moraju im se dodati sastojci za ubrzavanje. Najčešće se upotrebljava glukonska, limunska, vinska, salicilna i druge kiseline, u obliku Na 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 gljivotinjama.

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 glukozičnih jedinica i s niskom molekularnom masom.

Imaju izraženiji 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 sadržaj  $\text{C}_3\text{A}$  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 glavna 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 mođe 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 ini, po etnom omjeru V/C i o vrsti i svojstvima agregata.<sup>4</sup>

## 2.5. AERANTI

Aeranti su skupina aditiva za beton koji omogućavaju u fazi mijenjanja uvlačenje malih, jednakomjerno raspoređenih zračnih pora koje nakon otvrdnjavanja ostaju u betonu.<sup>4</sup>

Svi aeranti za beton pripadaju vrsti kemijskih spojeva koji se nazivaju površinski aktivnim tvarima tj. tenzidima. To su organske tvari koje otopljene u vodi smanjuju silu kojom djeluju na granicama plohamma između faza nastoje i smanjiti površinu tih granica faza.

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

Kao aeranti koriste se:

- soli drvnih smola,
- sintetski detergentski,
- soli sulfoniranih lignina,
- soli karboksilnih kiselina koje se dobivaju iz nafte,
- soli dobivene iz proteinskih 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 najviše se upotrebljavaju kao aeranti čiji je glavni sastojak abietinska kiselina. Odgovarajućim aerant ne smije kemijski reagirati s cementom, mora biti sposoban stvoriti zračne mjehuriće određene veličine koji ne smiju prebrzo razbiti dobre u zračne u cementom kompozitu. Najvažnija namjena aeranata je njihova primjena u izradi betona otpornih na mraz, tj. na djelovanje mraza i soli za odmrzavanje. Oni mogu smanjiti propusnost betona, povećati trajnost betona u kemijski agresivnim sredstvima.

Uloga aeranta je stabiliziranje zračnih mjehurića koji se dobiju u betonu za vrijeme mijenjanja. Tijekom mijenjanja nastaje vrtlog koji uvlači i zrak u smjesu, uvučeni zrak se pod djelovanjem smičnih sila dispergira i razbija sitne mjehuriće pri čemu agregat djeluje kao trodimenzionalno sito kojim se uvlače i zadržavaju zračni mjehurići među esticama agregata. Postoje dvije vrste uvučenog zraka u cementnom kompozitu. Prva vrsta je ona koja se nastaje 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 mjehurići različitih veličina i oblika i mogu biti razlog lošije kvalitete betona u pogledu vrste i trajnosti. Kod druge vrste aerant stabilizira sitne mjehuriće zraka i osigurava njihovo zadržavanje u cementnom kompozitu. Zračni mjehurići koji nastanu u smjesi za vrijeme mijenjanja, iza sebe ostavljaju na sebi da se međusobno ujedine u veće mjehuriće i isplivaju na površinu cementnog kompozita i puknu. Dodatkom aeranta stabiliziraju se mjehurići na sebi da se njihove molekule adsorbiraju na površinu zračnog mjehurića. Adsorbirane molekule su svojim polarnim glavama orijentirane prema vodenoj fazi, a ako molekule imaju električni naboj onda su zračni mjehurići istog naboja i odbijaju se. Na taj način se sprječava njihovo međusobno ujedinjenje u veće mjehuriće. Aeranti nemaju bitan utjecaj na hidrataciju cementa, ni na razvoj topline hidratacije, kao ni na kemijski sastav produkata hidratacije. Pore koje nastaju dodatkom aeranta sprječavaju ulazak vode čime se izbjegava erozija betona.

## 2.6. FILTARSKA $\text{SiO}_2$ PRAŠINA

Prema normi ASTM C-1240 filtarska prašina definira se kao: čvrsti poculanski materijal koji se sastoji uglavnom od amorfnog silicijeva dioksida koji je nastao kao nusproizvod u elektrolitičkim procesima pri proizvodnji elementarnog silicijeva ili ferosilicijevih slitina, a koji je znan i kao CSF (condensed silica fume).<sup>4</sup>

Aktivnost CSF-a može se promatrati preko dva mehanizma:

- **POCULANSKE REAKCIJE** opisuje se preko jednadžbe reaktivnog  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Ca(OH)}_2$ :  $\text{CH} + \text{S} \rightarrow \text{C-S-H}$ . Poculanskom reakcijom uklanja se slobodni  $\text{Ca(OH)}_2$ , čime se odgađa uspostavljanje ravnoteže kemijske reakcije, tj. postepeno se odvija hidratacija alata i belita.



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

CSF ubrzava hidrataciju  $C_3A$ , nakon prva tri dana kvantitativnom rendgenskom analizom utvrđeno je da je hidratacija  $C_3A$  u prisutnosti CSF-a usporava. Kasnije, do 28 dana hidratacija  $C_3A$  uz prisutnost CSF-a bila je opet ubrzana kada se uspoređi s pastom istog portland cementa.<sup>8</sup>

Kod primjene CSF-a su dva pristupa:

- prvi, vodi se idejom da se riješi otpada i
- drugi, iskorištavanje specifičnih karakteristika CSF-a i realizacija takvih svojstava cementnih kompozita kakva do primjene CSF-a praktički nisu bila isplativa.<sup>7</sup>

## 2.7. DODACI PROTIV SMRZAVANJA

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

Smrzavanje cementnog kompozita treba izbjegavati iz dva glavna razloga. Prvi razlog, u smrznutom cementnom kompozitu hidratacija je zaustavljena pa se ne mogu razvijati očekivana svojstva. Drugi razlog, pojavom leda nastaju unutarnja naprezanja u strukturi djelomično ili potpuno oštećujući 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 snižavaju ledi-te tekuće faze u cementnom kompozitu. Te supstance djeluju kao slabi ubrzivači ili usporivači u hidrataciji cementa. Među njima se nalaze jaki  $NaNO_2$  (natrijev nitrit) i slabi elektroliti (urea) te
- antifrizni dodaci koji se odlikuju svojstvom ubrzavanja procesa vezivanja i oštećivanja cementa, uz istodobno dobro antifrizno sredstvo. Tu spadaju smjese  $NaCl$ ,  $CaCl_2$ ,  $NaNO_2$ , smjese  $Ca(NO_2)_2$ ,  $Ca(NO_3)_2$ .

Adinol-Rapid je višenamjenski ubrzivač vezivanja betona, koristi se kao sredstvo protiv smrzavanja. To je tekući aditiv koji skraćuje vrijeme vezivanja betona i omogućuje

betoniranje pri niskim temperaturama do  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 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 riječ o solima jake baze i slabe kiseline i obrnuto onda utječu i na pH vodene otopine. Smanjenjem pH vrijednosti u vodenoj suspenziji cementnih estica povećava se brzina otapanja cementnih estica, a to onda utječe i na brzinu njihove ukupne hidratacije.

Većinu antifriznih dodataka čine površinski negativne tvari koje u sitnim porama većinom ostaju u otopini, za razliku od površinski aktivnih tvari koje se adsorbiraju na površinu vrstih estica. Kod odabira tvari za antifrizne dodatke mora se izbjegavati površinski aktivne tvari.<sup>4</sup>

## 2.8. LETE I PEPELI

Lete i pepeli su ostaci mljevenog ugljena koji su nastaju sagorijevanjem, često se označavaju kao mineralni dodaci.

Pod pojmom mineralnih dodataka podrazumijevaju se finoizrnuti 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 – pucolani, diatomen zemlje, vulkanski pepeli i
- industrijske – lete i pepeli, troska visokih peći, filtarska  $\text{SiO}_2$  prašina, pepeo riflinih ljuski itd.

Lete i pepeli nastaju kao nusprodukt u termoelektranama koje za gorivo koriste sitno samljeveni ugljen. Kada ugljen dođe u peći u zonu visokih temperatura, između  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hlapljive supstance i organski sastojci sagore. Mineralna onečišćenja iz ugljena (kvarc, glina i feldspati) ostaju kao nesagorivi ostatak. Taj nesagorivi ostatak se solidificira u obliku sferičnih estica veličine od 1 do  $150\text{ }\mu\text{m}$ . Vafne su dvije karakteristike, što su veličina estica i sadržaj pucolanski aktivnog  $\text{SiO}_2$ , odnosno sadržaj kalcijeva oksida, prema tome se procjenjuje je li lete i pepeo prikladan za uporabu. Lete i pepeli koji se sastoje od

sferi njih isto staklenih estica omogućuje smanjenje količine vode potrebne za pripremu cementnih kompozita.<sup>4</sup>

Utjecaj pepela na hidrataciju portland cementa ovisi o vrsti i količini pepela, doziranju i njegovoj reaktivnosti. Hidratacija s dodatkom ipepehela u tijeku prvih dana je usporena, a može biti pospješena ako ipepeheli imaju znatan udio finih estica. Fine estice pomažu i dispergiranju estica cementa u vodi i mogu djelovati kao nukleacijske jezgre. Dodatkom ipepehela smanjuje se sadržaj samog cementa u cementnom kompozitu –to pridonosi smanjenju troškova. Smanjuje se toplina razvijena hidratacijom i poboljšava se obradivost cementnih kompozita u plastičnom stanju.<sup>4</sup>

### 3. ZAKLJUČCI

Na temelju proučene znanstvene literature može se zaključiti:

- Suvremena primjena betona i cementnih kompozita zahtjeva primjenu aditiva u svrhu poboljšanja obradivosti svježe cementne mase ili za dobivanje boljih svojstava konačnih proizvoda.
- Aditivi se u pravilu dodaju s vrlo malim udjelima (obično do 1%) u odnosu na masu cementa tako da se uz vrlo niski trošak dobiva kvalitetniji proizvod.
- Razvijeni su aditivi koji utječu na brzinu hidratacije cementa, usporiva i ili ubrziva i tako da se vrijeme vezanja može prilagoditi potrebama ugradnje.
- Postoje aditivi koji poboljšavaju obradivost cementne paste uz manji vodocementni omjer, plastifikatori i superplastifikatori te se dobiva proizvod sa većim vrstama.
- Na tržištu je jako puno različitih funkcionalnih aditiva tako da je moguće zadovoljiti zahtjeve proizvodnje betona posebnih svojstava - vodonepropusni, sulfatootporni, otporni na kloride (more), brzo vezujuć i, betoni niske topline hidratacije, pjenobetoni i ostali.

#### 4. LITERATURA

1. D. Joži , Materijali u graditeljstvu, KTF, 2018.
2. Cement ó Wikipedija (wikipedia.org). (pristupljeno 26.09.2022.)
3. T. Matu-evi , inflinjerstvo mineralnih veziva (interna skripta), Fakultet kemijskog inflinjerstva i tehnologije, Zagreb 2017.
4. N. Vrbos, Dodaci za cementne kompozite (nastavni materijal), Fakultet kemijskog inflinjerstva i tehnologije, Zagreb 2017.
5. A. urekovi , Cement, cementni kompoziti i dodaci za beton, IGH i Tehnoloska 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, Tehnoloska 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 ilite u Zagrebu, Gra evinski fakultet, Zagreb, 2015.