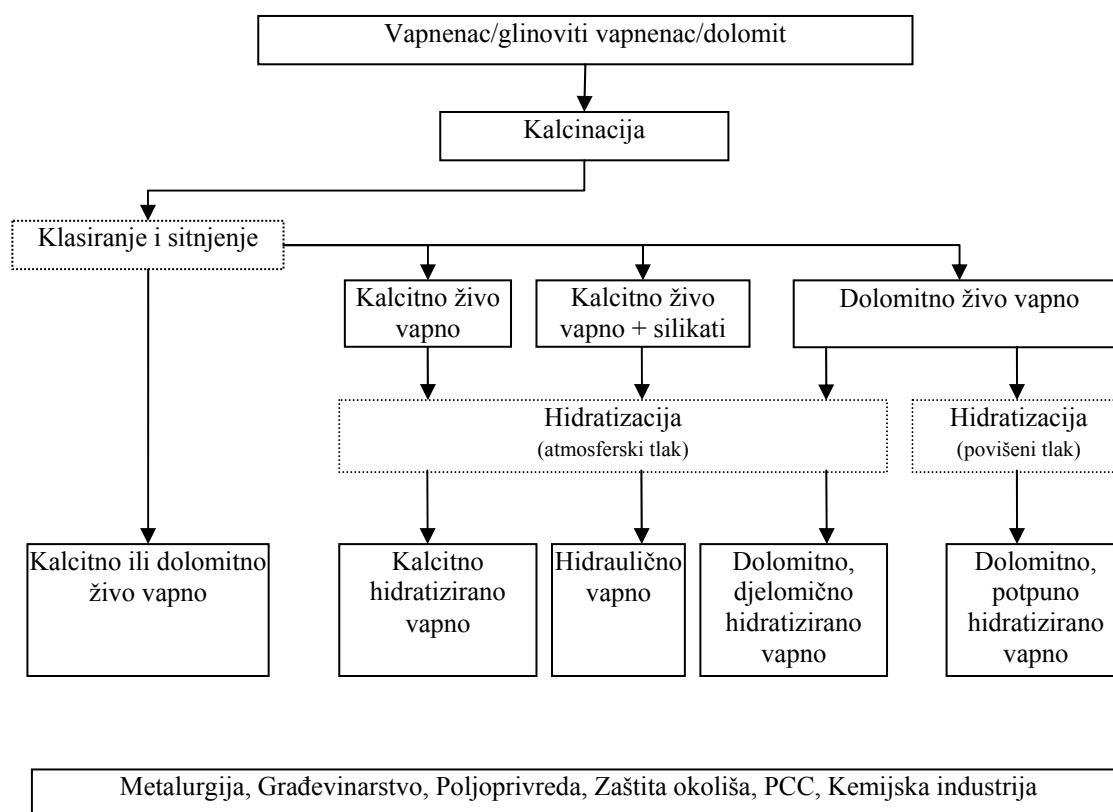


# Vapno

Vapno je naziv koji se koristi za čitav niz proizvoda dobivenih preradom (kalcinacijom i/ili hidratacijom) vapnenca ili dolomita. Proizvodi se razlikuju prema kemijskom sastavu i svojstvima te fizikalnom stanju. Kalcinacijom se dobivaju oksidi kalcija i magnezija ili tzv. živo vapno, zatim opcionalno njihova hidratizacija rezultira pretvorbom oksida u hidrokside, tj. gašeno ili hidratizirano vapno. Ovisno o sirovinskom sastavu, razlikuju se kalcitno vapno i dolomitno vapno, a ukoliko se u sirovini uz vapnenac nalaze i primjese silikata i aluminata, tada kalcinacijom nastaje hidraulično vapno koje je svojstvima slično cementu i spada u hidraulična veziva. Fizikalno stanje ovisi o namjeni proizvoda, živo vapno se može koristiti u obliku granula ili fino mljevenog praha, hidratizirano vapno se koristi u obliku praha ili u obliku vodene suspenzije različitih gustoća (vodena pasta ili tijesto).

Primjena vapna je raznolika. Koristi se u metalurgiji kao topitelj (flux) pri ekstrakciji metala iz rude i za izradu vatrootalnih dolomitnih opeka kao obloga za peći, u građevinarstvu kao vezivo za žbuku i mortove te za stabilizaciju tla, u zaštiti okoliša kod pročišćavanja vode i dimnih plinova, u poljoprivredi za modifikaciju pH vrijednosti tla te prihranu tla kalcijem i magnezijem, te vrlo svestrano u kemijskoj industriji.



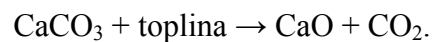
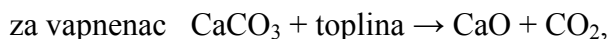
## Proizvodnja vapna

Proces proizvodnje vapna sastoji se generalno od slijedećih faza:

- Eksploatacija mineralne sirovine
- Priprema mineralne sirovine (drobljenje i sijanje)
- Kalcinacija u peći
- Sitnjenje ili hidratizacija
- Skladištenje, pakiranje i otprema

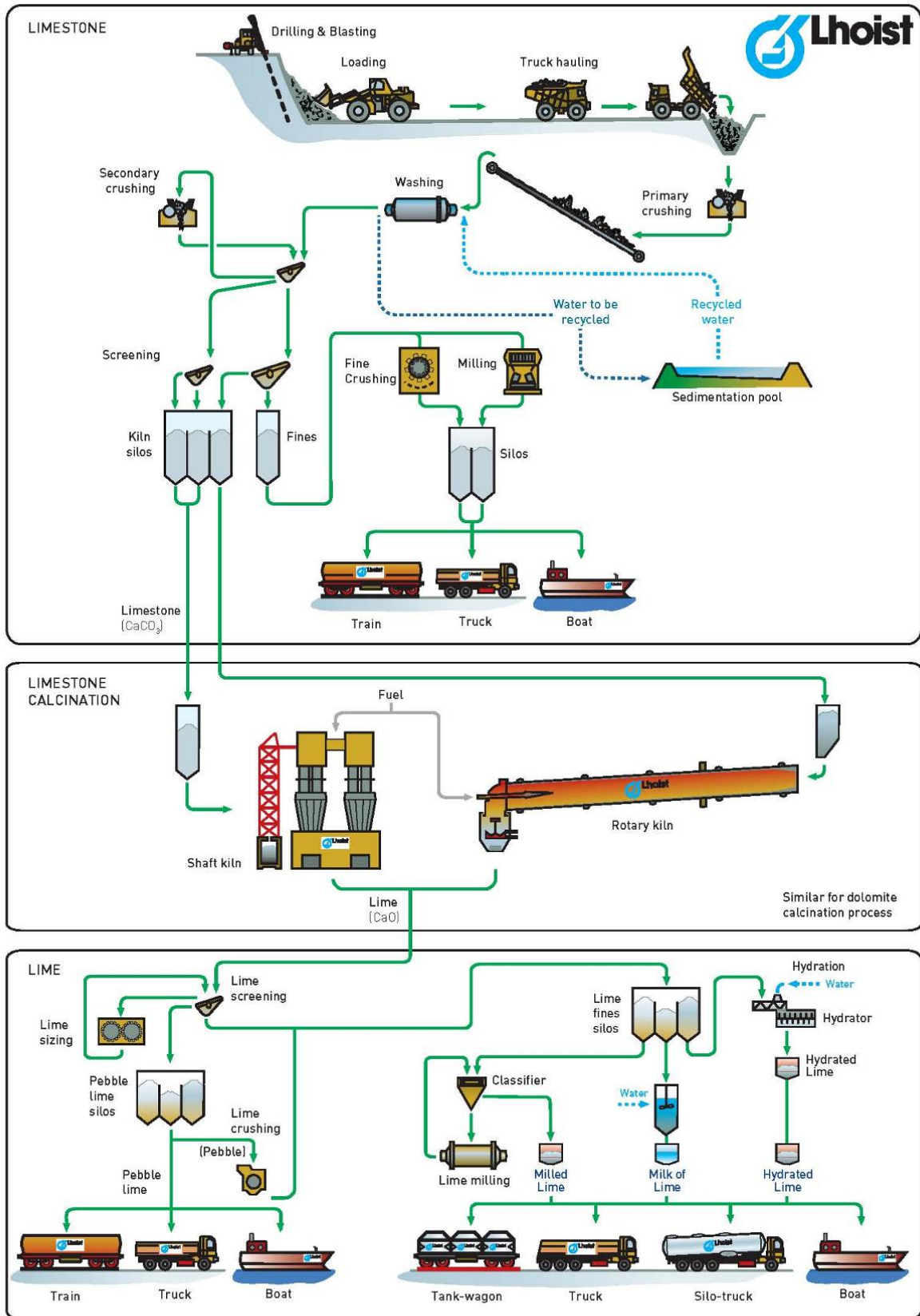
Tipični proces proizvodnje vapna prikazuje Slika 1. Paralelno proizvodnji vapna, slika prikazuje i proizvodnju karbonata za industrijsku primjenu. Naime ova dva procesa mogu biti usko povezana, budući oba proizvoda zahtijevaju ležišta dovoljno čistog vapnenca, sa visokim udjelom  $\text{CaCO}_3$ , tipično iznad 95%. Tako je iz istog ležišta moguće proizvoditi i vapnenac (kalcit) i vapno.

Nakon eksploatacije, mineralna sirovina se drobljenjem usitnjava na zrna veličine 0,5 - 15 cm, što ovisi o vrsti peći za kalcinaciju. Veličina zrna je važna za vrijeme kalcinacije, budući da se kemijska reakcija brže odvija što su zrna sitnija. Kalcinacija vapna se odvija u pećima pri temperaturama između 1000 i 1400 °C. Postoji više vrsta i konstrukcija peći, a generalno se dijele na rotacijske i vertikalne. Osnovna reakcija koja se odvija u peći je rastvaranje karbonata na okside i ugljični dioksid, prema slijedećim jednadžbama:



Tokom cijelog procesa kalcinacije odvija se niz fizikalno-kemijskih promjena. U početnoj fazi, sirovina se zagrijava od atmosferske od temperature kalcinacije, koja pri atmosferskom tlaku za kalcit iznosi oko 870°C a za dolomit oko 775 °C. U ovoj fazi dolazi do povećanja volumena zrna zbog temperaturnog rastezanja. Daljnjim porastom temperature započinje kalcinacija na površini zrna, čime dolazi do otpuštanja  $\text{CO}_2$  i prelaska karbonata u okside. U ovoj fazi volumen ostaje konstantan, ali se gubitkom  $\text{CO}_2$  smanjuje gustoća i povećava poroznost, odnosno volumen pora i šupljina. Ovako nastalo vapno vrlo je reaktivno zbog visoke poroznosti. Daljnjim povišenjem temperature ili produljenjem vremena trajanja kalcinacije, kristali vapna počinju sinterirati, odnosno spajati se uz smanjenje volumena, poroznosti i specifične površine te povećanje gustoće.

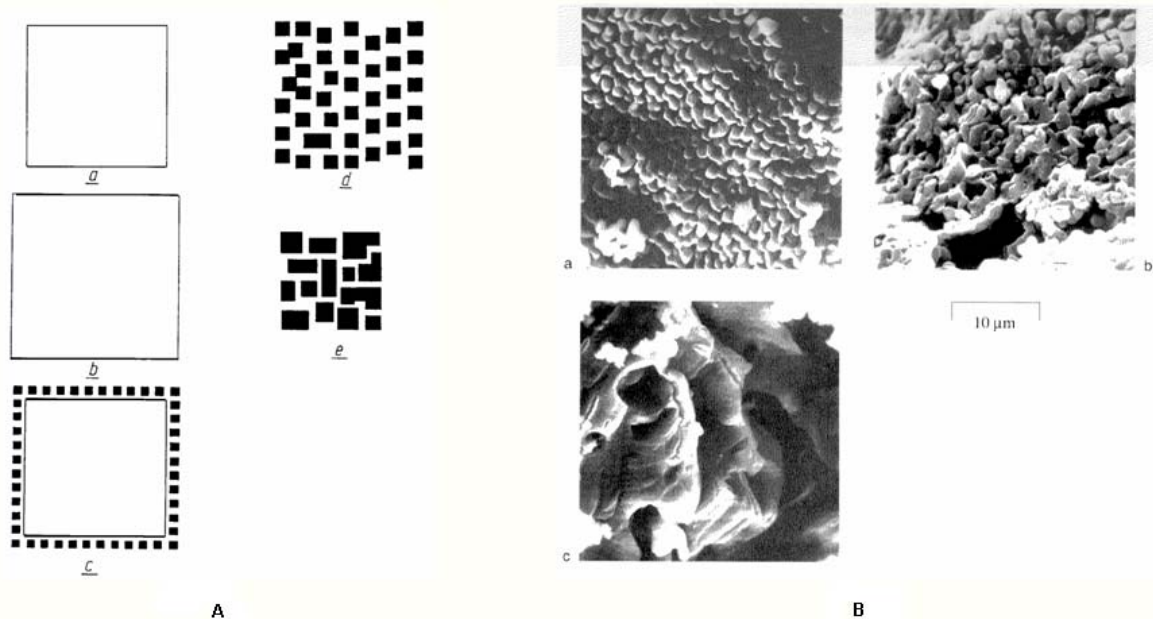
# LIME PRODUCTION PROCESS



© Lhoist 2009

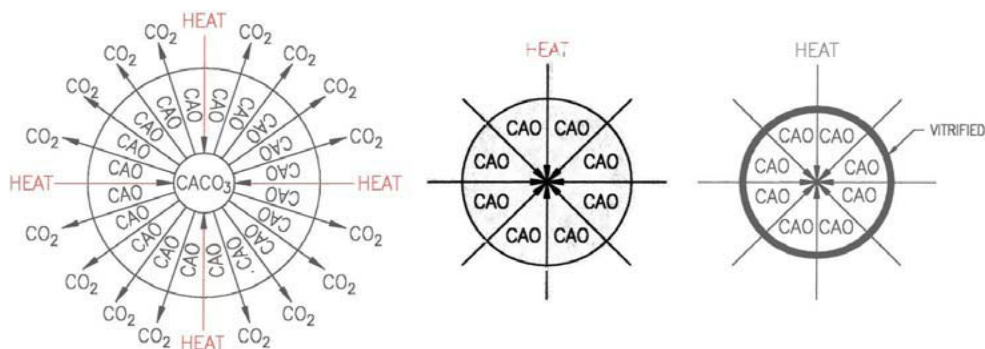
Slika 1

Ovako nastaje prepečeno ili „mrtvo pečeno“ vapno koje zbog manje specifične površine ima nisku reaktivnost (eng. dead burned lime). Faze kalcinacije ilustrirane su na Slika 2 A. Slika 2 B prikazuje mikroskopski snimak živog vapna, različitih gustoća zbog sinteriranja.



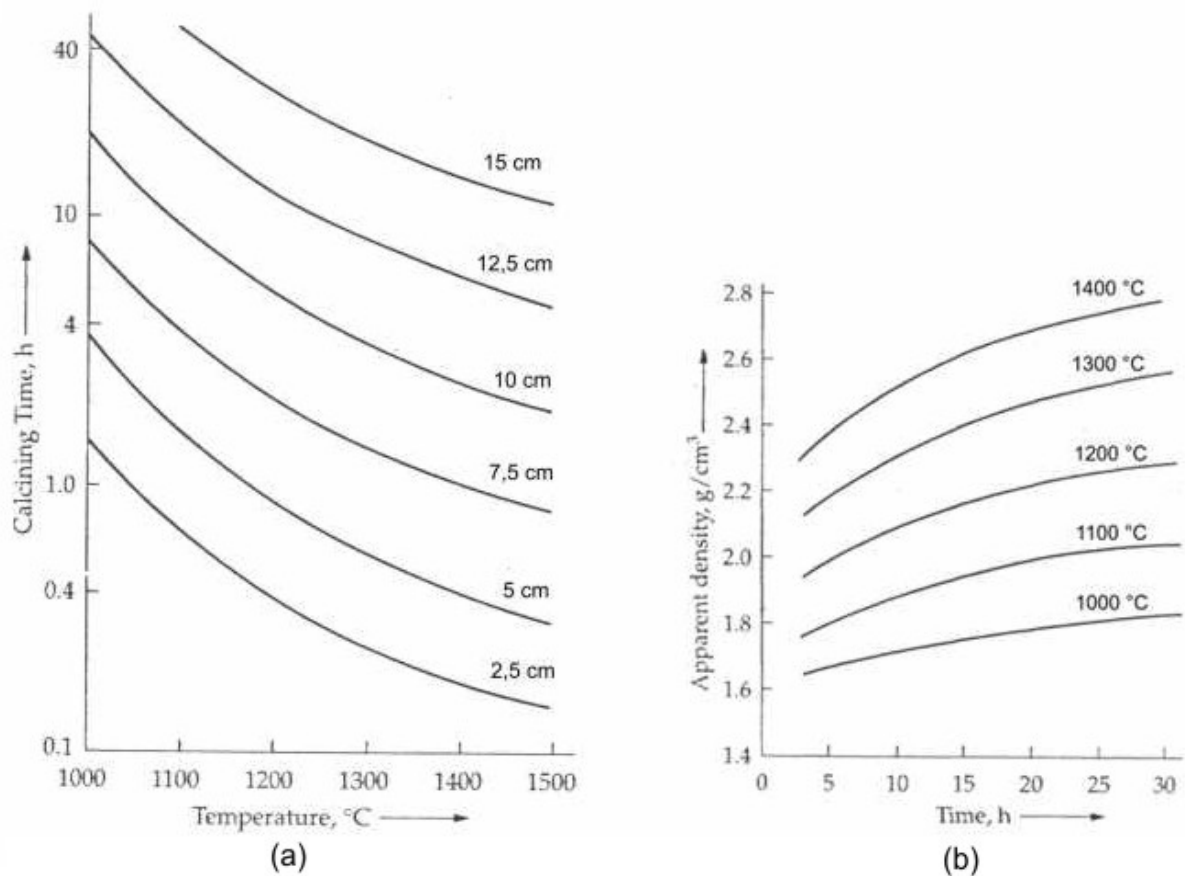
Slika 2

Reakcija kalcinacije, a zatim i sinteriranja započinje na površini zrna i napreduje prema unutrašnjosti. Njezino napredovanje najviše ovisi o temperaturi peći, veličini zrna i vremenu zadržavanja u peći. Slika 3 ilustrira tri moguća stanja zrna nakon pečenja vapna. U prvom slučaju zrno je samo djelomično kalcinirano, dok je u jezgri zaostao kalcijev karbonat. U drugom slučaju je zrno idealno, tj. potpuno kalcinirano, bez zaostalog karbonata i bez pojave sinteriranja, odnosno mrtvo pečeno vapno. U trećem slučaju zrno je potpuno kalcinirano ali je na površini započela reakcija sinteriranja, stvarajući ovojnicu koja sprječava ulazak vode i na taj način smanjuje reaktivnost vapna. Kako veličina zrna sirovine varira u nekim garnicama, realno je nemoguće da sva zrna idealno kalciniraju. Stoga u gotovom živom vapnu uvijek postoji mali udio karbonata koji nije kalcinirao i prepečeno vapno koje je predugo izloženo visokoj temperaturi.



Slika 3

Dakle, najvažniji tehnološki parametri pri kalcinaciji su veličina zrna sirovine, temperatura peći i vrijeme kalcinacije. Slika 4 prikazuje međuovisnost ovih parametara. Na dijagramu (a) je uočljivo da je vrijeme kalcinacije kraće što su zrna sirovine sitnija, a temperatura peći viša. S druge strane, dijagram (b) pokazuje kako gustoća vapna raste s temperaturom i vremenskim trajanjem pečenja. Kako je već spomenuto, gustoća vapna raste zbog pojave sinteriranja. Ova pojava je negativna jer o gustoći i poroznosti vapna ovisi njegova kemijska reaktivnost s vodom, jedno od važnijih svojstava vapna. Kvaliteta proizvoda ovisi o optimalnom odabiru ovih parametara za konkretni slučaj.



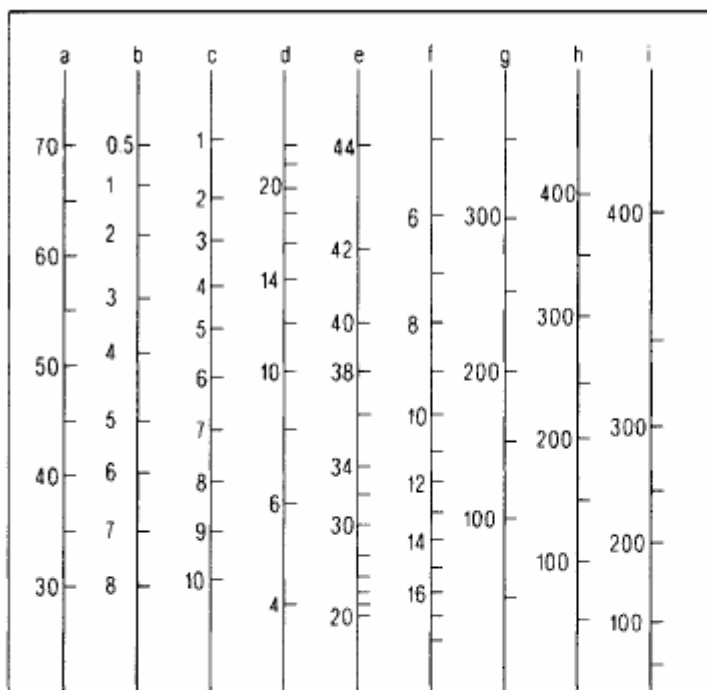
Slika 4

O stupnju pečenja vapna ovise njegova svojstva, među kojima je najvažnija reaktivnost vapna. Tabela 1 okvirno prikazuje kako se neka svojstva mijenjaju stupnjem pečenja kod kalcitnog i dolomitnog vapna.

Način određivanja reaktivnosti vapna je propisan standardima. Najčešće se definira temperaturom pri hidrataciji vapna. Toplina hidratacije je dobar pokazatelj reaktivnosti, budući se oslobađa više topline što je vapno reaktivnije. Slika 5 daje pregled nekoliko normi za određivanje reaktivnosti vapna.

**Tabela 1**

Svojstvo	Meko pečeno vapno	Prepečeno vapno	Mrtvo pečeno vapno	Potpuno sinterirano vapno
Specifična površina	1-200 m <sup>2</sup> /g	0,1 – 1 m <sup>2</sup> /g	<0,1 m <sup>2</sup> /g	vrlo mala površina
Veličina kristala	1-20 μm	srednje veličine	veliki kristali (30-120 μm)	vrlo veliki kristali
Topivost u kiselinama	vrlo topivo u razblaženim kiselinama	vrlo topivo u koncentriranim kiselinama	vrlo spora reakcija s jakim kiselinama	vrlo spora reakcija s jakim kiselinama
Hidratizacija i karbonizacija	Vrlo brzo reagira s vodom i CO <sub>2</sub>	Sporo reagira s vodom	Ne reagira s vodom i CO <sub>2</sub>	Ne reagira s vodom i CO <sub>2</sub>
Kemijska reaktivnost	Visoka do srednja reaktivnost	Niska reaktivnost	Vrlo niska reaktivnost	Vrlo niska reaktivnost

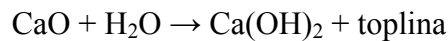


- a - BS 6463                      °C poslije 2 min.
- b - EN 459-2                    t<sub>60</sub> [min]- vrijeme potrebno za postizanje 60°C
- c - EN 459-2                    t<sub>u</sub> [min] – vrijeme potrebno za 80%-tno gašenje
- d - ASTM C110                    povećanje temperature [°C] poslije 30 sec
- e - ASTM C110                    maksimalno povećanje temperature [°C]
- f - ASTM C110                    vrijeme potrebno za postizanje maksimalne temperature [min]
- g - Acid titration                [ml] za 3 min
- h - Acid titration                [ml] za 5 min
- i - Acid titration                [ml] za 10 min

**Slika 5**

U slijedećoj fazi proizvodnje vapna, proces se može odvijati u dva smjera. Jedan je klasiranje i sitnjenje kalciniranog živog vapna, do potrebne veličine zrna, odnosno granulometrijskog sastava. Ovako prerađeno živo vapno čini gotov proizvod a veličina zrna ovisi zahtjevima istog. Drugi smjer je hidratizacija živog vapna radi pretvorbe oksida u hidrokside.

Hidratacija kalcitnog vapna je egzotermna reakcija pri kojoj se oslobađa znatna količina topline, odvija se prema reakciji:

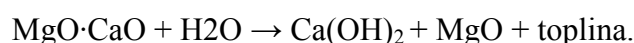


Oslobodena toplina ovisi o reaktivnosti vapna i iznosi otprilike 1100 kJ/kg (smatra se da je toplina oslobodena izgaranjem 35 t ugljena ekvivalentna toplini hidratacije 1000 t vapna). U ovako burnoj reakciji prelaska oksida u hidrokside, zbog naglog povećanja volumena dolazi do mehaničkog razaranja, pri čemu se granule vapna raspadaju u čestice dimenzija praha. Na ovaj način se vapno usitnjava te nije potrebna meljava nakon hidratacije.

Ovisno o potrebnoj konzistenciji proizvoda, pri hidrataciji se vapnu dodaje voda u određenim omjerima. Stehiometrijski omjer vode i vapna za prelazak oksida u hidrokside iznosi 0,32. Međutim kako se u procesu pojavljuje gubitak vode zbog isparavanja, dodaje se nešto veća količina što ovisi o izvedbi hidratora i temperaturi reakcije. Dodatak vode, u količini tek dovoljnoj da oksidi prijeđu u hidrokside, naziva se suhom hidratacijom (eng. dry hydration) a rezultira hidratiziranim vapnom u suhom praškastom obliku. Nasuprot tome, dodatak vode u suvišku, s omjerima vode i vapna između 1 i 6, također uzrokuje potpunu hidrataciju ali je gotov proizvod tada u obliku vodene suspenzije. Primjer uređaja za hidrataciju prikazuje Slika 6.

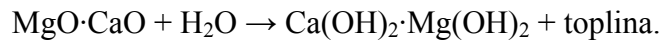
Vrijeme hidratacije, potrebno da vapno potpuno hidratizira ovisi o vrsti vapna, odnosno njegovoj reaktivnosti. Meko pečeno kalcitno vapno je vrlo reaktivno i može hidratizirati vremenu od nekoliko minuta. Dolomitna i prepečena vapna su nakon kalcinacije slabo reaktivna.

Zbog slabe reaktivnosti dolomitnog vapna, tek 10 – 25% magnezijeva oksida hidratizira u tehničko-ekonomski isplativom vremenu (10 – 24h). Tj., uobičajenim postupkom hidratacije, pri atmosferskom tlaku, potpuno hidratizira samo kalcitna komponenta dolomitnog vapna i nastaje tzv. monohidrat:

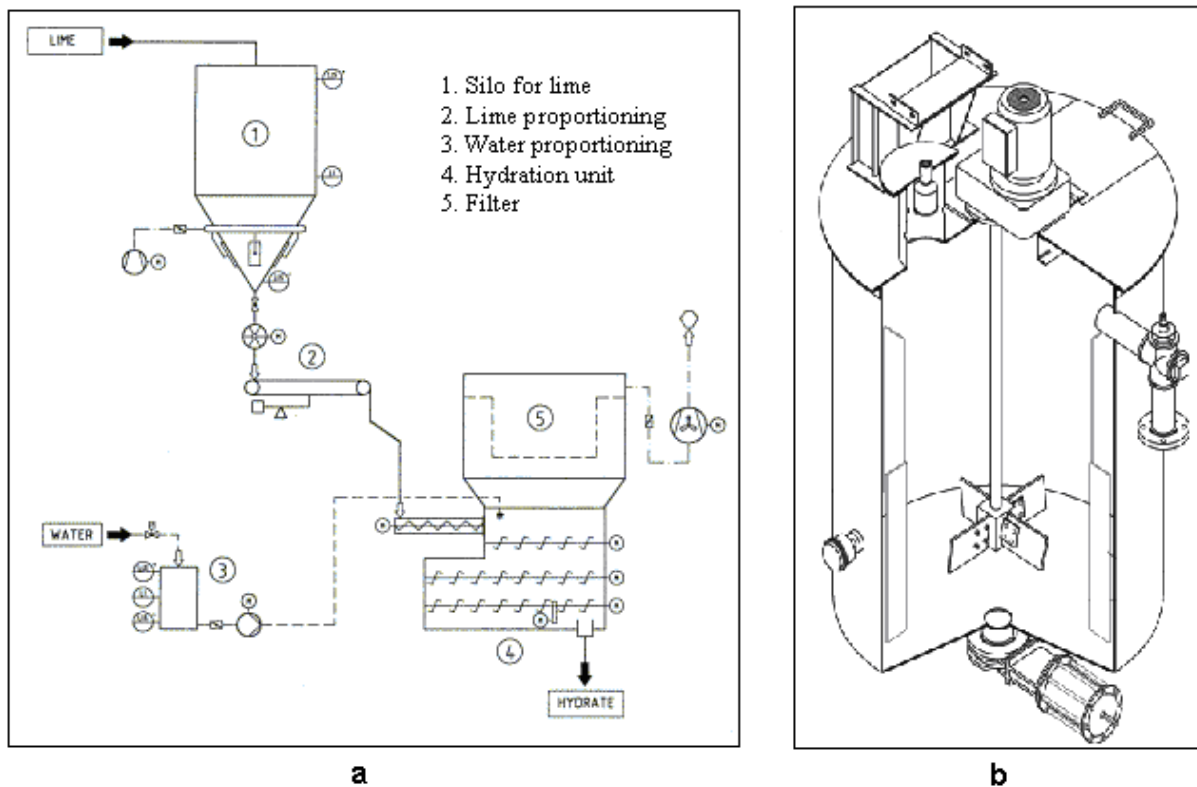


Ovakvo, nepotpuno hidratizirano vapno, stvara poteškoće ukoliko se primjenjuje kao vezivo. Naime, magnezijev oksid dodavanjem vode naknadno hidratizira, što povećava volumen očvrstlog veziva, odnosno uzrokuje ekspanziju.

Iz ovog razloga razvijen je postupak tlačne hidratizacije koji se primjenjuje isključivo za dolomitna vapna. Ovim postupkom vapno potpuno hidratizira i nastaje tzv. dihidrat:



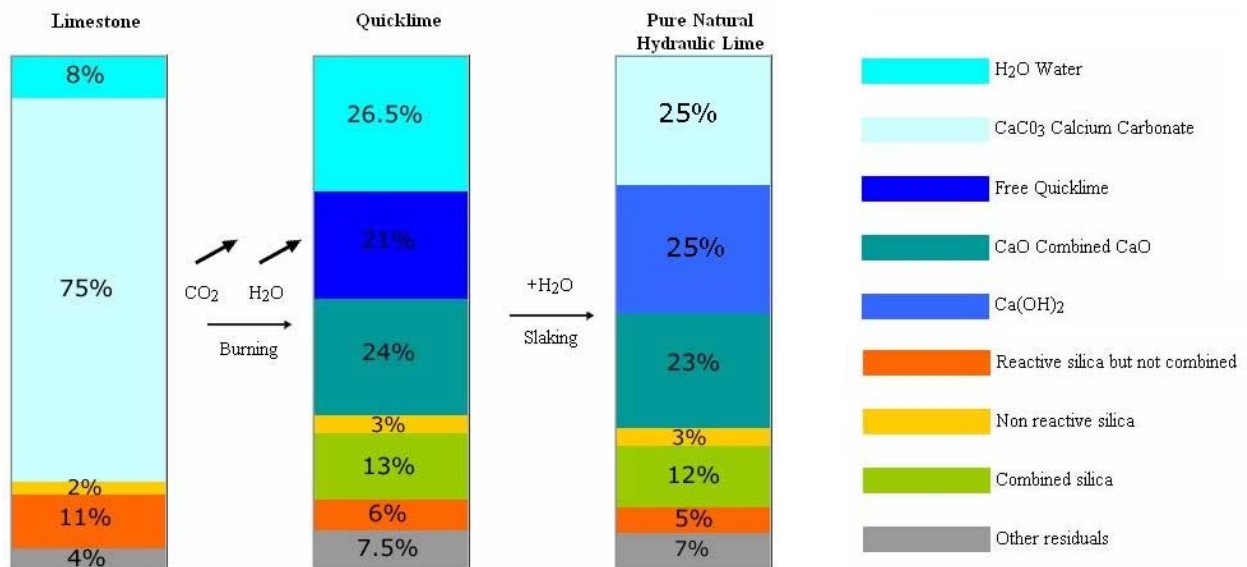
Za postupak se koriste posebni uređaji gdje se hidratizacija odvija u višku vode, pri povišenoj temperaturi i pritisku. Eksplozivnim izbacivanjem finalnog proizvoda naglo se smanjuje pritisak, što dovodi do odslobađanja vode i usitnjavanja čestica vapna na dimenzije od nekoliko mikrometara.



Slika 6



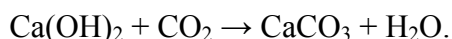
U procesu kalcinacije **hidrauličnog vapna** nastaju nešto drugačiji produkti nego kod kalcitnog ili dolomitnog vapna. Sirovina za hidraulično vapno sastoji se od karbonatne i glinovite (silikatne) komponente, pa uslijed kalcinacije dolazi do spajanja oksida kao kod proizvodnje cementa, zbog čega nastaju minerali alita i belita. Osim ovih minerala, nastaje veliki udio slobodnog (nevezanog u alit ili belit) vapna (CaO), te zaostali dio nevezanih silikata koji mogu biti reaktivni (amorfni) ili nereaktivni (kristalični). Primjer sastava vapnenca te hidrauličnog vapna nakon kalcinacije i nakon hidratizacije prikazan je na Slika 7.



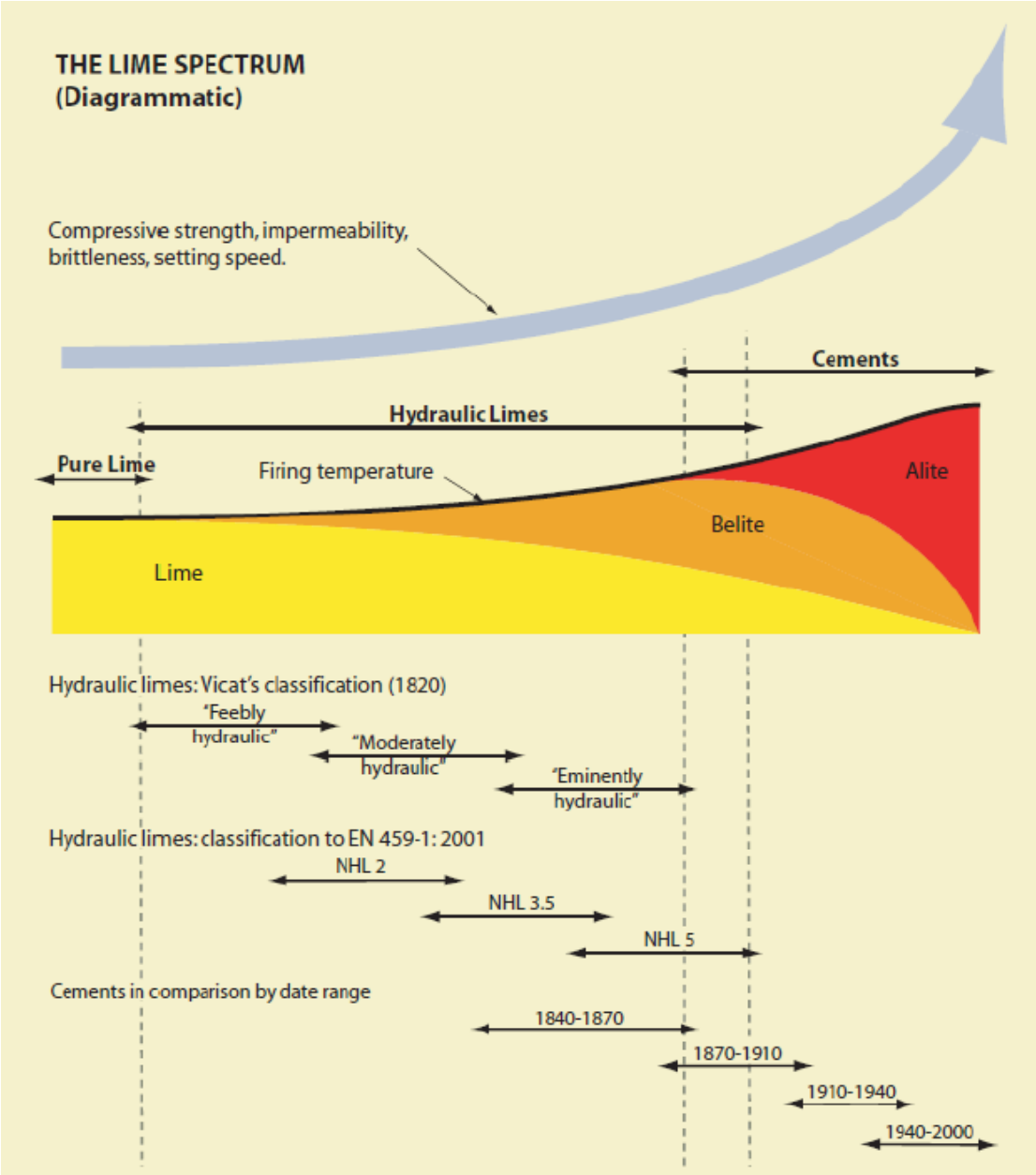
Slika 7

Pri hidratizaciji hidrauličnog vapna dodaje se količina vode dovoljna za pretvorbu kalcijeva oksida u hidroksid, ali da alit i belit ne počnu proces hidratacije (vezivanja – vidi poglavlje o cementima).

Hidraulično vapno se koristi kao vezivo i ovisno o udjelu alita i belita može biti svojstvima slično cementu. Za razliku od cementa koji veže isključivo hidratacijom minerala klinkera, hidraulično vapno veže hidratacijom alita i belita, ali i karbonatizacijom hidroksida. Pri karbonatizaciji kalcijev hidroksid veže CO<sub>2</sub> iz zraka tvoreći kalcijev karbonat:



Osnovne razlike cementa i hidrauličnog vapna obzirom na svojstva, sastav, proizvodnju i povijesni razvoj prikazuje Slika 8.



Slika 8

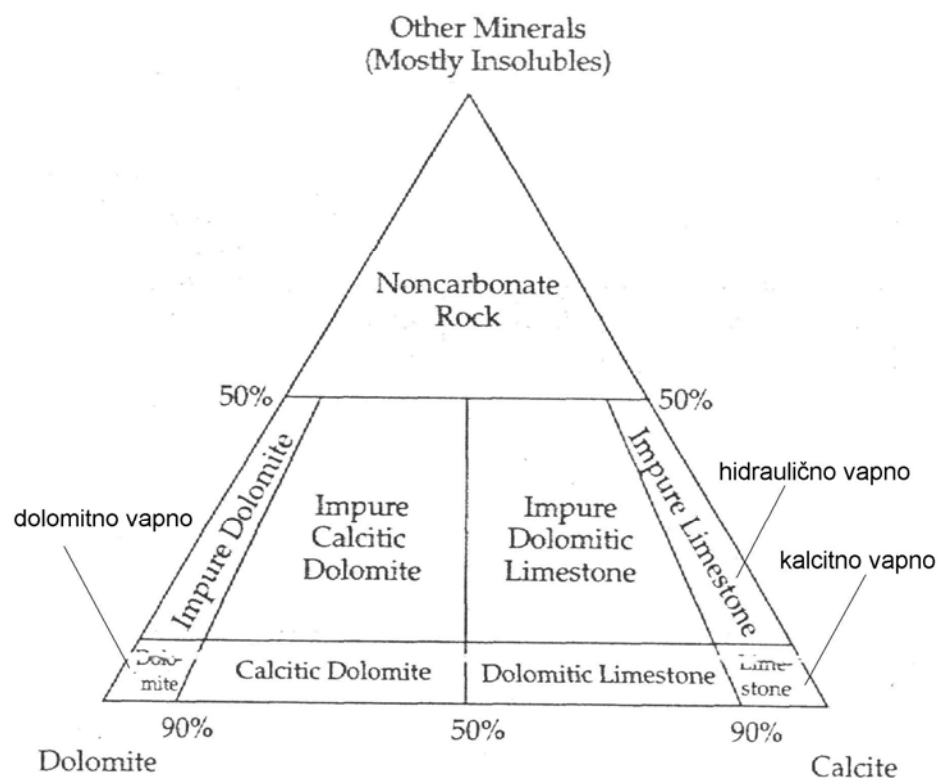
## Sirovine za proizvodnju vapna i uvjeti kvalitete

Karbonatne stijene izgrađuju velike mase u Zemljinoj kori i čine važnu sirovinu u mnogim industrijskim granama, pa tako i u proizvodnji vapna. Industrijski važni karbonati sastoje se od korisnih minerala kalcita, aragonita, dolomita i magnezita, čija su svojstva prikazana u Tabela 2.

**Tabela 2**

	Kemijska formula	Molekularna težina	Specifična težina [g/cm <sup>3</sup> ]	Tvrdoća [Mohova skala]	Kristalni sustav
KALCIT	CaCO <sub>3</sub>	100,1	2,71	3,0	romboedarski
ARGONIT	CaCO <sub>3</sub>	100,1	2,94	3,5-4,0	ortorombski
DOLOMIT	(CaMg)CO <sub>3</sub>	92,2	2,84	3,4-4,0	romboedarski
MAGNEZIT	MgCO <sub>3</sub>	84,3	3,00	5-4,5	romboedarski

Od ovih minerala, u karbonatima su najzastupljeniji kalcit i dolomit. Ovisno o udjelu ovih minerala i ostalih primjesa, uobičajena je klasifikacija karbonata na čisti vapnenac, dolomitični vapnenac, vapnenački dolomit i čisti dolomit, kako prikazuje Slika 9. O sastavu će također ovisiti primjena sirovine za neku vrstu vapna.



**Slika 9**

**Primjese** koje se najčešće nalaze u karbonatima su silikati ili glinovite komponente i željezo a svrstavaju se u homogene i heterogene primjese.

Silikatne primjese se javljaju kao homogene, u obliku gline, praha ili pijeska ako su jednoliko dispergirane unutar ležišta. Ili kao heterogene ako se pojavljuju u obliku čestica ili grudica koje su uklopljene unutar slojeva karbonata. Željezo se također javlja kao homogena primjesa ukoliko je nastalo kemijskom izmjenom kalcija pri čemu nastaje željezni karbonat (siderit). Heterogene su primjese željeza u obliku sulfida ili oksida, tj. zasebnih minerala poput pirita, limonita i hematita. Fosfor i sumpor se uglavnom pronalaze u malim količinama, a ostale primjese poput mangana, bakra i titana pojavljuju se u tragovima i gotovo su zanemarivi.

Industrijski korišten vapnenac i dolomit su:

- visoko kvalitetni kalcit sa 97-99%  $\text{CaCO}_3$
- visoko kvalitetni dolomit sa 40-43%  $\text{MgCO}_3$  i 57-60%  $\text{CaCO}_3$ .

Količina primjesa u ovim vrstama vapnenca mora biti što manja , najpovoljniji udio promjesa se kreće u rasponu od 1% do 3%.

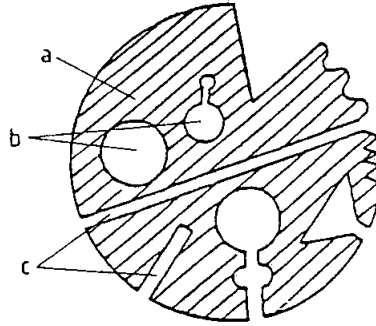
**Mineralna struktura** i veličina kristala sirovine ovisi o uvjetima kristalizacije za vrijeme postanka. Obzirom na veličinu kristala vapnenca možemo podijeliti u četiri skupine:

veoma mali	<4 $\mu\text{m}$
mali	4-50 $\mu\text{m}$
srednji	50-250 $\mu\text{m}$
krupan	>250 $\mu\text{m}$

U proizvodnji vapna povoljniji su kristali manjih dimenzija.

**Oblik zrna** ovisi o mikrostrukturi ali i o karakteristikama drobilica i mlinova. Za proizvodnju vapna preferira se zaobljeni ili kubičasti oblik zrna, dok se pločasti i lističasti oblici izbjegavaju.

**Poroznost zrna** varira uzimajući u obzir stupanj kompaktnosti i strukturu, i definira se kao omjer volumena šupljina i pora  $V_v$  i ukupnog volumena  $V_{\text{tot}}$ . Volumen pora i šupljina  $V_v$  sastoji se od nepristupačnih (unutarnjih) i pristupačnih (vanjskih) pora. Slika 10 prikazuje različite vrste pora i šupljina.



a-čvrsta tvar, b- nepristupačne pore, c- pristupačne pore

Slika 10

**Gustoća** se definira kao omjer mase  $m$  i volumena  $V$  određene čestice. Specifična gustoća ( $D$ ) sadrži samo volumen čistog neporoznog vapnenca bez volumena pora i šupljina. Pravidna gustoća ( $D_s$ ) sadrži volumen neporoznog vapnenca zajedno sa nepristupačnim (unutrašnjim) šupljinama

Pravidna poroznost ( $P_s$ ) je pristupačni volumen koji dobivamo razlikom tog dijela osnovne ili specifične gustoće i pravidne gustoće sa količinom nepristupačnih pora ili šupljina.

$$P_s = \left(1 - \frac{D_s}{D}\right) * 100$$

$P_s$  = Pravidna poroznost [%]

$D_s$  = Pravidna gustoća

$D$  = Specifična gustoća

Poroznost i gustoća su međusobno ovisni, tj. obrnuto proporcionalni. Za proizvodnju vapna, sirovina je povoljnija što je gustoća manja i poroznost veća. Ovo utječe na proces kalcinacije, jer se porozna zrna brže zagijravaju i lakše otpuštaju  $\text{CO}_2$ . Osim toga, veća poroznost sirovine rezultira i većom specifičnom površinom živog vapna, što pogoduje njegovoj reaktivnosti. Industrijski korišteni karbonati imaju široki raspon pravidne poroznosti (0.1-40%) i gustoće ( $1.50\text{-}2.90 \text{ g/cm}^3$ ) uzrokovane različitim uvjetima tijekom postanka i različitim stupnjem rekristalizacije. Neki od podataka pravidne poroznosti i pravidne gustoće najčešće upotrebljivanih vrsta karbonata navedeni su u Tabela 3.

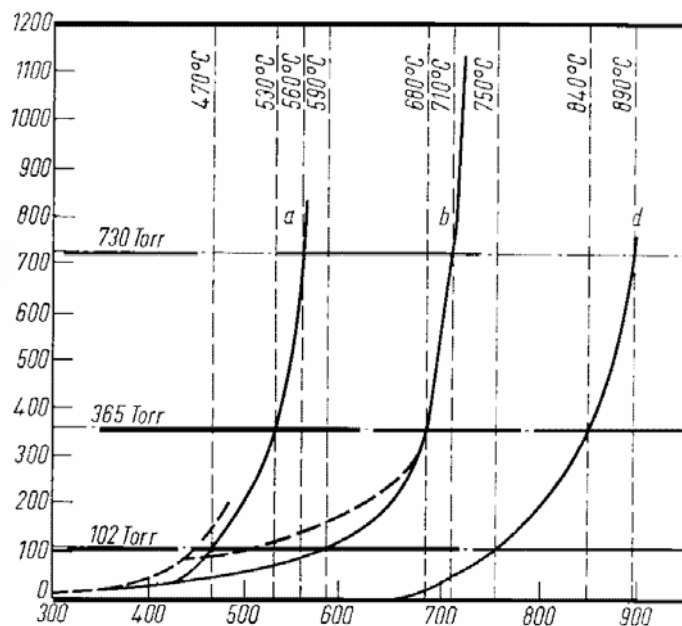
**Tabela 3**

	Poroznost [%]	Prividna gustoća [g/cm <sup>3</sup> ]
vapnenac s visokim udjelom kalcita	0.1 do 3	do 2.7
mramor	0.1 do 2.0	2.7 do 2.8
kreda	15 do 40	1.5 do 2.3
dolomit	1 do 10	2.7 do 2.9

**Termalno rastvaranje** je jedno od najvažnijih svojstava karbonata. Sve karbonatne stijene se rastvaraju na visokim temperaturama, stvarajući okside i CO<sub>2</sub> plin.

Temperatura rastvaranja industrijski korištenog vapnenca je između 896 i 910°C zavisno o djelomičnom CO<sub>2</sub> pritisku pri 1 bar. Toplina rastvaranja je oko 3180 KJ/kg CaO.

Temperatura rastvaranja uvelike varira s obzirom na kemijski sastav i zavisi o čistoći i primjesama vapnenca. Veće količine primjesa SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> u vapnencu mogu smanjiti temperature rastvaranja za nekoliko stotina stupnjeva celzijusa. Ovaj utjecaj primjesa silicija je prikazan na Slika 11.



**Slika 11**

Krivulje pritiska i temperature različitog kem. sastava imaju sljedeće temperature rastvaranja :

krivulja a	CaCO <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub>	400-590°C
krivulja b	CaCO <sub>3</sub> + 2CaO*SiO <sub>2</sub>	400-750°C
krivulja d	CaCO <sub>3</sub>	650-890°

**Mehanička čvrstoća i otpornost na struganje** (abraziju) imaju važnu ulogu u procesu kalcinacije.

Volumen (količina) pora i šupljina te njihov raspored daju vapnencu specifičnu strukturu koja rezultira u različitoj prividnoj gustoći (s obzirom na dostupne-vanjske i nedostupne-unutrašnje pore i šupljine). Mehanička svojstva direktno zavise o ovom efektu.

Mehanička čvrstoća i otpornost na struganje vapnenca mora biti relativno visoka da bi se spriječilo njegovo lomljenje. Lomljenje komadića vapnenca tijekom transporta ili prolaska kroz peć dovodi do stvaranja finih čestica koje zapunjavaju prostor između krupnijih zrna. Na taj način dolazi do zbijanja sirovine u peći, što umanjuje protok plinova i topline. Također, sitnija zrna kalciniraju u kraćem vremenskom intervalu te nastaje veća količina prepečenog vapna.

Tlačna čvrstoća karbonata varira od 10 do 200 MPa a minimalna potrebna čvrstoća ovisi o vrsti i izvedbi peći za kalcinaciju.

## Kontrola kvalitete sirovina

Ispitivanje kvalitativnih svojstava vapnenaca i dolomita kao karbonatne mineralne sirovine izvodi se sistematski, svakodnevno u laboratoriju, a periodično kod ovlaštenih institucija. Analiza se sastoji od slijedećeg:

- Utvrđivanje udjela silicijevih, aluminijevih i željeznih primjesa ( $\text{SiO}_2$ ), ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) i ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) radi kvalitete sastava
- Utvrđivanjem gubitka žarenjem, kojim se uzorak zagrijava na određenu temperaturu, prilikom koje dolazi do oslobađanja hlapljivih elemenata. Uzorak je izložen visokoj temperaturi sve dok se njegova masa ne prestane mijenjati.
- Određivanjem silicijeva dioksida i netopivog ostatka. Ovom metodom se utvrđuje količina oksida u sirovini koja utječe na termalno rastvaranje prilikom kalcinacije. Veće prisustvo nepoželjnih oksida u sirovini umanjuje temperature rastvaranja za nekoliko stotina stupnjeva
- Određivanje kalcijeva oksida koristi se za utvrđivanje potrebne količine karbonatne sirovine za proizvodnju kalcitnog ili dolomitnog vapna.
- Određivanje magnezijeva oksida koristi se za utvrđivanje potrebne količine dolomita za proizvodnju dolomitnog vapna, kao i za utvrđivanje čistoće vapnenca u slučaju kalcitnog vapna ( $\text{MgO}$  je u kalcitnom vapnu nepoželjna primjesa)
- za kompleksno utvrđivanje kvalitete sirovine, neophodno je ustanoviti i druga svojstva poput gustoće, vlage i veličine zrna (granulacije).

Količina potrebne sirovine računa se prema jednadžbi:

$$\frac{\lim e}{\lim estone} = \frac{A * (100 - vlaga)}{100},$$

gdje A ovisi o vrsti vapna:

$\text{CO}_2$	[%]	Rezidentni $\text{CO}_2$ u pečenom vapnu
$\text{CaO}$	[%]	$\text{CaO}$ u pečenom vapnu
$\text{MgO}$	[%]	$\text{MgO}$ u pečenom vapnu
$\text{R}_2\text{O}_3$	[%]	Primjese u pečenom vapnu.



U nastavku je prikazan primjer rezultata analize vapnenca za kalcitno vapno i dolomita za dolomitno vapno. Uzorci su iz dva kamenoloma poduzeća Kamen Sirač.

#### Kamen iz „Gustog Rastika“, vapnenac

##### Kemijska analiza:

CaO:	52.88 %
MgO:	1.80 %
SiO <sub>2</sub> :	1.29 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	0.47 %
Gubitak žarenjem:	43.30 %
Gustoća	2.65 t/m <sup>3</sup>
Vlaga:	<2.0 %
Granulacija:	40-80mm,
Nadzrno	> 80 mm: < max. 3.0 %
Podzrno	< 40 mm: < max. 3.0 %

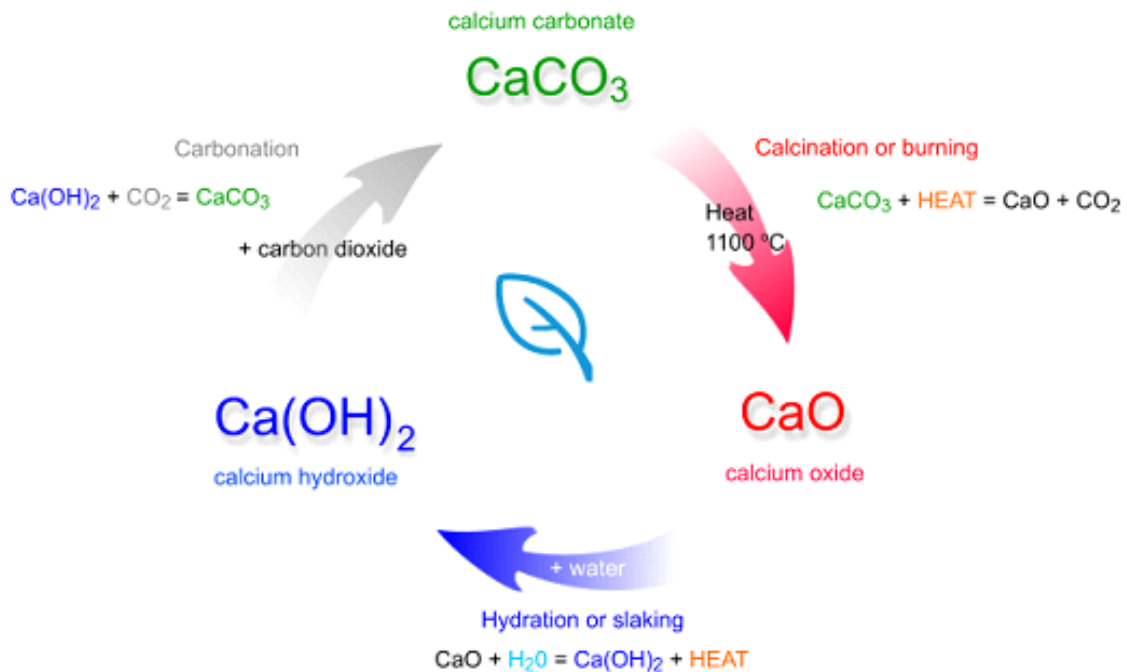
#### Kamen iz “Čeline”, dolomit

##### Kemijska analiza:

CaO:	30.21 %
MgO:	20.82 %
SiO <sub>2</sub> :	0.50 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	0.19 %
Gubitak žarenjem:	46.86 %
Gustoća	2.739 t/m <sup>3</sup>
Poroznost	3.0 %
Vlaga:	=< 2.0 %
Granulacija:	30-60mm
Nadzrno	> 60 mm: < max. 3.0 %
Podzrno	< 30 mm: < max. 3.0 %

## Ciklus vapna

Kalcijev karbonat, zagrijan iznad 900 °C, otpušta CO<sub>2</sub> i prelazi u kalcijev oksid CaO, a u prisutnosti vlage ili vode ovaj oksid prelazi u kalcijev hidroksid. Kalcijev oksid, i hidroksid konačno vežu CO<sub>2</sub> iz atmosfere, formirajući ponovno kalcijev karbonat CaCO<sub>3</sub>. Ovaj ciklus vapna, prisutan u mnogim industrijskim granama, danas se smatra potencijalno bitnim aspektom zaštite okoliša, naročito u problemu stakleničkih plinova. Teoretski, količina CO<sub>2</sub> otpuštena u atmosferu iz karbonata se ponovno apsorbira rekarbonizacijom vapna. Međutim, pogonsko gorivo peći za kalcinaciju su fosilna goriva kojima se pripisuje više od 40 % ukupne emisije CO<sub>2</sub> u proizvodnji vapna, tako da je zagađenje atmosfere znatno manje nego pri proizvodnji cementa, ali ipak neizbježno.



Slika 12