

# Vezivni materijali u građevinarstvu

---

**Barbarić, Franka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:296278>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-30**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Franka Barbarić

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Franka Barbarić

VEZIVNI MATERIJALI U GRAĐEVINARSTVU

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada : izvr. prof. dr. sc. Nevenka Vrbos

Članovi ispitnog povjerenstva : izvr. prof. dr. sc. Nevenka Vrbos

prof. dr. sc. . Emi Govorčin Bajsić

prof. dr. sc. Juraj Šipušić

Zagreb, rujan 2018.

*Zahvaljujem se svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Nevenki Vrbos na iskazanom povjerenju , strpljenu i stručnoj pomoći prilikom izrade završnog rada . Veliko Hvala mojim roditeljima i svima koji su cijelo ovo vrijeme bili uz mene i pružali mi veliku podršku.*

## **SAŽETAK**

Povezivanja znanosti i tehnologije doveli su nas do otkrivanja raznih materijala koji se koriste u građevinarstvu.

Proizvodnja i razvoj vezivnih materijala omogućili su procvat kako kemijske tako i građevinske industrije. Moj završni rad pokušava na jednostavan način približiti proizvodnju i upotrebu vezivnih materijala u građevinarstvu. Vezivni materijali su materijali koji povezuju različite vrste materijala u kompaktne cjeline. Najčešće korišteni vezivni materijali u Hrvatskoj i svijetu su cement i beton. Njihova godišnja proizvodnja premašuje milijunske brojke. Cement i beton neizostavni su materijali u svim oblicima gradnje. Pogodni su za izradu jednostavnih, kompleksnih i inženjerski zahtjevnih objekata.

**Ključne riječi :** Vezivni materijali, cement, beton.

## **ABSTRACT**

Connecting science and technology with industry have led us to the realization of the importance of the use of binding materials in constructions.

Manufacture and development of binding materials have led the chemical and the building industry to the next level. In my final work i have tried to explain everything about the binding materials in the most simple way. Binding material is a material wich is capable of uniting fragments or masses of solid matter to a compact whole. Cement is the binding material, that mixed with gravel, sand and water creates a mixed that go hard. Cement and concrete are the most famous binding materials in constructions. Every year there are tons of these produced. Cement and concrete can be used for building easy but also for building very complicated structures. The most important feature is the price. Both of them are prety cheap.

**Keywords** : Binding materials, cement,concrete.

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. MATERIJALI U GRAĐEVINARSTVU.....	2
2.1. Konstrukcijski materijali.....	3
2.1.1. Kamen.....	3
2.1.2. Drvo.....	4
2.1.3 Opeka.....	5
2.2. Izolacijski materijali.....	6
2.2.1. Kamena vuna.....	6
2.2.2. Staklena vuna.....	7
2.2.3. Stiropor.....	7
2.2.4. Hidroizolacijske mase.....	8
2.2.5. Hidroizolacijske trake.....	8
2.3. Materijali za oblaganje.....	9
3. VEZIVNI MATERIJALI .....	9
3.1. Glina.....	10
3.2. Gips.....	12
3.3. Vapno.....	14
3.4. Cement .....	17
3.4.1. Proizvodnja cementa.....	17
3.4.2. Vrste cementa.....	21
3.4.3. Voda u cementnom materijalu.....	25
3.4.4. Kvaliteta vode.....	27
3.5. Beton .....	28
3.5.1. Svježi beton.....	29
3.5.2. Očvrsnuli beton.....	30
3.5.3. Specijalne vrste betona.....	31
4. ZAKLJUČAK .....	34
5. LITERATURA .....	35
6. ŽIVOTOPIS.....	36

## **1.UVOD**

U građevinarstvu se koristi jako puno različitih materijala, bez kojih je nemoguće zamisliti današnju građevinsku industriju. Materijali kao što su drvo, kamen, glina osnovne su sirovine koje se koriste još od davnina. Napretkom industrije i novih tehnologija ljudi koriste nove materijale koji zadovoljavaju razne zahtjeve. U suvremenom graditeljstvu ovaj osnovni pojam, spajanja i povezivanja neobično je važan, jer se na taj način realizira priprava građevinskih materijala kao osnovnih komponenti građenja, te osigurava stabilnost i opstojnost izgrađenih objekata. Novi građevinski materijali osiguravaju nam bolji životni standard, ugodnost i funkcionalnost. Danas se najviše koristi cement i beton. Vrste materijala, njihova proizvodnja i primjena prikazana je u sljedećim cjelinama ovog završnog rada.



## 2. MATERIJALI U GRAĐEVINARSTVU

Građevni materijali su svi materijali koji se upotrebljavaju u građevinarstvu. Poznavanje vrsta i svojstava materijala jedan je od preduvjeta za njihovu uspješnu primjenu pri projektiranju, gradnji i održavanju građevinskih objekata. Među prvim materijalima koji su se koristili u davnoj povijesti bili su drvo, kamen i glina. Asirci su gradili ceste uz pomoć opeka i bitumena, dok su slavne Egipatske građevine, kao što su piramide, izgrađene uz pomoć vapnenog morta. U izgradnji piramida Egipćani su primijenili empirijska pravila građenja. Grci su počeli upotrebljavati čak i fizikalne zakone za svojstva materijala. Međutim, daleko najveći graditelji i poznavaoči materijala bili su stari Rimljani. Oni su izdavali knjige o materijalima, a na njihovim vještinama građenja cesta, mauzoleja i velebnih građevina zavide im i današnji stručnjaci. U 18. i 19. stoljeću počinje procvat građevinske industrije kao takve, te se počinju uvoditi materijali koji se dobivaju kemijskom i mehaničkom preradom sirovina, kao što su čelik, beton, cement. Konstrukcije poprimaju puno veće izdržljivosti, a razvoj materijala ide u raznim smjerovima. Kako bi mogli ovladati vještinama građenja, projektiranja i upotrebe samih građevina i konstrukcija potrebno je poznavanje mnogih znanstvenih disciplina. Kako bi mogli predvidjeti ponašanje materijala u određenim situacijama potrebno je poznavati fizikalna i kemijska svojstva materijala kako bi određeni materijal zadovoljio sve zahtjeve. Poznavanje mehanike važan je faktor prilikom procjene čvrstoće, tvrdoće, elastičnosti i krhkosti materijala. Upravo zbog činjenice da većinu materijala dobivamo u industrijskim procesima, prilikom odabira materijala moramo provesti određena ispitivanja. Prilikom odabira moramo voditi računa o ekonomskoj isplativosti i omjeru cijene i kvalitete. Svakim se ispitivanjem pokušava dobiti što veća kvaliteta proizvoda kao takvog kako bi njegovim poboljšanjem rasla i njegova potražnja na tržištu. Poznavanje građevinskih materijala odnosno materijala koji se koriste u građevinarstvu, otvara sasvim nova vrata za rast i razvoj građevinske industrije. [1]

Građevinski materijali dijele se u 4 skupine:

1. Konstrukcijski materijali
2. Izolacijski materijali
3. Materijali za oblaganje
4. Vezivni materijali

## 2.1. Konstrukcijski materijali

Konstrukcijski materijali koriste se za izradu nosivih elemenata građevine. Nosivi elementi prisutni su i u nisko i u visokogradnji. Definicija nosivih elemenata jest da su to elementi građevine koji na sebe mogu preuzeti opterećenje od gornjih elemenata i prenijeti ga do nosivog tla. Neki od nosivih elemenata su temelji, zidovi, stropovi, stupovi itd. Upravo zbog činjenice da na sebe preuzimaju sve vrste opterećenje, nosivi elementi moraju biti napravljeni od materijala koji ima dobra mehanička svojstva. Svakako najbitnije svojstvo je čvrstoća, a daljnja ispitivanja i željeni zahtjevi određuju ostala svojstva koje materijal mora zadovoljiti . Najčešće upotrebljavani konstrukcijski materijala su : kamen, drvo, opeka , čelik, beton, armirani beton, itd. [1,2]

### 2.1.1. Kamen

Upotreba kamena kao materijala za građenje vidljiva je u istočnom dijelu Europe u razdoblju od prije 8000 godina. Tada se kamen koristio za izradu raznih oruđa, oružja, temelja, ograda i skulptura. Kamen je zapravo odvaljeni dio stijene. Odvajanje se vrši na prirodan ili umjetni način. Kao materijal odlikuju ga odlična fizikalno-mehanička svojstva, dobra tekstura i struktura. Dobiva se iz litosfere , vanjskog omotača zemljine kore. Više od 99% kamene kore čine svega 12 kemijskih elemenata (kisik, silicij, aluminij, željezo, kalcij, natrij, kalij, mangan ..) U kamenolomima diljem svijeta pri vađenju kamena vrši se miniranje. Nakon tog postupka dobiveni usitnjeni materijal treba samo rasijati na pojedine željene frakcije. Glavni sastojci stijena i kamena su minerali. Oni se u prirodi javljaju samostalno i kao dijelovi stijena. Njihova bitna svojstva su izgled, tvrdoća i boja te sjaj koji posjeduju. Uz dobre odlike koje posjeduju, prilikom odabira kamena moramo paziti na vremenske uvjete kojima će materijal biti okružen. Najčešći uzroci degradacije kamena su atmosfersko zagađenje, smrzavanje i odmrzavanje, organizmi, korozija, itd.

Na slici 1.1. prikazana je građevina koja je u potpunosti izgrađena od Bračkog kamena. Brački kamen jedan je od najprepoznatljivijih simbola lijepe naše Hrvatske Osim što krasi mnoge vелеbne građevine u Republici Hrvatskoj, njime je uređeno i predvorje zgrade Ujedinjenih Naroda u New Yorku. Brački kamen je u svijetu postao cijenjen zbog svoje iznimne kvalitete.



**Slika 1.1.** Građevina izrađena od Bračkog kamena.

### 2.1.2. *Drvo*

Drvo je prirodni materijal biljnog podrijetla koji se upotrebljava kao materijal za izradu kuća, krovništa (slika 1.2), namještaja, mostova, prozora i vrata, skela te oplata. Prednosti koje donosi upotreba drveta su svakako njegova mala volumna masa koja predstavlja masu volumena drveta kao poroznog materijala. Drvo posjeduje velike čvrstoće. S obzirom na različite vrste čvrstoća, odlikuje ga najveća vlačna čvrstoća. Jedno od najbitnijih svojstava drveta su njegova laka obradivost i oblikovanje, što uvelike olakšava postupak rukovanja. Upravo zbog toga mnogo umjetnici posežu za drvetom kao sirovinom od koje izrađuju svoje skulpture. Osim kod izrada skulptura drvo se koristi i u glazbi. Drvo jako dobro apsorbira zvuk te se koristi za poboljšanje akustike u dvoranama u kojima se održavaju glazbeni koncerti. Temperatura je jedan od glavnih čimbenika na koje treba obratiti pažnju kada se radi s drvetom. Ona znatno utječe na mehanička svojstva drveta. Povećana temperatura smanjuje njegovu čvrstoću, dok niske temperature mogu dovesti do njegova pucanja. Uz temperaturu, razni insekti i gljivice mogu napadati drvo pa ga je bitno zaštititi raznim kemijskim sredstvima. Drvo je potrebno redovno održavati.

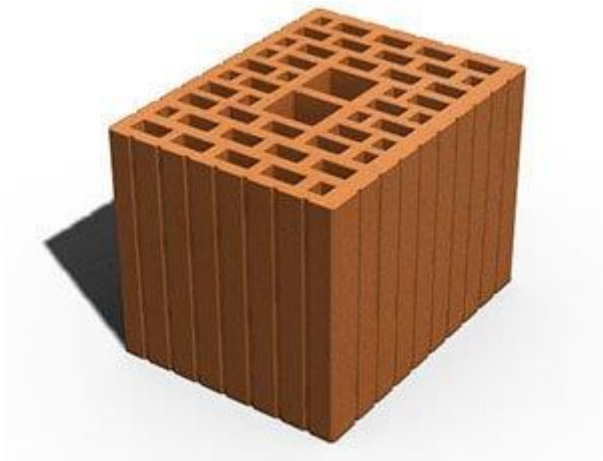


**Slika 1.2.** Drveno krovšte

### *2.1.3. Opeka*

Opeka se proizvodi od opekarske ili ciglarske gline odnosno ilovače s dodacima. Glina je osnovna plastična sirovina. Najčešći dodaci mogu biti : kameni pijesak, vapnenac ili laporska glina te željezni hidroksid. Gline s velikim brojem primjesa slabo upijaju vodu što je jedan od nedostataka. Osnovno svojstvo gline je njezina plastičnost. To joj omogućava da pomiješana s vodom daje tijesto koje ne puca i ne kida se prilikom oblikovanja, a da pritom zadržava formu nakon sušenja i pečenja. Proces proizvodnje opeke započinje miješanjem i mljevenjem sirovine u mlinovima. Nakon mljevenja u grubim mlinovima provodi se razbacivanje, odležavanje i homogeniziranje u prostorima s dovoljno vlage. Nakon toga glina se ponovno melje u finim mlinovima ,a njezino oblikovanje provodi se u vakuumskoj preši. Oblik, veličina, raspored šupljina i vanjske dimenzije opeke određene su usnikom koji zatvara cilindar preše. Usnik predstavlja alat za oblikovanje. Nakon toga slijedi rezanje i sušenje koje se provodi uz pomoć struje vrućeg zraka po posebno utvrđenom režimu. Poslije sušenja provodi se pečenje u posebno konstruiranim pećima na temperaturi od 1000 °C. Prskanjem, polijevanjem i umakanjem proizvod se glazira te potom ponovo peče. Pečenje se obavlja u tunelskim ili kružnim pećima.

Razlikujemo pune, šuplje , zidne i specijalne opeke. Pune opeke namijenjene su za izradu vanjskih i unutrašnjih zidova. Opeke sa šupljinama (Slika 1.3.) koriste se kod izrade dimnjaka, silosa, itd. Takve opeke imaju pravilno raspoređene šupljine što ih čini dobrim toplinskim i zvučnim izolatorima. Sve ih odlikuju dobra toplinska svojstva, vodoupojnost, čvrstoća, trajnost odnosno otpornost na smrzavanje i odmrzavanje.



**Slika 1.3.** Šuplja opeka

## **2.2. Izolacijski materijali**

Izolacijski materijali su materijali koji štite ili odvajaju željeni građevinski objekt ili konstrukciju od buke (zvučna izolacija), vlage (hidroizolacija), te topline (toplinska izolacija).

Toplinskom izolacijom štiti se nosiva konstrukcija od vanjskih uvjeta i jakih temperaturnih naprezanja. Toplinska izolacija sprječava prodor toplinske energije kroz zidove, stropove, podove i krovove što omogućava smanjenje toplinskih gubitaka zimi i pregrijavanje prostora ljeti. Prolazak topline može se smanjiti povećanjem debljine zida i korištenjem boljih izolacijskih materijala što svakako zahtjeva dobro poznavanje svojstava građevnih materijala. Šupljikavi materijali kao što su stiropor, kamena i staklena vuna dobri su toplinski izolatori, dok su neporozni materijali kao što su beton i kamen loši toplinski izolatori.

### *2.2.1. Kamena vuna*

Kamena vuna (Slika 1.4) vrsta je mineralne vune koja posjeduje fina vlakna vrlo male gustoće. Jako je dobar toplinski izolator zato što njezina toplinska provodnost iznosi između 0,035 i 0,045 W/mK. Otporna je na požar, paropropusna i vodootporna. Posebno je otporna na starenje i mikroorganizme. Upotrebljava se za oblaganje vanjskih zidova u svrhu toplinske izolacije, ali i u pregradama kao zvučna zaštita. Primjenjuje se granulirana ili formirana u jastuke, trake i bale.



**Slika 1.4.** Kamena vuna

### *2.2.2. Staklena vuna*

Staklena vuna je vrsta mineralne vune. Posjeduje slična svojstva kao i prethodno opisana kamena vuna. Ne upija vlagu, nije zapaljiva i ne trune. Može se koristiti u temperaturnom intervalu od 60-600 °C.

### *2.2.3. Stiropor ( Pjenasti polistiren)*

Stiropor je najčešće korišten izolacijski materijal na bazi polimernog materijala. Osim dobrih izolacijskih svojstava odlikuju ga dobra cijena i lakoća ugradnje. Koristi se kao toplinska zaštita na svim vanjskim konstrukcijama. Veliki nedostatak je njegova neotpornost na temperature. Podnosi temperature do 80 °C. Razlikuju se ekstrudirani i ekspandirani polistiren. Najviše se koristi polistiren gustoće 15-50 kg/m<sup>3</sup>.



**Slika 1.5.** Stiroporne ploče

Hidroizolacijskim materijalima štiti se cijeli objekt ili samo neki njegovi dijelovi od štetnog utjecaja vlage ili atmosfere, površinskih i podzemnih voda. Vlaga i voda uzrokuju propadanje materijala. S obzirom na mjesto ugradnje hidroizolacijske materijale dijelimo na materijale kojima izoliramo temelje, podrume, temeljne zidove, unutarnje prostore, krovišta i vanjske zidove. Materijali koji se koriste kod hidroizolacije su razne hidroizolacijske mase, bitumen, katran i razne vrste folija.

#### *2.2.4. Hidroizolacijske mase*

Hidroizolacijske mase koriste se kao vrući premazi na temperaturi od 180°C, sami ili u kombinaciji s trakama ili ljepilima. Mogu biti bitumenske, katranske i asfaltne. Bitumen (Slika 1.6.) predstavlja crnu ljepljivu čvrstu ili polučvrstu masu koja se sastoji od ugljikovodika i njihovih nemetalnih derivata. Nalazi se u prirodi ili se dobiva preradom nafte.

Katran je smeđe-crva preradevina koja se dobiva termičkom razgradnjom ugljena.



**Slika 1.6.** Bitumen

#### *2.2.5. Hidroizolacijske trake*

Hidroizolacijske trake najčešće su upotrebljavane kod izolacije temelja. Sastoje se od dva osnovna dijela: osnove koja može biti organskog ili anorganskog podrijetla i veziva (bitumen i katran). Trake za hidroizolaciju dobivaju se premazivanjem osnove bitumenom i katranom ili njenim natapanjem. Specifičnost hidroizolacijskih traka jest njihova prilagodljivost obliku konstrukcije te sigurnije povezivanje s istom.

Zvučna izolacija potpomaže kod izoliranja prostora od zvuka. S obzirom na to da možemo razlikovati zvuk koji se prenosi zrakom i zvuk koji se prenosi građevinskim materijalom

koristimo različite izolatore. Puna opeka, kamen i beton materijali su guste strukture te se koriste kod izolacije zvuka koji se prenosi zrakom. Materijali spužvaste strukture, guma, mineralna vuna svrstavaju se u mekane i porozne materija pa se tako koriste kod izolacije zvuka koji se prenosi građevinskim materijalom (tzv. topot) .

### **2.3. Materijali za oblaganje**

Materijali za oblaganje koriste se u svrhu zaštite ugrađenih konstrukcijskih i izolacijskih materijala. Postoji nekoliko vrsta materijala za oblaganje. Najčešće ih dijelimo u tri skupine: izolacijske, habajuće i konstrukcijske. Izolacijski materijali za oblaganje upotrebljavaju se za zaštitu materijala od atmosferskog utjecaja ( žbuke, mortovi, premazna sredstava, te proizvodi od kamena, mramora i drva). Habajuće podloge su neprestano izložene djelovanju mehaničkog opterećenja i moraju zaštititi nosivu podlogu od intenzivnog trošenja. U te svrhe koriste se kamen, beton, plastomeri, itd.

## **3. VEZIVNI MATERIJALI**

Namjena vezivnih materijala je da spajaju ili povezuju iste ili različite materijale u kompaktne cjeline. Vezivni materijali posjeduju svojstvo da u određenom trenutku pod utjecajem određene sredine i kemijskim djelovanjem otvrdnu. U suvremenom graditeljstvu ovaj osnovni pojam, spajanja i povezivanja neobično je važan, jer se na taj način realizira priprema građevinskih materijala kao osnovnih komponenti građenja, osigurava stabilnost i opstojnost izgrađenih objekata. U građevinarstvu posebno značenje imaju anorganska mineralna veziva. [3,4]

### **Anorganska mineralna veziva**

Anorganska mineralna veziva su tvari anorganskog mineralnog podrijetla koja pomiješana s vodom djelovanjem fizikalno –kemijskih procesa s vremenom otvrdnjavaju ili vežu u krutu tvorevinu.

Podjela anorganskih mineralnih veziva se vrši po kemijskom sastavu, načinu otvrdnjavanja, načinu proizvodnje i termičke obrade sirovina. Prema kemijskom sastavu veziva se mogu podijeliti na:



-glinu kao vezivo

-gips

-vapno

-cement(sve vrste cementa)

### **3.1. Glina**

Upotreba gline jedna je od najstarijih ljudskih vještina. Istraživanja su pokazala da se prve opeke pojavljuju još u razdoblju od prije 15000 godina. Posuđe i oruđe od gline te razni keramički materijali pronađeni u područjima doline rijeke Nile sežu iz razdoblja od prije 13000 godina. Zagreb i njegovi starosjedioci su isto tako posezali za glinom. Još u 16. stoljeću zagrebačke kuće i posuđe izrađivali su se od gline. Razvojem industrije i novih otkrića njezina se upotreba i sama proizvodnja proširila. Danas se ona ne koristi samo za izradu keramičkih materijala, već ima i puno veću namjenu. Proizvodi od gline oblikuju se u tekućem, plastičnom, poluplastičnom, suhom ili praškastom stanju, a zatim suše i peku (pale) na visokoj temperaturi da bi postigli potrebna mehanička svojstva.

Glina je zapravo osnovna plastična sirovina koja se koristi kod izrade keramičkih materijala. Dobiva se kemijskim trošenjem i taloženjem minerala magmatskih stijena, te zbog toga u njezin sastav ulaze i razne primjese (kvarc, karbonati, željezne rude). Njezin mineralni sastav i količina primjese ovisi o uvjetima u kojima nastaje. Čestice minerala gline manje su od 0,05mm. Čista glina je plastična (masna). Plastična je zbog više kaolina što joj omogućuje jače upijanje vode i upravo je zbog toga i skuplja. Postoji i nečista mršava (posna) glina. Takva glina u sebi ima veliki broj primjese, a najčešća primjese je pijesak. Ona puno slabije upija vodu i jeftinija je.

Pod utjecajem tlaka suhe gline su trošne i raspadaju se. Razlikujemo i gline koje su sitnog zrna. Osnovno svojstvo gline je plastičnost. Kako bi imale dobru plastičnost, glina mora posjedovati slojevitost strukturu i male veličine čestica mineralnih sastavnica. Plastičnost omogućuje da se glina pomiješana s vodom može oblikovati i nakon daljnje obrade (sušenja, pečenja) zadržati svoju formu. Gline čija je plastičnost nešto lošija, odnosno koje u sebi imaju veći broj primjese ispiru se (čiste) ili im se dodaju visokoplastične gline. Na taj način im se poboljšavaju svojstva i kvaliteta konačnog produkta. Granulometrijskim sastavom utvrđuje se veličina i količina čestica u sastavu gline. Veličina čestica koje ulaze u sastav gline za proizvodnju opekarskih

proizvoda je od 0,1 do 0,001 mm i manje. Glina se dijeli na : porculansku, opekarsku i lončarsku.

- Porculanska glina

Porculanska glina koristi se u izradi najfinijih keramičarskih predmeta. Sastoji se pretežno od kaolina s vrlo malo primjesa. Pronalazi se u primarnim nalazištima, u dubini zemljine kore i upravo zbog toga nema puno primjesa.



**Slika 1.7.** Posuda od porculanske gline

- Opekarska glina

Opekarska glina koristi se za izradu opeka i crjepova. Crvene je boje. Sadrži relativno malo kaolina, ali i dalje je dovoljno plastična kako bi se mogla oblikovati i kako bi mogla zadržati svojstva. (Slika 1.3.)

- Lončarska glina

Lončarska glina može biti bijele, sive, žute ili crvenkaste boje. To je čista kaolinska glina, ali s dodatkom primjesa.



**Slika 1.8.** Lončarska glina

Kako bi se poboljšala mehanička svojstva gline dodaju joj se neplastične sirovine, glinenci ili kvarcni pijesak. Dodatak glinenca omogućuje snižavanje temperature taljenja gline, dok dodatak kvarcnog pijeska omogućuje regulaciju plastičnosti. Prilikom dodavanja primjesa u čistu glinu moramo voditi računa o tome da dobivena glinena smjesa i dalje mora imati sposobnost oblikovanja u sirovom stanju, sposobnost sušenja bez iskrivljavanja i pucanja. Glina mora imati dovoljnu otpornost na toplinu, da tijekom sušenja i pečenja ne bi došlo do pucanja. Bitno je postići tražena mehanička svojstva i estetski izgled.

Proizvodni proces započinje doziranjem sirovine koja se potom homogenizira. Tako homogenizirana sirovina prosijava se vibracijskim sitima. Dobiveni granulati preša se, istiskuje ili lijeva u određene kalupe. Prešanje može biti suho, polusuho ili vlažno. Čestice granulata ne smiju biti veće od 0,5mm. Nakon dobivenih kalupa, sirovina se suši vrućim zrakom i peče na temperaturi od otprilike 1000 stupnjeva celzijusevih. Nakon prvog pečenja, proizvod se glazira i ponovno peče na povišenim temperaturama u tunelskim ili kružnim pećima.

### **3.2. Gips**

Gips je mineral koji spada u skupinu sulfata, tj. soli sumporne kiseline koje su često zastupljene u Zemljinoj kori. Njegov kemijski naziv je kalcij-sulfat dihidrat ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ). Odlikuju ga male tvrdoće i čvrstoće. Gips se u prirodi nalazi u nekoliko oblika, a najčešće se koristi kalcinirani gips ( $\text{CaSO}_4 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ). Kalcinirani gips još se naziva poluhidrat i on pomiješan s vodom služi kao vezivo u građevinarstvu. Koristi se za proizvodnju gipsanih ploča i elemenata, za izradu kalupa itd. Mljeveni 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.

Ležišta gipsa redovito se pojavljuju uz ležišta anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), budući da nastaju u sličnim uvjetima. Prema postanku razlikuju se tri tipa ležišta od kojih su najčešća sedimentna i infiltracijska, dok se metasomatska rijetko pojavljuju.

- Sedimentna ležišta nastaju porastom koncentracije kalcijevog sulfata otopljenog u morima i jezerima evaporacijom vode, pri čemu dolazi do izlučivanja i taloženja gipsa i anhidrita.

- Infiltracijska ležišta gipsa nastaju hidratacijom već nastalih naslaga anhidrita djelovanjem porinih voda, na dubinama do približno 1000 m. Također je moguć i prijelaz gipsa u anhidrit procesom dehidratacije, koji se odvija na dubinama većim od 1000 m zbog povišenih temperatura. Sedimentna i infiltracijska ležišta obično su permske starosti (542 - 251 milijuna godina), a nastaju u velikim sedimentnim bazenima zbog čega su ležišta gipsa najčešće vrlo masivna i prostrana, debljine i do više desetaka metara.
- Metasomatska ležišta nastaju djelovanjem voda obogaćenih sumpornom kiselinom na vapnenca, gdje sumporna kiselina obično potječe od pirita i pirhotina oksidiranih utjecajem površinskih i podzemnih voda.

Osim prirodnih nalazišta gipsa, danas se proizvode značajne količine sintetičkog gipsa, koji se zapravo pojavljuje kao nusprodukt nekih tehnoloških procesa. U prvom redu to je odsumporavanje dimnih plinova termoelektrana pogonjenih ugljenom, gdje se pojavljuju najveće količine sintetičkog gipsa.

Za odsumporavanje dimnih plinova razvijeno je više različitih postupaka. Postoji mokri postupak upotrebom vapna, hidratiziranog vapna ili vapnenca kao apsorbenta za sumporne plinove ( $\text{SO}_x$ ), te suhi postupak upotrebom vapna ili hidratiziranog vapna kao apsorbenta. Kod suhog postupka dobiva se otpadna mješavina letećeg pepela nastalog izgaranjem ugljena i produkata odsumporavanja, tj. kalcijevog sulfata ( $\text{CaSO}_4$ ), kalcijevog sulfita ( $\text{CaSO}_3$ ), kalcijevog hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) i gipsa. Iako se u ovom postupku javlja gips kao nusprodukt, ostale komponente ga čine nedovoljno čistim za dalju upotrebu. Mokri postupci, za razliku od suhog češće se primjenjuju, a daju nusprodukt visoke čistoće uz sadržaj gipsa veći od 95 %, što je više nego u mnogim prirodnim eksploabilnim ležištima. Mokri postupci odsumporavanja baziraju se na apsorpciji  $\text{SO}_2$  u vodenoj suspenziji kalcijevog karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ), vapna ( $\text{CaO}$ ) ili hidratiziranog vapna ( $\text{Ca(OH)}_2$ ).

Najveća primjena gipsa je u obliku kalcij - sulfat poluhidrata ( $\text{CaSO}_4 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) ili tzv. štukaturni gips. U ovom obliku gips (poluhidrat) ima svojstvo da lako prima molekule vode u kristalnu rešetku i stoga vrlo brzo očvrstne, tj. prijeđe u dihidrat ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ). Ovo svojstvo omogućuje njegovu primjenu kao vezivo u građevinarstvu (električarski gips...), za proizvodnju gipsanih ploča i elemenata, za izradu kalupa itd. Iako na tržištu postoje različite vrste gipsa (građevinski gips, modelarski gips, štukaturni, zubarski, alabaster, električarski gips itd..) gotovo uvijek se radi o gipsu poluhidratu koji se razlikuje u određenim svojstvima specifičnim

za neku primjenu. Izuzetak je estrih gips koji se proizvodi istim postupkom ali na višim temperaturama, te se sastoji od anhidrita i vapna. Neka od važnijih svojstava prema kojima se razlikuju vrste gipsa su vrijeme vezivanja, čvrstoća na tlak i savijanje, finoća mljevenja (granulometrija), ekspanzija pri vezivanju, omjer gips/voda, boja itd. Način postizanja određenih svojstava leži u primijenjenom postupku proizvodnje (kalcinacije), kakvoći sirovine, te dodacima gipsu kojima se reguliraju svojstva. [5]

### **3.3. Vapno**

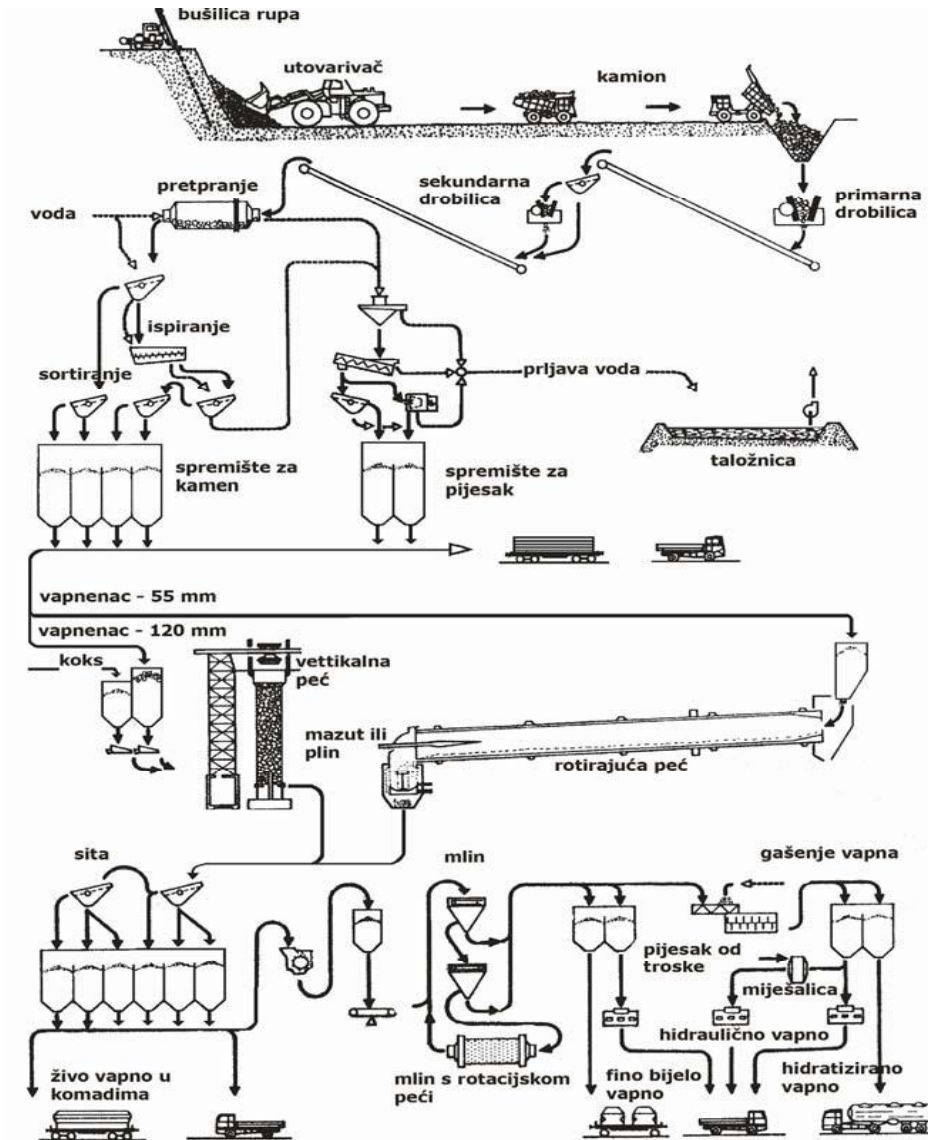
Vapno se dobiva kalcinacijom odnosno hidratacijom vapnenca ili dolomita. Proizvodi dobiveni navedenim procesima razlikuju se prema kemijskim i fizikalnim svojstvima te prema fizikalnom stanju. Fizikalno stanje ovisi o namjeni proizvoda. Procesom kalcinacije dobivaju se oksidi kalcija takozvano živo vapno. Gašeno vapno dobiva se hidratacijom oksida kalcija, a takvo vapno naziva se još i hidratizirano vapno. Ovisno o sirovinskom sastavu razlikujemo kalcitno i dolomitno vapno. Kalcitno vapno dobiva se u obliku vapnenog tijesta pri proizvodnji acetilena. Dolomitno vapno dobiva se pečenjem dolomita. Dolomitna vapna karakterizira slaba reaktivnost nakon kalcinacije, a time i jaka hidratacija. Nepotpuno hidratizirano vapno kao što je dolomitno vapno stvara teškoće ukoliko se primjenjuje kao vezivo. Ako uz vapnenac postoje i određene primjese kao što su silikati ili aluminati govorimo o hidrauličkom vapnu koje po svojstvima slični cementu i pripada hidrauličkim vezivima. Kao materijal vapno je lako obradivo, ima postojan volumen te malu tvrdoću. U građevinarstvu se vapno koristi kao vezivo za žbuku i mortove, a u poljoprivredi za modifikaciju pH vrijednosti tla. Vapno se koristi za izradu vatrostalnih dolomitnih opeka, kao i obloga za peći. [1,6]

#### Proizvodnja vapna

Proizvodnja vapna sastoji se od nekoliko faza. Slika 1.9. prikazuje shemu suvremene proizvodnje vapna. Sve započinje u kamenolomu gdje dolazi do eksploatacije mineralne sirovine odnosno do lomljenja vapnenca. Vapnenac se usitnjava, prosijava i dolazi do odvajanja jalovine. Najčešće se radi isplativosti usporedno s proizvodnjom vapna proizvodi i karbonat za industrijsku primjenu. Ta dva procesa usko su vezana zato što su za oba potrebna ležišta visokokvalitetnog vapnenca s udjelom  $\text{CaCO}_3$  iznad 95%. Usitnjavanje se provodi drobljenjem na veličinu zrna od 0,5 – 15 cm. O veličini zrna koja će biti potrebna ovisit će peć

u kojoj se provodi kalcinacija. Kemijska reakcija je brža što je veličina zrna manja. Kalcinacija vapnenca provodi se u pećima koje mogu biti vertikalne ili rotacijske. Vertikalne peći nazivaju se još šahtne i u njima se kalciniraju granule čije su veličine zrna između 8 – 20 cm. U rotacijskim pećima kalciniraju se granule veličina zrna manjih od 8 cm. Kalcinacija vapna u pećima odvija se pri temperaturama između 900° i 1000 ° C .

Tijekom cijelog procesa kalcinacije dolazi do niza fizikalno- kemijskih promjena. Zagrijavanjem dolazi do povećanja zrna zbog temperature rastezanja. Kalcinacija se provodi na površini zrna što rezultira otpuštanjem CO<sub>2</sub> i prelaskom karbonata u okside. Gubitak CO<sub>2</sub> uzrokuje smanjenje gustoće i povećava poroznost odnosno povećava se broj pora i šupljina. U ovoj fazi volumen ostaje nepromijenjen. Ovako nastalo vapno vrlo je reaktivno zbog velike poroznosti. Reakcija kalcinacije najviše ovisi o veličini zrna, temperaturi peći i vremenu zadržavanja u peći . Što je temperatura viša i što je vrijeme zadržavanja duže dolazi do sintetiranja kristala vapna te se dobiva prepečeno vapno koje zbog male specifične površine ima nisku reaktivnost. Vrijeme koje je potrebno za hidrataciju ovisi o vrsti vapna. Meko pečeno kalcitno vapno vrlo je reaktivno i može hidratizirati za nekoliko minuta.



**Slika 1.9.** Tehnološki proces suvremene proizvodnje vapna

Daljnji proces proizvodnje vapna odvija se u dva smjera. Dobiveno živo vapno može se usitnjavati do željene veličine zrna ili uključuje hidrataciju živog vapna odnosno pretvorbu oksida u hidrokside.

Hidratacija živog vapna je egzoterman proces. Zbog naglog povećanja volumena tijekom egzotermne reakcije prelaska oksida u hidrokside dolazi do mehaničkog razaranja. Stoga se granule vapna raspadaju u prah, pa nije potrebno dodatno usitnjavanje. Vapnu se pri hidrataciji dodaje voda u određenim omjerima. Ukoliko je količina vode koja se dodaje vrlo mala, odnosno dovoljna da oksidi prijeđu u hidrokside onda tu vrstu hidratacije nazivamo suhom hidratacijom (suho gašenje). Za razliku od suhe hidratacije, veća količina vode omogućuje stvaranje tijesta.

Takva vrsta hidratacije u kojem je viškom vode postignuta hidratacija i dobiven proizvod u obliku vodene suspenzije naziva se mokra hidratacija ( mokro gašenje) .

### Hidraulično vapno

Hidraulična vapna kao veziva po kakvoći se nalaze između vapna i cementa. Dobivaju se pečenjem vapnenca sa 6-22 % gline pri temperaturi između 900-1000 °C . Uz vapnenac hidraulična vapna u svom sastavu imaju i kisele komponente ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Vezivanje hidrauličnog vapna se odvija reakcijom s  $\text{CO}_2$  iz zraka i stvaranjem čvrstog  $\text{CaCO}_3$ . Hidratizirani silikati, aluminati i feriti stupaju u reakciju stvarajući gel, koji kasnije uz gubitak vode očvrstne . Ove promjene jako su bitne jer zbog toga hidraulične vapnene žbuke imaju jako veliku čvrstoću. Hidraulično vapno se primjenjuje u vidu fino samljevenog praha. Koristi se za dobivanje morta za upotrebu u suhim ili vlažnim sredinama, kao i za dobivanje betona nižih kvaliteta.

## **3.4.Cement**

Cement je praškasti materijal, koji pomiješan s vodom, kemijskim reakcijama i pratećim fizikalnim procesima prelazi u očvrstnulu cementnu pastu ili cementni kamen . Godišnja potrošnja cementa iznosi između 500 i 2000 kg po stanovniku zemlje.

### *3.4.1.Proizvodnja cementa*

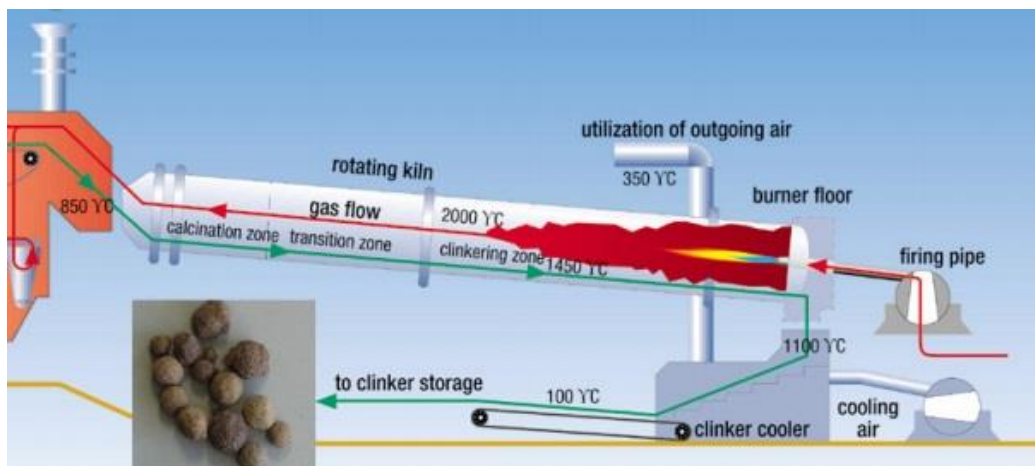
Proces proizvodnje cementa uključuje pet faza:

- eksploatacija mineralnih sirovina
- priprema (oplemenjivanje i homogenizacija) mineralnih sirovina za proizvodnju klinkera
- miješanje mineralnih sirovina i proizvodnja klinkera
- mljevenje klinkera i dodavanje aditiva
- pakiranje cementa

Eksploatacijom mineralne sirovine (najčešće vapnenca i lapora) dobiva se materijal širokog granulometrijskog sastava i nejednolikog kemijskog sastava. Veličina zrna može se



kretati od nekoliko milimetara pa do 1,5 ili više metara, a kemijski sastav varira kako se prostorno mijenja sastav ležišta. Najčešće su kamenolomi povezani u proizvodni proces i drobilice se nalaze u sklopu postrojenja za proizvodnju cementa, ali postoje i slučajevi gdje je potrebno prethodno prilagoditi granulometrijski sastav na zrna veličine od 30 - 150 mm. Ujednačeni kemijski sastav mineralne sirovine vrlo je važan za kvalitetu i svojstva cementa, stoga se mineralna sirovina predhomogenizira. Ovo se postiže uzimanjem uzoraka iz minskih bušotina radi kemijske analize, tako se dobivaju podaci o raspodjeli kemijskog sastava stijenske mase. Ovako homogenizirani i granulometrijski obrađeni materijal čini ulazni materijal postrojenja u proizvodnji cementa. Daljnji proces se sastoji od mljevenja potrebnih sirovina na veličinu zrna tipično ispod 90  $\mu\text{m}$ , te doziranja i miješanja istih sirovina, čiji omjeri ovise o sastavu pojedine sirovine te vrste cementa koji se proizvodi. Iz ovako pripremljene mješavine, na visokoj temperaturi (1400 - 1500°C) u rotacijskoj peći nastaje klinker. Rotacijska peć (Slika 1.10) je u osnovi čelični cilindar promjera nekoliko metara i dužine 50 - 200 metara, iznutra obložen visoko temperaturnim ciglama. Blago je nagnut na jednu stranu i na donjem kraju opremljen plamenikom, dok gornji kraj čini ulaz za sirovinu. Rotacija oko uzdužne osi uzrokuje postupno gibanje materijala s višeg, hladnijeg kraja prema nižem, gdje se na koncu ispušta i hladi. [7,8,9]

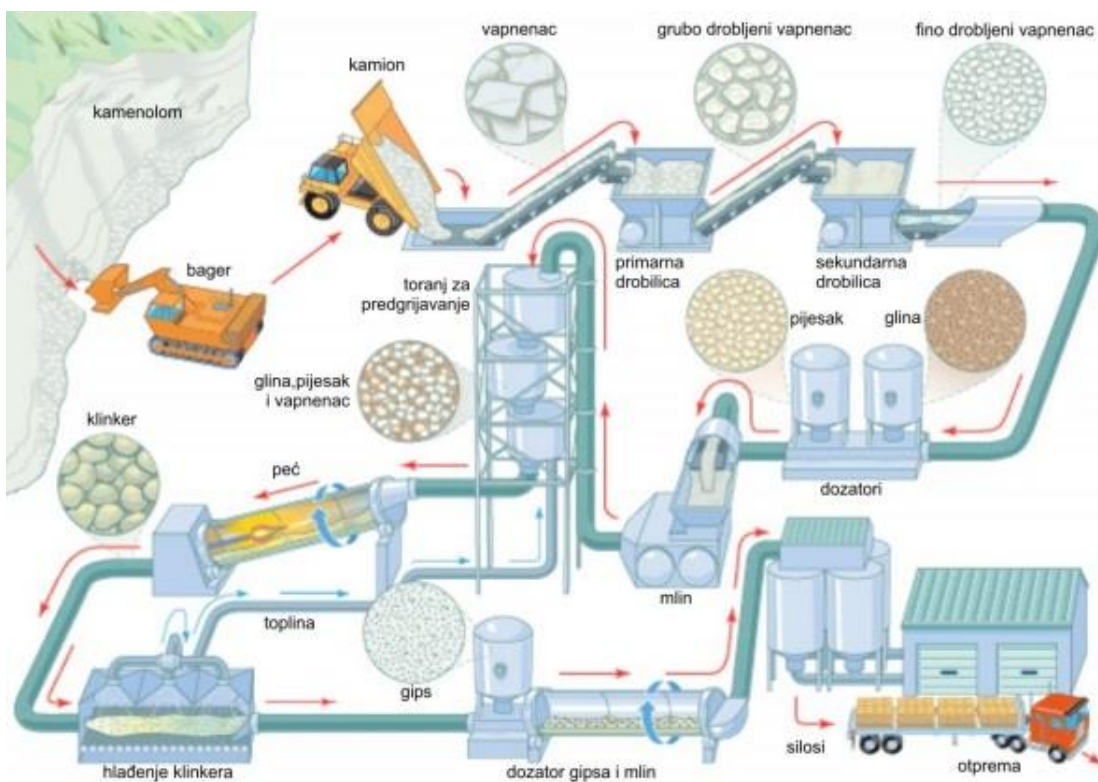


**Slika 1.10.** Rotacijska peć za proizvodnju klinkera

U rotacijskoj peći se odvija niz reakcija od kojih su neke vrlo kompleksne (evaporacija volatila, kalcinacija, sinteriranje, taljenje, raspadanje postojećih minerala i formiranje novih, hlađenje), a njihov produkt su granule klinkera, tamno smeđe boje i veličine 1 - 25 mm. Dobiveni klinker

se tada melje na dimenzije cementa uz istovremeno dodavanje gipsa i eventualno drugih dodataka.

Kod suvremenog procesa proizvodnje cementa (Slika 1.11.) radi se o suhom postupku proizvodnje u rotacijskoj peći, s predgrijačem i predkalcinatorom. Sitne čestice mljevene i miješane sirovine u suhom stanju zagrijavaju se u tornju za predgrijavanje ili predgrijaču. Predgrijač je niz od 4 do 5 aerociklona gdje sirovinsko brašno prolazi kroz protustruju vrućeg zraka, stvorenu koristeći toplinu peći i toplinu hlađenja klinkera. Na taj način je omogućen vrlo efikasan prijenos topline na čestice sirovine, koja se pri tome djelomično kalcinira i oslobađa od vlage prije ulaska u rotacijsku peć. Nakon izlaska iz peći klinker se hladi u uređaju za hlađenje, a toplina dobivena hlađenjem se ponovno iskorištava u tornju za predgrijavanje. Najnovije dostignuće u proizvodnji ovim postupkom je predkalcinator, uređaj koji funkcionira na istom principu kao i predgrijač a nalazi se između predgrijača i peći. Ovdje se uz dodatak goriva postižu veće temperature te se prije ulaska u peć kalcinira 80 - 90 % sirovine.



**Slika 1.11.** Suvremeni proces proizvodnje cementa

Tijekom mljevenja i homogenizacije cementom klinkeru se osim gipsa mogu dodavati i neki drugi kemijski i mineralni dodaci. Kemijski dodaci dodaju se u vrlo malim količinama,

da bi se olakšalo mljevenje ili da bi se modificirala svojstva cementa. Mineralni dodaci dodaju se radi uštede energije, koja se troši na pečenje portland - cementnog klinkera. To mogu biti pucolani ili granulirane zgure visokih peći koji aktivno sudjeluju u procesu hidratacije cementa. [10]

- **Granulirana zgura ili troska** je otpadni produkt iz proizvodnje sirovog željeza. Sadrži iste okside kao i portland - cementni klinker, ali u drugačijim i vrlo varijabilnim omjerima. Nakon taljenja u visokoj peći na temperaturi od 1400°C, mora se naglo ohladiti u vodi, pri čemu expandira u pjenaste granule i zadrži staklastu strukturu. Kemijski sastav zgure može varirati u širim granicama (Tablica 1)

**Tablica 1.** Kemijski sastav zgure [5]

Oksidi	%
CaO	30 - 50
SiO <sub>2</sub>	30 - 40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 - 20
MgO	2 - 7
Fe	

- **Pucolani** su silikatni i alumosilikatni materijali, koji nemaju latentna hidraulična svojstva, ali kemijski reagiraju s vapnom te nastaju spojevi, koji imaju cementirajuća, hidraulična svojstva. To svojstvo naziva se pucolanska aktivnost. Tipični materijali koji imaju pucolansku aktivnost su vulkanski pepeo, opal, termoelektrana, koje kao gorivo koriste ugljen. Najkvalitetniji pucolan, s najvećom pucolanskom aktivnošću je silikatna prašina, otpadni materijal iz proizvodnje silicija i ferosilicija. Pucolanska aktivnost nabrojanih materijala je to veća što je veći sadržaj amorfnih formi SiO<sub>2</sub>. [9]

### 3.4.2 Vrste cementa

Cement se dijeli u dvije osnovne skupine :

- Silikatni cement
- Aluminatni cement
  
- **Portland cement**

Silikatni ili portland cement, PC, je najvažnija vrsta cementa koja se uopće proizvodi kao mineralno hidraulično vezivo. Njegova godišnja proizvodnja u svijetu iznosi preko 1,5 milijardi tona (već 90-tih godina 20. stoljeća) čime ga se svrstava u najvažnije proizvode suvremene tehnološke struke. Kada je prvi put proizveden (pečen je kod nižih temperatura od temperature sinteriranja) dobio je ime Portland cement koje nosi i dan danas, (1824, u Leeds-u, J. Aspidin) jer je zbog svojih svojstava i produkta, cementnog kamena, sličio kamenu iz Portugala, (mjesto s poznatim kamenolom u Engleskoj). Prvi pravi portland cement proizveden je tek 1844., (I. C. Johnson), pečenjem kod temperature sinteziranja. U osnovi, portland cement kojeg je ispravnije nazivati silikatnim cementom dobiva se termičkom obradom ili žarenjem odgovarajuće sirovine kod temperature sinteziranja, a koja iznosi oko 1350 - 1450°C. Tako "pečeni" proizvod predstavlja cementni klinker, koji se nakon hlađenja i uklanjanja slobodnog vapna,  $\text{CaO}_{\text{sl}}$ , melje zajedno s određenim iznosom 2 - 4 % mas. prirodnog gipsa ili sadre,  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ , što tek tada predstavlja konačni proizvod, silikatni, tj. portland cement ili jednostavno, cement.

Portland cement je fino hidratno vezivo koje se proizvodi od portland cementnog klinkera uz dodatak sadre radi reguliranja vremena vezanja i pomoćnih sredstva za mljevenje. Osnovne sirovine za dobivanje portland cementa su vapnenac i glina koje se miješaju u omjeru 3:1. Osnovni kemijski spojevi koje čine klinker su kalcijevi silikati, kalcijevi aluminati i kalcijevi aluminoferiti dok se kao prateći sastojci javljaju MgO, K<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O, FeO i SO<sub>3</sub>.

**Tablica 2.** Prosječni kemijski sastav portland - cementnog klinkera

Sastojak	w,(mas.%)	Sastojak	w,(mas.%)
SiO <sub>2</sub>	16 - 26	CaO	58 - 67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 - 8	MgO	1 - 5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 - 5	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0 - 1
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0 - 3	SO <sub>3</sub>	0,1 - 2,5
TiO <sub>2</sub>	0 - 0,5	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0 - 1,5
Gubitak žarenjem			0 - 0,5

Iz kemijskog sastava ovih minerala (Tablica 2) vidljivo je koji su oksidi najzastupljeniji u klinkeru, kalcijev oksid (CaO), silicijev dioksid (SiO<sub>2</sub>), aluminijski oksid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i željezov oksid (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Važno je napomenuti da ovi oksidi u klinkeru ne postoje kao slobodni oksidi, već međusobnim spajanjem tvore gore navedene minerale, iako u cementu može postojati mali udio slobodnog kalcijevog oksida (živo vapno - CaO). Notacija u obliku oksida koristi se jer kemijska analiza kao rezultat daje sadržaj pojedinih oksida, pa je tako moguće udjelom oksida izraziti i sastav, odnosno vrstu cementa. Četiri najzastupljenija minerala u klinkeru su alit, belit, aluminat i ferit. (Tablica 3) [8,10]

**Tablica 3.** Minerali koji tvore klinker [2]

Naziv minerala	Kemijska formula	Naziv	Simbol	Utjecaj na svojstvo
Alit	$3\text{CaO} \times \text{SiO}_2$	Trikalcijevsilikat	$\text{C}_3\text{S}$	- Vrlo brzo hidratizira i očvršćava - Doprinosi ranoj čvrstoći (povećana toplina hidratacije) - Za cemente većih ranih čvrstoća treba povećati količinu $\text{C}_3\text{S}$
Belit	$2\text{CaO} \times \text{SiO}_2$	Dikalcijsilikat	$\text{C}_2\text{S}$	- Sporo hidratizira i očvršćava - Utječe na kasniji prirast čvrstoće (niska toplina hidratacije) - Za cemente niske topline hidratacije treba povećati količinu $\text{C}_2\text{S}$
Aluminat	$3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$	Trikalcijevaluminat	$\text{C}_3\text{A}$	- Doprinosi ranoj čvrstoći (velika toplina hidratacije) - Reakcijom sa sulfatima stvara etringit - NEPOŽELJNO - Za sulfatootporne cemente treba smanjiti količinu $\text{C}_3\text{A}$
Ferit	$4\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$	Tetrakalcijev-aluminoferit	$\text{C}_4\text{AF}$	- Nema značajnijeg utjecaja na svojstva - Utječe jedino na boju cementa (više $\text{C}_4\text{AF}$ sivi cement, manje svjetliji cement)

- **Aluminatni cement**

Aluminatni cement proizvod je koji se dobiva finim mljevenjem aluminatnog cementnog klinkera. Aluminatni cement koristi se na mjestima koja su izložena utjecajima kiseline, djelovanjima abrazije i temperaturnim šokovima. Također aluminatni cement ima svojstvo da je otporan na djelovanje alkalijskih i sulfatnih otopina. Njegova osnovna osobina je da je brzoootvrdnjavajući, pa već nakon 24 h postiže čvrstoće koje portland cement postiže tek nakon 28 dana. Aluminatni cement je hidratno vezivo koje očvršćava u reakciji s vodom i ostaje stabilno pod njenim djelovanjem. Djelovanjem vode na aluminatni cement pri sobnoj temperaturi vrlo brzo nastupa hidratacija monokalcij-aluminata, CA, glavnog sastojka klinkera što je i razlog brzog očvršćivanja cementne mase. Sam kemijski i mineraloški sastav uvelike se razlikuje od silikatnog cementa. Glavni sastojak je monokalcijev aluminat (CA) kojeg sadrži preko 45% . U većini slučajeva aluminatni cement dobiva se postupcima taljenja vapnenca i boksita dok je u nešto manjim količinama prisutan postupak sintetiranja gdje se umjesto boksita koristi aluminijev oksid ( glinica) .

Razlikujemo tri osnovne skupine aluminatnih cemenata . Razlikuju se prema udjelu aluminata, a označavaju se oznakom KAC ( kalcij aluminatni cement) , a zatim slijedi brojka udjela aluminata. Tako imamo :

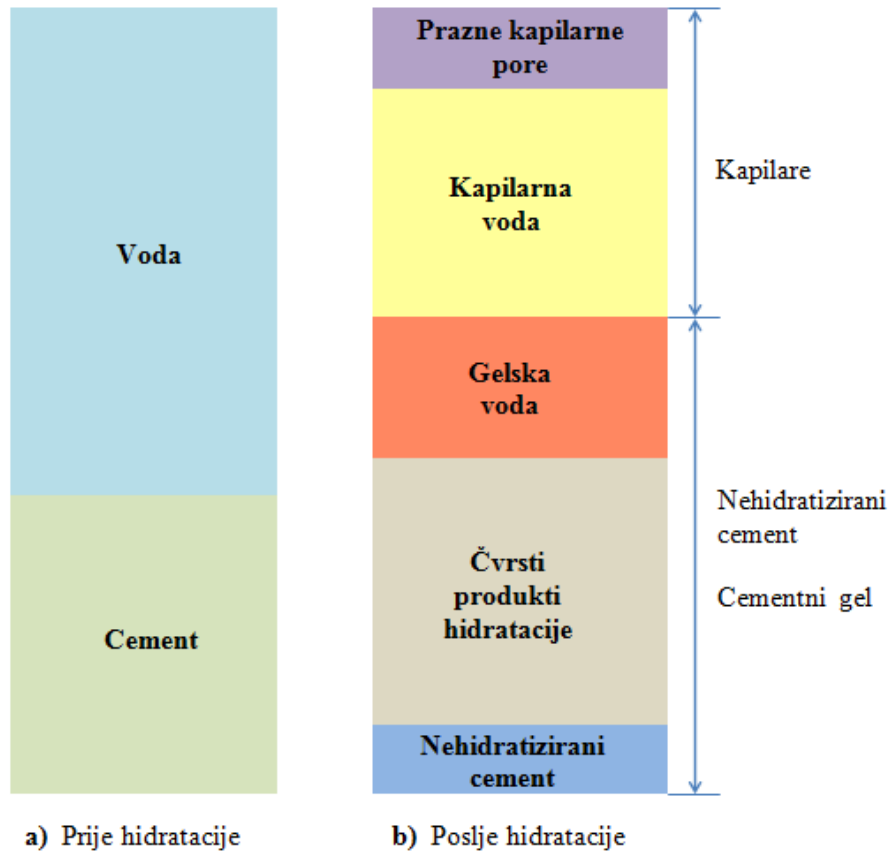
- Cement sa niskim udjelom aluminata  
Ovakva vrsta proizvodi se iz vapnenca visoke čistoće i boksita koji može sadržavati udio željezovih oksida. Dobiva se taljenjem.
- Cement sa srednjim udjelom aluminata  
Dobiva se na isti način kao i cement sa niskim udjelom aluminata, taljenjem.
- Cement sa visokim udjelom aluminata  
Proizvodi se iz vapnenca visoke čistoće i gline. Glina služi kako bi se umanjio udio nečistoća te željeza i silicija. Udio željeza je zanemariv. Dobiva se isključivo sintetiranjem. [7]

### 3.4.3. Voda u cementnom materijalu

Sistem cement/voda u kojem se odvija reakcija hidratacije sastoji se od velikog broja anhidrida, velikog broja nehidratiziranih spojeva i vodene otopine bogate raznim ionima. Voda potrebna za hidrataciju javlja se u produktima hidratacije u tri oblika:

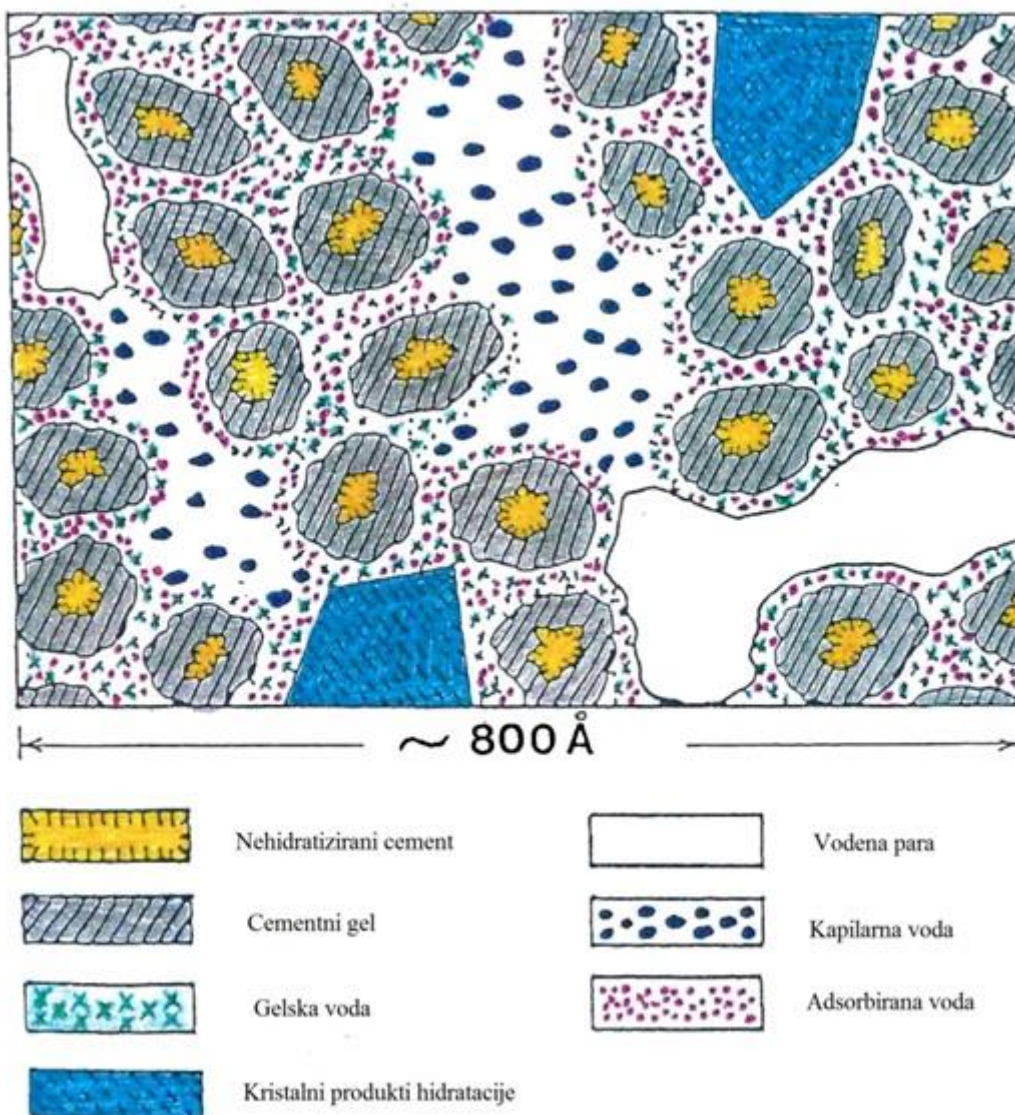
- **vezana voda** - predstavlja vodu ugrađenu u kristalnu rešetku produkata hidratacije, a naziva se još i neisparljiva voda (105 °C). U potpuno hidratiziranom cementu ona predstavlja oko 23 % ukupne mase suhog cementa.
- **gelska voda** - smještena u mikroporama između produkata hidratacije. Hidratizirani cement ili cementni gel sadrži čvrste produkte hidratacije i vodu koja je fizički adsorbirana na površinu produkata hidratacije zbog njihove koloidne prirode i velike specifične površine (Slika 1.13). Volumen gelske vode je oko 28 % volumena cementnog gela. Zbog relativno malog radijusa pora (oko 2 nm) pokretljivost adsorbirane vode u gelskim porama je veoma mala. Tijekom hidratacije nastaje gel iste površine odnosno formiraju se čestice iste veličine, što znači da se čestice već nastalog gela tijekom vremena ne povećavaju. Količina nastalog gela ne ovisi o vodocementnom faktoru i napredovanju reakcije hidratacije. Ukupni volumen gela raste s hidratacijom pa tako raste i volume gelskih pora. Porast volumena gelskih pora tijekom vremena nema utjecaja na poroznost materijala, ali volumen kapilarnih pora opada s napredovanjem hidratacije.
- **kapilarna voda** - voda sadržana u kapilarnim porama. Kapilarne pore predstavljaju onaj dio ukupnog volumena koji nije ispunjen produktima hidratacije u bilo kojem stadiju hidratacije. Ovisno o količini prisutne vode kapilarne pore mogu biti ispunjene odnosno neispunjene vodom. Kapilarne pore zauzimaju oko 18.5 % volumena suhog cementa. Mogu biti reda veličine 0.005 - 0.05 nm, a u njima se nalazi slobodno isparljiva voda.





**Slika 1.12.** Prikaz volumnih odnosa sudionika reakcije hidratacije (prije i poslje)

Iz slike 1.12. vidljivo je da se tijekom hidratacije pored vode javlja i nehidratizirani cement i prazne kapilarne pore. Volumni odnosi svih sudionika reakcije hidratacije mijenjaju se napredovanjem reakcije s vremenom ovisno o vodocementnom faktoru i stupnju hidratacije. [11, 12]



**Slika 1.13.** Struktura očvrsele cementne paste

### 3.4.4 Kvaliteta vode

Kvaliteta vode koja se upotrebljava za sva ispitivanja je vrlo bitna, kako za pripremu uzoraka, tako i za njihovo njegovanje. Soli i druge nečistoće u vodi mogu znatno utjecati na vrijeme vezanja betona, bilo da spriječe ili smanje čvrstoću očvrnulog betona. U očvrnulom betonu mogu izazvati koroziju betona i koroziju armature u njemu. Smatra se da je voda za piće dobra i za pripremu betona. Međutim, ako ta voda sadrži veću koncentraciju natrija ili kalija, postoji opasnost od alkalno agregatne reakcije u betonu.

Voda koja nije pitka može biti prikladna za pripremu betona. Najčešće je dovoljno da je pH između 6 i 8, te da nije slana (ne sadrži kloride). Manja kiselost vode nema veći utjecaj na svojstva betona, jer te kiseline neutraliziraju alkalni oksidi i velika količina vapna iz cementa, ali veći sadržaj humusnih kiselina može usporiti proces vezanja i smanjiti čvrstoću betona. Takve vode prije upotrebe treba detaljno ispitati i usporediti s kriterijima za vodu za pripremu betona.

Vrlo često se diskutira o upotrebi morske vode za pripremu betona. Ona sadrži oko 3,5 % soli, od čega najviše natrijevog klorida, zatim magnezij klorida i magnezij sulfata. Takve soli ubrzavaju vezanje cementa i rani prirast čvrstoća, a rezultiraju nešto manjim konačnim čvrstoćama. Betoni koji su pripremljeni s vodom koja sadrži kloride su higroskopni i stalno vlažni, a na površini se izlučuju soli. Zato se tamo gdje je važan izgled betona, za pripremu betona ne može upotrijebiti morska voda. U slučaju armiranog betona ne smije se upotrijebiti morska voda, jer to povećava rizik od korozije armature u betonu.

Voda može biti najveći neprijatelj građevina. Ona ulazi u elemente kao građevinska vlaga, prodire direktno kroz pore, pukotine i fuge sa ili bez pritiska. Prodiranje vode u građevinu ili materijal mora se spriječiti izborom konstruktivnih detalja i izborom materijala. Za to je potrebno dobro poznavanje građevnih materijala, kao i mogućih procesa transporta vlage kroz njih. Ulazak vlage u materijal može biti posljedica kapilarne elevacije, difuzije i tečenja pod tlakom ili kondenzacije vodene pare. Vlaga izaziva oštećenja uslijed vlaženja i otapanja veziva, smrzavanja i korozije, a pogoršava toplinska izolacijska svojstva. [13]

### **3.5. Beton**

Beton je višekomponentni, polidisperzni, umjetni kameni građevinski materijal, sastavljen od pijeska i krupnog agregata, međusobno vezanih cementnim kamenom, nastalim hidratacijom i očvršćivanjem cementa kao veziva.

Beton se priprema miješanjem cementa, vode, pijeska i zrna stijena. Pijesak i zrna stijena čine agregat ili granulat. U novijoj tehnologiji sve je veća upotreba i dodatnih sastojaka, aditiva, a u smjesi je uvijek prisutan i zrak. Svježe pomiješani cementni prah s vodom tvori cementnu pastu. Odmah nakon miješanja s vodom počinje kemijski vrlo složeni proces hidratacije, pri čemu cementna pasta prelazi u cementni kamen, koji očvršćuje. Kemijsku reakciju prate određeni

fizikalni procesi U praksi se udio osnovnih sastojaka betona odabire tako, da se postignu zadovoljavajuća svojstva:

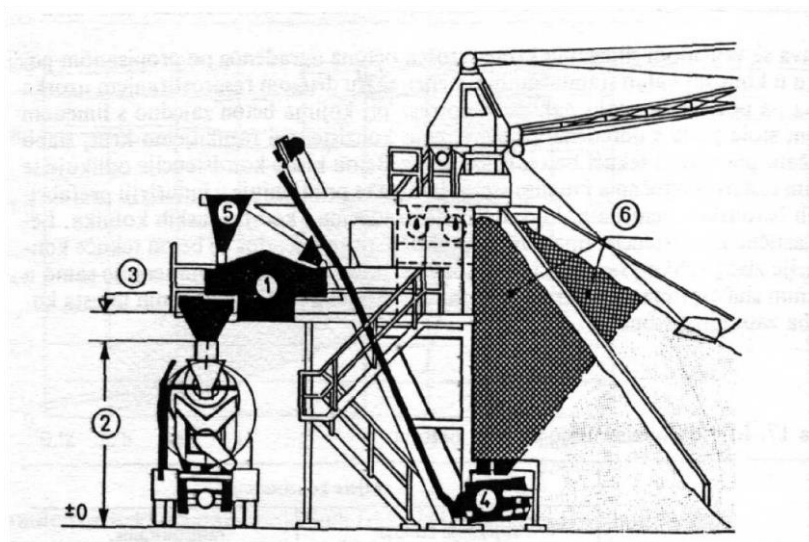
- svježeg betona u svim fazama obrade, od miješanja preko transporta do ugradbe,
- očvrstlog betona s obzirom na čvrstoće i druge mehaničke karakteristike, te trajnost i deformabilnost,
- minimalni troškovi za prihvatljivu kakvoću [14]

### *3.5.1 Svježi beton*

Svježi beton mora imati određena svojstva kako bi dobili kvalitetan očvrstnuli beton. Jedno od svojstava koje mora imati je fluidnost. Fluidnost omogućuje da se može ugraditi u oplatu i oko armature uz odgovarajuću opremu. Zbijenost, (gotovo) sav uhvaćeni zrak bi trebao izaći pri zbijanju betona pomoću vibratora. Beton bi trebao biti kao homogena masa, što govori da treba imati dobru stabilnost ili kohezivnost. O tome koliko je fluidan i ima mogućnost zbijanja ovisi na koji način će se beton moći obrađivati. Što je veća obradljivost lakša je ugradnja. Za svježi beton koji je stabilan kažemo da agregat ne segregira tj. da ne dolazi do odvajanja sastojaka heterogene smjese. Kao glavni uzrok segregacije kod svježih betona navodi se razlika u veličini i specifičnoj težini sastojaka (agregat i cement). [15,16]

### *Proizvodnja svježeg betona*

Svježi beton dobiva se miješanjem osnovnih komponenti betona u miješalicama koje mogu biti različitih kapaciteta i različitih izvedbi. Najčešće upotrebljavanje miješalice rade diskontinuirano. Prije samog miješanja mora se odrediti količina osnovnih komponenti koje se miješaju. Smjesa se ubacuje u miješalicu koja okretanjem bubnja ili postolja s rotacijskim lopaticama sve dobro izmiješa. Miješanje traje otprilike od 1 do 3 minute. Svježi beton mora imati ista svojstva i sastav u svim svojim dijelovima. Izmiješani beton stavlja se u transportno sredstvo, te se potom ugrađuje. Najčešće se miješalice nalaze odmah uz mjesto ugradnje, ali u današnje vrijeme koriste se i druge metode.



**Slika 1.14.** Pogon za proizvodnju betona

*((1: miješalica, 2: transportno sredstvo, 3: nivo opsluživanja, 4: vaga za agregat, 5: vaga za cement, 6: agregat)*

### 3.5.2 Očvrsnuli beton

Ugrađeni svježi beton hidratacijom cementa i očvršćavanjem prelazi u čvrsto stanje. Sam proces očvršćavanja traje neko vrijeme, pa beton prije preuzimanja projektnog opterećenja mora imati određenu starost. Kao standard za ispitivanje betona uzima se 28-dnevna starost te se na takvom betonu vrše ispitivanja. Svojstva očvrsnulog betona utvrđuju se i dokazuju ispitivanjem uzoraka koji su pripremljeni i njegovani na propisan način. Na svojstva očvrsnulog betona mogu utjecati karakteristike upotrebljenih komponenti, postupci izrade te razni tehnološki faktori. Kao osnovno i najvažnije svojstvo betona uzima se njegova čvrstoća. Ona je osnovno mjerilo njegove kvalitete. Beton je elastični krhak materijal. Čvrstoća betona uvelike ovisi o termohigrometrijskim uvjetima u kojima se beton nalazio tijekom očvršćivanja i tijekom ispitivanja. Osnovno svojstvo koje se propisuje i za koje postoje propisane norme je ispitivanje čvrstoće na savijanje i čvrstoće na pritisak.. U praksi se na promjene čvrstoće očvrsnulog betona može utjecati promjenom količine zraka u mješavini ili promjenom temperature svježe betonske smjese.

### 3.5.3 Specijalne vrste betone

Specijalne vrste betona osim osnovnih sastojaka sadrže i sastojke koji mijenjaju njegova osnovna svojstva.

Sastav betona pruža mnoge mogućnosti modifikacije prema željenim potrebama, pa je tako nastalo jako puno specijalnih vrsta betona. Prilagođavanjem svojstava specijalnih betona, mogu se dobiti materijali koji lako zamjenjuju upotrebu drva, keramike i metala. Pojavom novijih vlakana, kemijskih dodataka i polimera te usavršavanjem starih komponenti dobivaju se betoni koji imaju bržu, jednostavniju i jeftiniju ugradnju. Konstrukcije koje se grade funkcionalnije su i dugotrajnije. Iz ekoloških aspekata pazi se na održivi razvoj i zaštitu okoliša. Sva svojstva betona mogu se modificirati prema željenoj namjeni pa tako razlikujemo lake betone, teške betone, vatrobetone, samozbijajući beton itd. [17]

- **Lagani beton**

Lagani beton ima bolje osobine od običnog betona. Njegova gustoća manja je od  $2000 \text{ kg/ m}^3$ . Smanjenje gustoće postiže se stvaranjem pora u agregatu ili stvaranjem međuprostora između krupnih zrna agregata. Lagani betoni proizvode se, transportiraju i ugrađuju na isti način kao i standardni betoni. Lagani beton potrebno je odmah ugraditi i njegovati kao i standardni beton.

- **Teški beton**

Prilikom izvedbi protuutega na mostovima, blokova za gradnju lukobrana radi zaštite od velikih morskih valova te zaštite od radioaktivnoga zračenja u medicini, industrijskoj radiografiji potrebna je veća volumna masa betona. Teški betoni imaju volumnu masu koja je veća od  $2600 \text{ kg/ m}^3$ .

Zbog veće cijene i teškoća u obradi svježeg betona, upotreba teških betona ograničena je i opravdana samo pri adaptaciji postojećih objekata i sanacijama.

- **Tekući beton**

Tekući betoni ima konzistenciju prema mjeri slijeganja od 18 i više centimetara i mogu se uspješno ugrađivati i zbijati uz vrlo mali utrošak energije.

Tekući beton dobiva se povećanjem udjela pijeska i cementa ili dodatkom drugih stabilizatora mješavine. Kao stabilizatori mogu poslužiti pucolani velike specifične površine ili neki polimeri. Tekući betoni lako zaobilaze prepreke, dolaze do teško dostupnih mjesta, a za zbijanje je dovoljno probadanje šipkom.

- **Pumpani beton**

Pumpani beton je beton koji se razlikuje po načinu transporta i po sastavu osnovnih sastojaka betona. Mora imati odgovarajuću obradivost (6 do 10 cm po slijeganju konusa) i dovoljnu količinu morta za smanjenje trenja na kontaktu s unutarnjom površinom cjevovoda tijekom transporta.

- **Mlazni beton**

Mlazni beton ili torkret je cementni kompozit posebne recepture i svojstava. Ugrađuje se posebnim strojevima za primjenu mlaznog betona na zidove i kosine u vidu mlaza-prskanjem.

Miješanje komponenti mlaznog betona (cement, agregat, aditivi i voda) odvija se u normalnom postrojenju za proizvodnju betona, a ugrađuje se prskanjem pomoću komprimiranog zraka. Početak šire primjene mlaznog betona počinje početkom 1957.g. pronalaskom stroja za primjenu mlaznog betona prskanjem. Kod nas se najčešće ovakav beton naziva torkret beton (prema prvim patentima) a drugi nazivi su mlazni, prskani ili špric beton.

Mlazni beton najčešće se primjenjuje za izradu sljedećih vrsta betonskih konstrukcija i radova:

1. oblaganje tunela
2. oblaganje površine velikih usjeka
3. zaštitu vertikalne ili kose površine stijene
4. izvedbu obloge kanala i akumulacijskih jezera
5. izvedbu betonskih ljuski u jednostranoj oplati
6. izvođenje površinskih popravaka svih vrsta betonskih konstrukcija.

- **Valjani beton**

Valjane betone karakterizira specifična ugradnja. Ugrađuje se opremom koja se primjenjuje za ugradnju zemljanih materijala. Voda se pri pripremi smjese dodaje samo do optimalne vlažnosti, potrebne za zbijanje vibrovaljcima. Primjenjuje se pri izgradnji prometnih i masivnih hidrotehničkih objekata, naročito kao zamjena za slabo nosive dijelove temeljnog tla.

- **Samozbijajući beton**

Samozbijajući beton je samougradiv i samoizravnajući pa time otklanja potrebu za korištenjem skupe vibrirajuće opreme. Samozbijajući beton koristi se kod priprave složenih armiranih kalupa i priprema mješavina po mjeri. Samozbijajući beton ima povećanu izvedivost i povećanu ranu čvrstoću. [18, 19]



#### **4. ZAKLJUČAK**

Vezivni materijali su materijali koji povezuju različite vrste materijala u kompaktne cjeline. Vezivni materijali kao što su cement i beton neizostavni su u području građevinske industrije i njihova godišnja proizvodnja u Republici Hrvatskoj iznosi nešto više od 400 kg po stanovniku. Za cjelovito poznavanje građevnih materijala potrebno je poznavanje procesa i postupaka njihovog dobivanja i prerade, poznavanje kemijskog i kristalno faznog sastava. Potrebno je znati sve promjene koje nastaju tijekom eksploatacije ,zbog djelovanja vlage, agresivnog okoliša, niskih i visokih temperatura ili raznih drugih utjecaja.

## 5. LITERATURA

1. Prof. dr. sc. Tomislav Matusinović ,Inženjerstvo mineralnih veziva, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, interna skripta, Zagreb 2001.
2. [https://www.grad.unizg.hr/predmet/gra\\_b](https://www.grad.unizg.hr/predmet/gra_b)
3. D. Vrkljan, M. Klanfar, Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina, RGN- fakultet Zagreb, lipanj 2010.
4. <http://www.gradimo.hr/clanak/vezivni-materijal/29168>
5. P. Krolo, *Tehnologija veziva i kompozitnih materijala (interna skripta)*, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, 1999.
6. <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-59-2007-01-08.pdf>
7. M.Burečić, Cementne sirovine (seminarski rad), Primjenjena minerologija i petrologija, Geotehnički fakultet, Zagreb, 2010.
8. F.M. Lea, *The Chemistry of cement and concrete*.
9. I. Majcen, *Proizvodnja betona- recikliranje*, Geotehnički fakultet, Zagreb, 2010.
10. A. Đureković, *Cement i cementni kompozit i dodaci za beton*, 1. Izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 1996
11. A.M. Neville and J.J.Brooks, *Concrete Technology*, John Wiley, New York, 1987.
12. Kristina Lukin, *Razvoj aditiva za pripremu mlaznih betona*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
13. Velimir Ukrainczyk, *BETON- struktura, svojstva, tehnologija*, ALCOR, Zagreb
14. <file:///C:/Users/kasal/Downloads/4-svjezi-beton.pdf>
15. P. Kumar Mehta, *Concrete- structure, properties and materials* , New Jersey, 07632
16. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Beton>
17. [http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/specijalne\\_vrste\\_betona\\_1445415666714.pdf](http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/specijalne_vrste_betona_1445415666714.pdf)
18. <http://www.cemex.hr/Specijalnibetoni.aspx>
19. <https://www.scribd.com/document/202168891/5-Betoni-Visokih-Cvrstoca-i-Specijalni-Betoni>

## 7. ŽIVOTOPIS

Zovem se Franka Barbarić. [REDACTED] Pohađala sam XVI. Gimnaziju u Zagrebu i nakon toga sam upisala fakultet Kemijskog inženjerstva i tehnologije.