



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog
inženjerstva i tehnologije



ZAVOD ZA ANORGANSKU KEMIJSKU TEHNOLOGIJU I NEMETALE

INŽENJERSTVO MINERALNIH
VEZIVA

Materijali za vježbe

Zagreb, 2018.

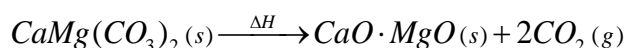
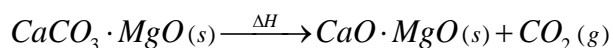
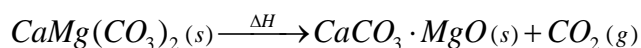
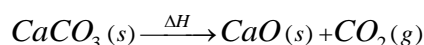
1. VJEŽBA- VAPNO

Svrha vježbe je upoznavanje sa sirovinama za pripremu živog vapna, postupkom dobivanja živog vapna, postupkom dobivanja gašenog vapna te reakcije karbonatizacije vapna koja dovodi do vezanja i povećanja čvrstoće vapnenog veziva.

UVOD

Pod pojmom (anorganskih) veziva kao građevnog materijala podrazumijevamo materijale koji služe za povezivanje drugih materijala (najčešće kamena i kamenog agregata) u novu cjelinu. Vezivo posjeduje svojstvo da dodatkom vode u određenom trenutku, uslijed kemijskih i fizikalno-kemijskih procesa očvrstnu te tako vežu dijelove u cjelinu. Prema načinu očvršćivanja veziva dijelimo na zračna veziva (miješanjem s vodom mogu očvrstnuti samo na zraku, a nisu otporna na djelovanje vode), te na hidraulična veziva (nakon miješanja s vodom mogu očvrstnuti i na zraku i u vodi, te su otporna na djelovanje vode).

Vapno kao jedno od najstarijih poznatih mineralnih veziva i danas se koristi u građevnoj industriji i drugim granama industrije. Vapno je najčešće naziv za živo vapno ili kalcijev oksid (CaO), koji se dobiva se pečenjem vapnenca (CaCO₃). Također se proizvodi i tzv. dolomitno vapno, a kao sirovina se koristi dolomit CaMg(CO₃)₂ (idealizirana kemijska formula). Kemijske promjene pri pečenju vapna i dolomita prikazane su sljedećim jednadžbama:



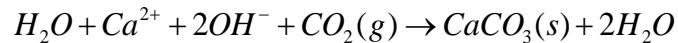
prvi stupanj
drugi stupanj
sumarno

Temperatura raspada sirovine ovisi o parcijalnom tlaku ugljikovog dioksida u sagorijevnim plinovima (u doticaju s vapnencem). Pri normalnom tlaku i volumnom udjelu od 25% CO₂ temperatura disocijacije vapnenca je 810°C, dok u atmosferi 100% CO₂ temperatura početka disocijacije je 900°C. Termički raspad dolomita odvija se u dva koraka, na 550°C nastaje MgO te na oko 810°C nastaje još i CaO. Temperatura površine tzv. „lagano“ pečenog vapna ne smije prijeći 1100-1150°C. Pri višim temperaturama dolazi do rekristalizacije CaO što uzrokuje povećanje veličine kristala, manju specifičnu površinu, te posljedično i smanjenu reaktivnost i smanjenje svojstva „gašenja vodom“. Reakcija kalcinacije (proizvodnje živog vapna) odvija se pri nižem parcijalnom tlaku ugljikovog dioksida iznad čvrste površine od ravnotežnog tlaka razgradnje kalcijevog karbonata određene temperature. Tipičan izraz za ravnotežni tlak razgradnje kalcijevog karbonata dan je izrazom:

$$p_{\text{ravnotežni}} = 4,137 \cdot 10^7 \exp\left(-\frac{20474}{T}\right)$$

gdje je ravnotežni tlak, p_{rav} / bar, a temperatura izražena u T / K.

Hidratacija vapna se odvija prilikom njegove proizvodnje čime se dobiva gašeno vapno u obliku suhog praha (maksimalno 2 mas.% vlage) ili vapnenog mlijeka. Vapno kao zračno vezivo se koristi tako da se miješa sa vodom te daje pastu koja poboljšava obradivost i zadržavanje vode u mortu. U doticaju s atmosferom i prisutnim CO₂ dolazi do reakcije karbonatizacije te nastaje kalcijev karbonat koji daje čvrstoću i doprinosi trajnosti morta, a proces se može opisati na sljedeći način:



Vapno može pokazivati i svojstva hidrauličnog veziva, zato jer tzv. „kiseli oksidi“ primjesa (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) daju minerale karakteristične za portland cement, te stoga i vapno dobiva sve više izražena svojstva hidrauličnog veziva.

Ostale upotrebe vapna su u metalurškoj industriji kao dodatak prilikom proizvodnje čelika, bakra, aluminijske, magnezijevske itd. U poljoprivredi za podešavanje osobina tla, u zaštiti okoliša za tretiranje zraka, vode za piće, otpadnih voda i krutog otpada. Koristi se i u postupcima desulfurizacije otpadnih plinova prilikom čega nastaje sintetski gips te se koristi za dobivanje precipitiranog kalcij karbonata (PCC) koji se koristi u proizvodnji papira, boja, plastike i gume.

EKSPERIMENTALNI DIO

1. Upaliti i pripremiti peć za žarenje uzorka na 800°C
2. Izvagati i pripremiti uzorak za kalciniranje u vremenu od 1h
3. Nakon žarenja uzorak izvagati
4. Na razlomljenom uzorku dokazati napredovanje kalcinacije vapnenca

ZADATAK

Izračunati gubitak mase i količinu oslobođenog CO₂ tijekom žarenja te prikazati i objasniti postupke dokazivanja reakcije dekarbonatizacije.

2. VJEŽBA- OPORABA I HIDRATACIJA GIPSA

Svrha vježbe je upoznavanje sa mogućnošću recikliranja otpadnog gipsa te upoznavanje sa toplinom hidratacije mineralnih veziva

UVOD

Gips je mineral iz skupine sulfata, tj. soli sumporne kiseline, spada u skupinu zračnih anorganskih mineralnih veziva. Ime mu dolazi od grčke riječi *gypsos* što bi značilo kreda, gips, cement. Zastupljen je u zemljinoj kori u dva kristalna oblika kameni sadrovac ili sadra, odnosno gips u obliku dihidrata ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) te anhidrit (CaSO_4). Gips ima široku primjenu prvenstveno u građevini jer pokazuje otpornost na različite vanjske utjecaje, ima dobra mehanička svojstva, izuzetnu kvalitetu te je ekonomski isplativ.

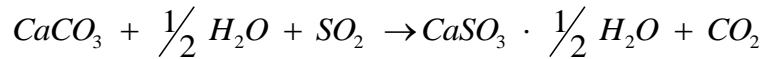
Na tržištu pronalazimo građevinski, modelarski, štukaturni, zubarski, alabaster, električarski gips. Vrste gipsa razlikuju se prema vremenu vezivanja, čvrstoći na tlak, savijanju, finoći mljevenja, ekspanziji pri vezivanju te dodatku vode.

Najčešće primjenjivan je kalcinirani gips ($\text{CaSO}_4 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) koji pomiješan s vodom služi kao vezivo u građevinarstvu, za proizvodnju gipsanih ploča i elemenata, te za izradu klupa. Gips se koristi kao punilo u industriji papira, tekstila, gume, boja, zatim u poljoprivredi i zaštiti okoliša za tretiranje tla. Čisti i prozirni kristali gipsa imaju primjenu u proizvodnji optičke opreme. U proizvodnji cementa gips je aditiv koji služi kao regulator brzine vezanja cementa.

Prema dobivanju gipsa možemo ga podijeliti u dvije skupine: prirodni i sintetički gips. Prirodni gips se dobiva eksploatacijom ležišta dihidrata koji se pojavljuje uz ležišta anhidrida. Nakon eksploatacije gips prolazi procese usitnjavanja (drobljenje i mljevenje), zatim se sirovina pere i prosijava kako bi se pripremila za kalcinaciju. Drobljenjem se dobiva prvi u nizu produkata, tj. gips za portland cement. Nakon drobljenja sirovina se suši na temperaturama ispod 50 °C te se tako uklanja slobodna vlaga, a da pri tome ne dolazi do gubitka strukturne vode (kemijski vezane). Nakon sušenja se gips kalcinira ili se melje. Različiti su tipovi peći za kalcinaciju od kojih svaka zahtjeva određeni granulometrijski sastav sirovine (rotacijske, vertikalne, Kettle peći te integrirane peći).



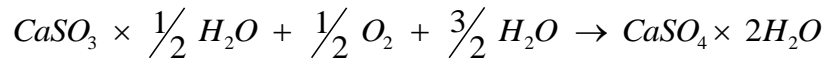
Sintetički gips se pojavljuje kao nusprodukt tehnoloških procesa. Sintetički gips se u najvećim količinama javlja u postupku odsumporavanja dimnih plinova termoelektrana na ugljen. Razlikujemo više postupaka za odsumporavanje dimnih plinova: mokri i suhi. Mokri postupak zahtjeva upotrebu apsorbensa (vapno, hidratizirano vapno ili vapnenac) za sumporov (IV)-oksid. Nusprodukt mokrog postupka pročišćavanja dimnih plinova je gips visoke čistoće sa sadržajem gipsa većim od 95%. Sustav za mokro odsumporavanje sastoji se od elektrofiltra koji izdvaja krute čestice te nakon toga dimni plinovi prolaze kroz apsorber u protustruji raspršene suspenzije, gdje sitne kapljice suspenzije kalcijevog karbonata apsorbiraju SO_2 prema jednadžbi:



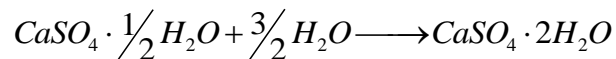
ili pri korištenja gašenog vapna:



Prema navedenim reakcijama nastaje kalcij-sulfit hemihidrat ($CaSO_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O$) koji se ispušta i prikuplja u rezervoaru suspenzije. U rezervoaru se suspenzija aerira kako bi se sulfit oksidirao u sulfat, te kao produkt nastaje gips:



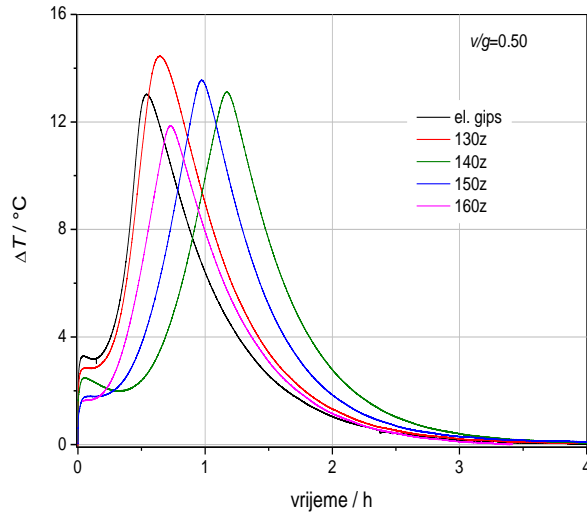
Gips u obliku kalcij-sulfat poluhidrata ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$) ima najveću primjenu. Hemihidrat ima svojstvo da lako veže molekule vode, te vrlo brzo očvršne, tj. prijeđe u dihidrat ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Takav oblik omogućuje njegovu široku primjenu kao veziva u građevinarstvu. Procesi dehidracije i hidratacije temelj su tehnologije gipsa (proizvodnja i primjena). Reakcija hidratacije je egzotermna reakcija i odvija se prema jednadžbi:



Pripadna promjena entalpije iznosi: $\Delta H = -18$ kJ/mol. Količina oslobođene topline izražena po gramu ishodnog veziva (nehidratiziranog gipsa) uobičajeno se naziva toplina hidratacije, a proces očvršćivanja gipsa je egzoterman. Kvantitativno određivanje topline pri hidrataciji pokazalo se kao vrijedna i praktična analiza hidratacije gipsa. Prema istraživanjima te literaturnim podacima, osim kemijskog sastava toplina hidratacije ovisi i o fizičkim čimbenicima. Brojne su metode ispitivanja topline hidratacije. Izotermne metode temelje se na mikro-kalorimetrijskim mjerenjima dok su polu-adijabatske metode osnovane na mjerenju temperature u središtu toplinski izoliranog uzorka tijekom procesa hidratacije.

Na slici 1 prikazani su rezultati mjerenja *temperature* tijekom vezanja i očvršćivanja uzoraka veziva na osnovi gipsa. Rezultat mjerenja je temperatura uzorka, dok nas zapravo zanima *uzrok* porasta temperature, tj. *volumna generacija topline* uslijed egzotermne reakcije. Do tog je podatka moguće doći baždarenjem semiizoperibolnog kalorimetra (shematski prikaz) vlastite konstrukcije, te dekonvolucijom snimljenog termograma. Rezultate mjerenja tada je moguće *kvantitativno* usporediti.





Slika 1. Rezultati mjerenja temperature u semiizoperibolnom kalorimetru vlastite konstrukcije za uzorke veziva na osnovi gipsa pripravljene hidrotermalnom obradom pri temperaturama 130-160 °C, te za uzorak komercijalnog električarskog gipsa.

EKSPERIMENTALNI DIO

1. Pripremiti aparaturu za recikliranje otpadnog gipsa
2. Izvagati uzorak dihidrata te ga pripremiti za recikliranje
3. Kalcinirati gips na 135 °C tijekom 3h
4. Kalcinirani gips izvagati
5. Zamiješati gips sa vodom te ispitati toplinu hidratacije gipsa

ZADATAK

Izračunati učinkovitost recikliranja gipsa te ispitati toplinu hidratacije istog u usporedbi sa komercijalnim gipsom.

3. VJEŽBA- PRIPREMA CEMENTNOG KLINKERA I CEMENTA

Svrha vježbe je upoznavanje sirovina za pripravu cementnog klinkera i cementa, priprava cementnog klinkera i cementa uz različite udjele sirovina, upoznavanje mineraloškog sastava cementa i hidratiziranog cementa, te upoznavanje tijekom hidratacije pripremljenog cementa praćenjem temperature uzorka pripremljene cementne paste.

UVOD

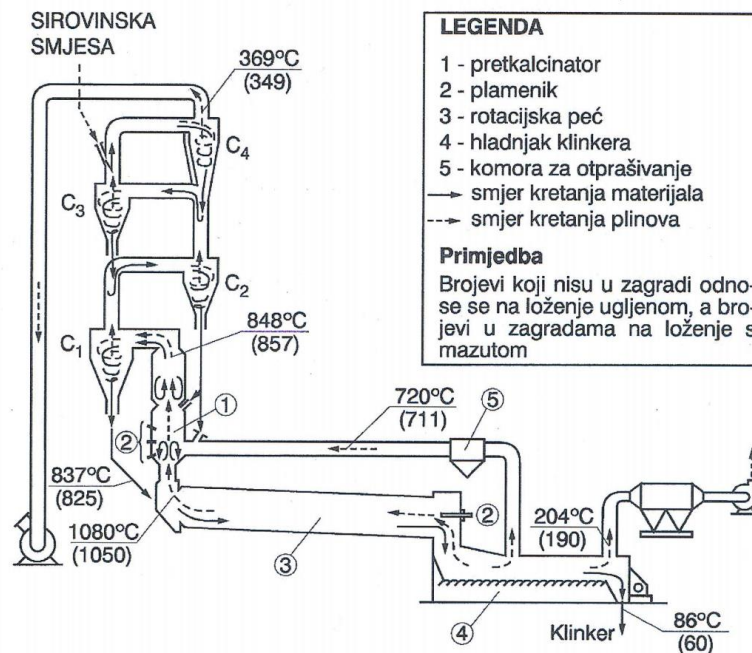
Uporaba hidrauličnih veziva sličnih cementu poznata je još od antičkih vremena. Egipćani su kvalitetna veziva koristili prilikom izrade piramida, Grci su koristili santorinsku zemlju (vulkanski pepeo) kao dodatak vapnu dok su stari Rimljani kao dodatak vapnu koristili pucolan, vulkansku zemlju iz napuljskog zaljeva (nazvana prema obližnjem gradiću Pozzoli pored vulkana Vezuv). John Smeaton je 1756. godine u svrhu obnove uništenog svjetionika Eddystone lighthouse, 14 milja jugozapadno od Plymoutha osmislio mort kao mješavinu vapna i trasa (pucolanski materijal). Kakvoću ovog veziva usporedio je sa tada najkvalitetnijim građevinskim kamenom iz okolice Portlanda, čije ime nosi danas najzastupljenija vrsta cementa, portland cement. Kako niti Smeaton, niti ostali istraživači, za ovakvu vrstu morta odnosno hidrauličnog veziva, nisu odredili ili prikazali točne odnose vapnene i pucolanske komponente, u različitim zemljama je tadašnji cement imao i različita svojstva. Stoga je u Njemačkoj 1877. godine dana prva specifikacija, dok je 1904. godine donesen standard kvalitete hidrauličnog veziva u Velikoj Britaniji i SAD-u.

Danas cement možemo definirati kao praškasti materijal koji pomiješan s vodom, zbog kemijskih reakcija i fizikalnih procesa, očvršćava u tzv. „cementni kamen“. Zbog svojih kohezijskih i adhezijskih svojstava u svježem stanju povezuje zrna stijena i minerala (agregat) u kontinuiranu, čvrstu masu betona. Najviše se proizvodi i koristi portland cement, a ostale važnije vrste cementa su: aluminatni cement, pucolanski i metalurški cementi, ekspanzivni cement i supersulfatni cement.

Osnovni sastav cementa i cementnog klinkera ovisi o sirovinama odnosno o njihovom sastavu, a one mogu biti prirodnog ili industrijskog porijekla. Sirovine su izvor glavnih kemijskih sastojaka cementa: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 i Fe_2O_3 . Vapnenac je izvor kalcijeva oksida te se najčešće koristi. Lapor uz CaO sadrži i ostale okside potrebne za proizvodnju cementa te se može koristiti kao jedinstvena sirovina. Glinena komponenta je izvor ostalih oksida potrebnih za proizvodnju, ponajviše silikata i aluminata koji se nalaze u obliku alkalijevih aluminosilikata, feldspata i tinjca (liskuna). Korekcijski sastojci su sirovine koje sadrže uglavnom nedostajuće spojeve potrebne za proizvodnju cementnog klinkera (primjerice piritne ogorine ili ruda željeza kao izvor Fe_2O_3).

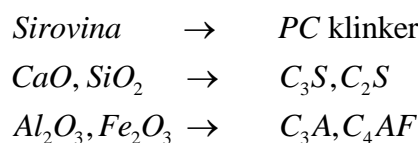
Sama proizvodnja cementa je složen tehnološki proces tijekom kojeg se sirovine (vapnenac i glina) pečenjem pri temperaturama višim od 1350°C transformiraju u cementni klinker. Današnja proizvodnja temelji se na suhom postupku proizvodnje dok je mokri postupak napušten zbog velikog utroška energije. Postrojenje se sastoji od predgrijača (zbog

uštede energije), kalcinatora, rotacijske peći i hladnjaka. Prije ulaska u kalcinator sirovine se zagrijevaju u predgrijaču. U kalcinatoru sirovina postiže temperaturu od 850-900°C čime se oslobađa preko 90% CO₂ iz sirovine. Na ulasku u rotacijsku peć materijal se brzo zagrijava na temperature od preko 1350°C. Rotacijska peć okreće se od 2-4 okr/min, sirovina ulazi na višem kraju kako bi se transportirala duljinom peći. Daljnjim prolaskom kroz peć raste temperatura te dolazi do sinteriranja i nastanka oko 10% taline. Nastanak taline je važan zbog veće brzine reakcije krutine i taline čime se poboljšava nastanak cementnog klinkera. Daljnjim pečenjem sirovina dolazi do stvaranja cementnog klinkera iz vapnenih i glinenih komponenata. Klinker pada u hladnjak gdje se brzo hladi, te se sprječava raspad alita.



Slika 1. Shema proizvodnje portland cementnog klinkera

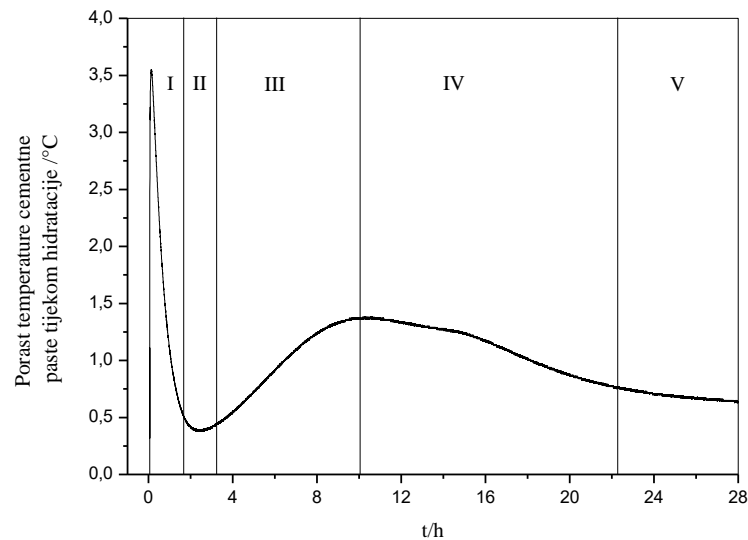
Sastav sirovina i pripadajućih konstituenata koji se dobivaju pečenjem cementnog klinkera je prikazan sljedećom shemom/jednadžbom:



Gdje su C₃S **alit** (3CaO·SiO₂), C₂S **belit** (CaO·SiO₂), C₃A **trikalcij aluminat** (3CaO·Al₂O₃) i C₄AF **brownmillerit** ili tetrakalcij alumo-feritna faza (4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃).

Takav PC klinker se skladišti i melje uz dodatak gipsa (prema potrebi i drugih dodataka pucolanskih svojstava ili vapnenca), a produkt dobiven mljevenjem naziva se portland cement ili cement opće namjene. Miješanjem cementa sa vodom dolazi do reakcije između vode i navedenih mineralnih faza, te u konačnici dolazi do očvršćivanja i stvaranja krute cementne paste. Reakcija hidratacije i njen napredak se može pratiti mjerenjem promjene kemijskog sastava (primjerice količine kemijski vezane vode), mjerenjem toplote

oslobođene reakcijama mineralnih faza i vode, mjerenjem brzine ultrazvuka, mjerenjem promjene volumena, promjene reoloških svojstava ili čvrstoće cementnog materijala. Uobičajen i nama zanimljiv način praćenja napredovanja hidratacije cementa je mjerenje brzine razvoja topline hidratacije, tj. mjerenjem u izoperibolnom kalorimetru vlastite izvedbe.



Slika 2. Shematski prikaz brzine razvoja topline hidratacije u ovisnosti o vremenu.

Na slici 2 je prikazana karakteristična krivulja brzine razvoja topline hidratacije portland cementa, podijeljena na 5 razdoblja. Period I je predindukcijski period u kojem dolazi do kvašenja cementa i početnog otapanja i hidratacije mineralnih faza (C_3A i gipsa) te se oslobađa velika količina topline u kratkom vremenu. Nakon što su se odvale te reakcije dolazi do usporavanja i smanjenja količine oslobođene topline u periodu koji se naziva period indukcije (II). Nakon perioda indukcije dolazi do nukleacije i rasta produkata hidratacije (alit) u periodu ubrzavanja (III) te dolazi do rasta čvrstoće cementne paste. U periodu usporavanja (IV) dolazi do usporavanja reakcije hidratacije te se smanjuje brzina oslobađanja topline uz daljnji razvoj čvrstoće paste/cementnog materijala. Brzina oslobađanja topline se monotono smanjuje u periodu (V) kada je brzina limitirana difuzijom vode kroz sloj produkata hidratacije, a reakcije hidratacije se i dalje odvijaju (mjesecima i godinama).

EKSPERIMENTALNI DIO

1. U mlinu homogenizirati vapnenu i glinenu komponentu u tri različita omjera
2. Homogeniziranu smjesu peći na 1350°C tijekom 2 h
3. Ispečeni klinker **brzo ohladiti** te ga prvo drobiti i zatim samljati u planetarnom mlinu uz dodatak gipsa od 3.5% mas.
4. Hidrataciju pripremljenog cementa ispitati u izoperibolnom kalorimetru

ZADATAK

Usporediti te komentirati izmjerenu brzinu oslobađanja topline hidratacije za sustave u ovisnosti o načinu priprave.

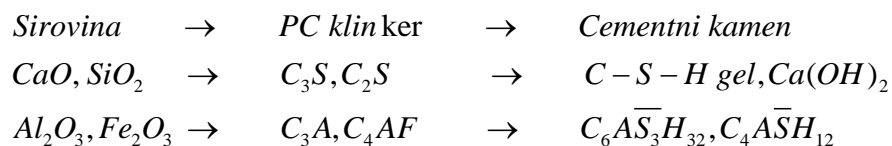
4. VJEŽBA- ODREĐIVANJE ČVRSTOĆE NA SAVIJANJE I ČVRSTOĆE NA TLAK CEMENTNE PASTE ILI CEMENTNOG MORTA

Svrha vježbe je upoznavanje sa pripremom i općim svojstvima očvrsnute cementne paste

UVOD

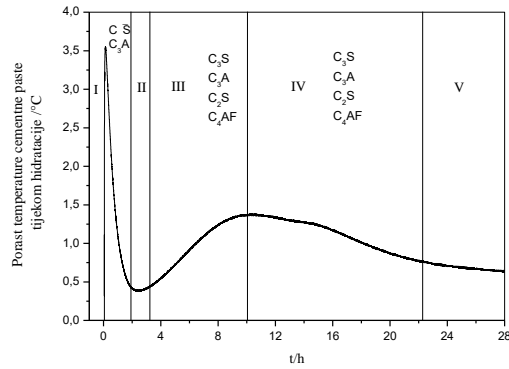
Proces hidratacije je složen proces koji nije u potpunosti razjašnjen zbog heterogenosti, polidisperznosti i velikog broja povezanih reakcija između minerala PC klinkera, CaSO_4 i vode. Hidratacija započinje dodatkom vode cementu, a odvijanjem procesa hidratacije gusta suspenzija cementa i vode razvija koheziju i zgušćuje se do konačnog skrućivanja. Tijekom procesa mijenja se stanje materijalnog sustava koji iz stanja aglomeriranih flokula prelazi u strukturu perkoliranih djelomično hidratiziranih čestica cementa viskoelastičnih svojstava koja može određeno vrijeme izdržati opterećenje na tlak bez značajnih plastičnih deformacija. Proces hidratacije teče dok ne ponestane ili reaktanata ili slobodnog prostora za nastanak produkata hidratacije. Hidratacija u početnom stadiju traje danima, a kasniji razvoj čvrstoće odnosno kasniji stadiji hidratacije mogu se odvijati kroz dugi niz godina. U kemijskom smislu hidratacija portland cementa je složen proces otapanja i precipitacije u kojem se reakcije pojedinačnih minerala portlandskog klinkera odvijaju istodobno, a pri tome utječu jedna na drugu.

Reakcije hidratacije daju sljedeće produkte, gdje \bar{S} predstavlja SO_3 :



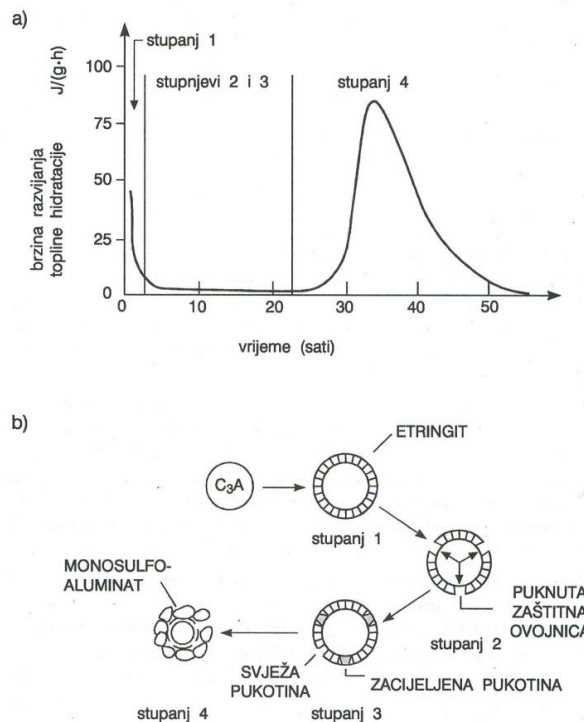
Tijek krivulje brzine oslobađanja topline hidratacije posljedica je svih kemijskih i fizikno-kemijskih procesa, a u određenom razdoblju/stadiju hidratizira pretežito jedna/određena mineralna faza cementa. Na slici 1 prikazana je krivulja brzine topline hidratacije cementne paste i uz svaki period hidratacije prikazani su i minerali koji reagiraju i uzrokuju oslobađanje topline.

U predindukcijskom periodu (I) dolazi do otapanja iona te se odvijaju takozvane reakcije prve faze. U trajanju od svega desetak minuta odvijaju se prve (vrlo brze) reakcije, prelaska iona u otopinu te dolazi do nastanka prvih produkata hidratacije. Hidratacijom C_3S nastaje Ca(OH)_2 i C-S-H gel te unatoč dodanom gipsu koji služi kao usporivač reakcije C_3A i vode i dalje dolazi do vrlo brzih i egzotermnih reakcija u periodu (I) gdje nastaje etringit ($\text{C}_6\bar{\text{A}}\bar{\text{S}}_3\text{H}_{32}$).



Slika 1. Shematski prikaz topline hidratacije u ovisnosti o vremenu sa raspodjelom minerala koji hidratiziraju u određenim periodima.

Usporavanjem i onesposobljavanjem daljnjih reakcija, što je posljedica nastanka zaštitnih slojeva koji nastaju reakcijama hidratacije C_3S i C_3A . Oni obavijaju čestice te se tako usporava daljnja hidratacija i otapanje iona, odnosno povećava se difuzija. Zbog navedenih uvjeta dolazi do indukcijskog perioda (II) u kojem su brzine reakcija i otapanja iona minimalne. Kraj indukcijskog perioda nastaje porastom osmotskog tlaka zbog razlike u koncentracijama iona u otopini oko čestica te prelaskom etringita u zaštitnom sloju u monosulfatni oblik.



Slika 2. Hidratacija C_3A mineralne komponente

Zbog pucanja zaštitnih omotača oko čestica dolazi do povećanja koncentracije iona u otopini te dolazi do novih reakcija hidratacije čime započinje period ubrzavanja (III). Obilježen je, kao što mu ime kaže, porastom oslobođene topline hidratacije i brzine reakcija.

Zbog nastalih uvjeta dolazi do daljnjih reakcija C_3S i C_3A te dalje nastaju produkti hidratacije. Manje reaktivni konstituenti C_2S i C_4AF počinju hidratizirati reakcijama istovjetnim onima od C_3S i C_3A . Zbog nastajanja sve debljeg sloja produkata hidratacije što otežava difuziju produkata te zbog pomanjkanja slobodnog prostora za nastajanje novih produkata hidratacije ulazi se u period usporavanja (IV). U periodu difuzije (V) sve reakcije i njihove brzine su maksimalno usporene te je difuzija glavni limitirajući korak u reakcijama, no unatoč velikoj izreagiranosti reaktanata, nedostatku prostora za nastajanje novih produkata te izrazito sporoj difuziji i dalje teku reakcije te cement iznimno sporo hidratizira tijekom cijelog postojanja cementne paste.

EKSPERIMENTALNI DIO

1. Pripraviti cementnu pastu uz vodocementni omjer $v/c=0.40$. Napuniti standardni trodjelni kalup (tri prizme dimenzija 160x40x40 mm).
2. Nakon 24h čuvanja pri 95% relativne vlažnosti zraka, rastaviti kalup i prizme prebaciti u bazene s vodom.
3. Nakon 7 odnosno 28 dana izmjeriti čvrstoću na savijanje (tri prizme), te čvrstoću na tlak (šest polovica prizmi).

ZADATAK

Nacrtati grafičku ovisnost čvrstoće u vremenu, te usporediti čvrstoću na savijanje sa čvrstoćom na tlak pripremljenih cementnih materijala.

LITERATURA

1. Oates, J.A.H., *Lime and limestone: chemistry and technology, production and uses*, Wiley-VCH verlag GmbH, Weinheim, 1998.
2. Boynton, R.S., *Chemistry and technology of Lime and Limestone*, Second Edition, John Wiley and Sons Inc., New York 1980.
3. Gani, M.S.J., *Cement and Concrete*, Chapman and Hall, London, 1997.
4. Đureković, A., *Cement, cementni kompoziti i dodaci za beton*, 1. Izdanje, IGH i Školska knjiga, Zagreb 1996
5. Ukrainczyk, V., *Beton: Struktura, Svojstva, Tehnologija*, ALCOR, Zagreb 1994.
6. Interna skripta iz Inženjerstva mineralnih veziva