

Cementtill- verkning - del I

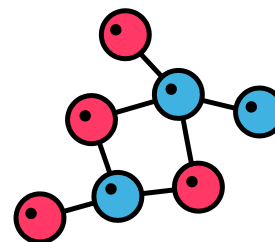
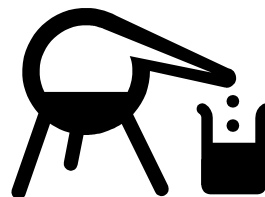
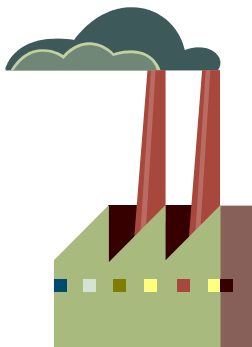
Cement i
Betong 2022
Tina Hjellström



Cementkemi och tillverkning

Innehåll

- ☐ Bindemedelshistorik och cementkemi
- ☐ Råmaterialpreparering
- ☐ Bränning och kylning
- ☐ Bränslen
- ☐ Klinker



Bindemedel

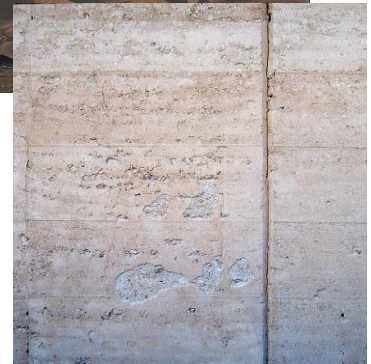
☐ Lera



☐ Kalk



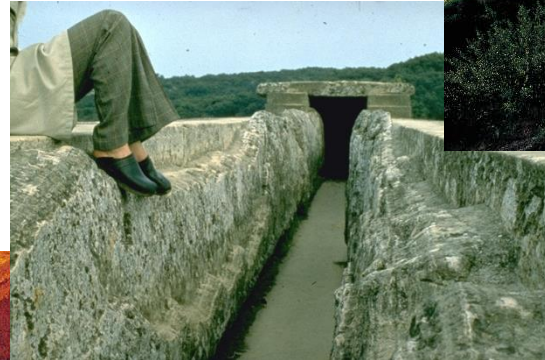
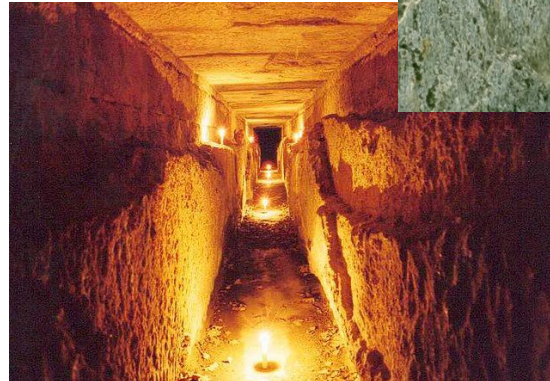
Vakttorn i Dunhuang, Gansu Kina



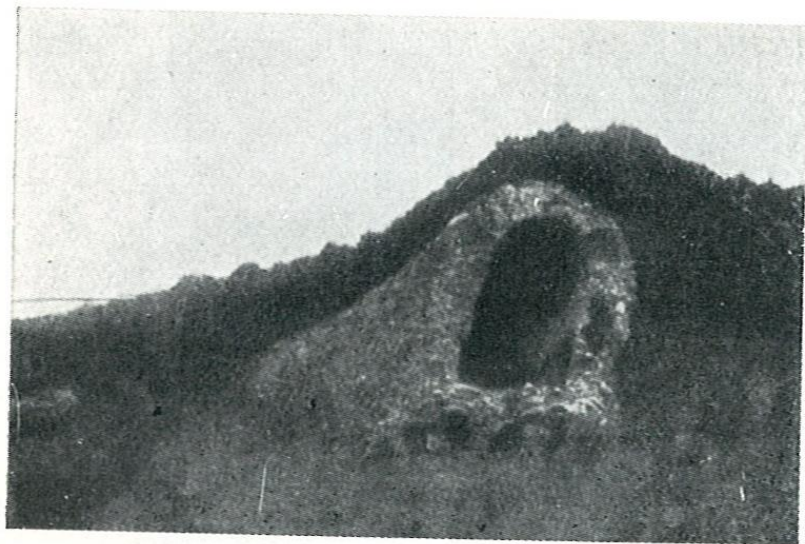
Antikt



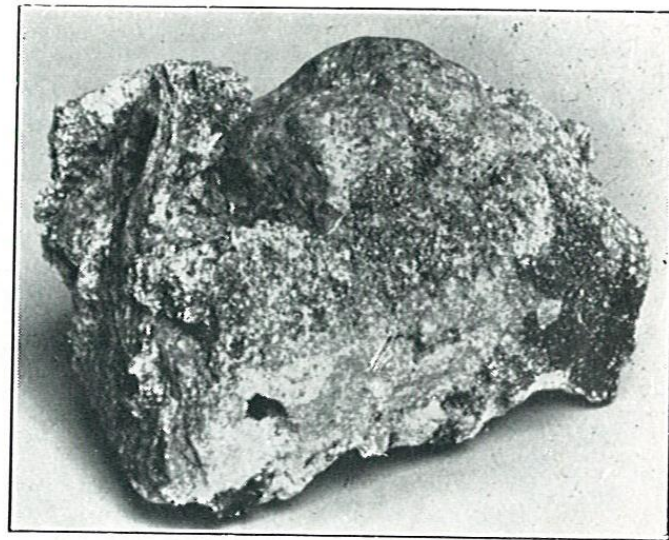
Vitruvius



Gammal Betong

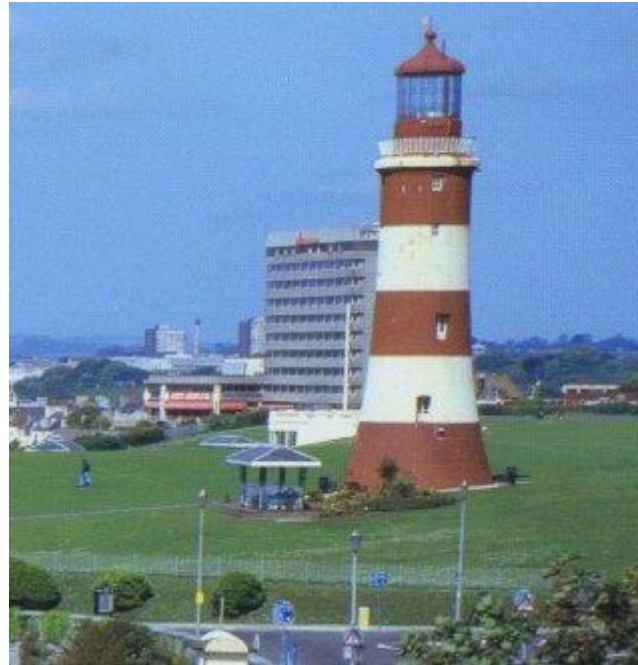
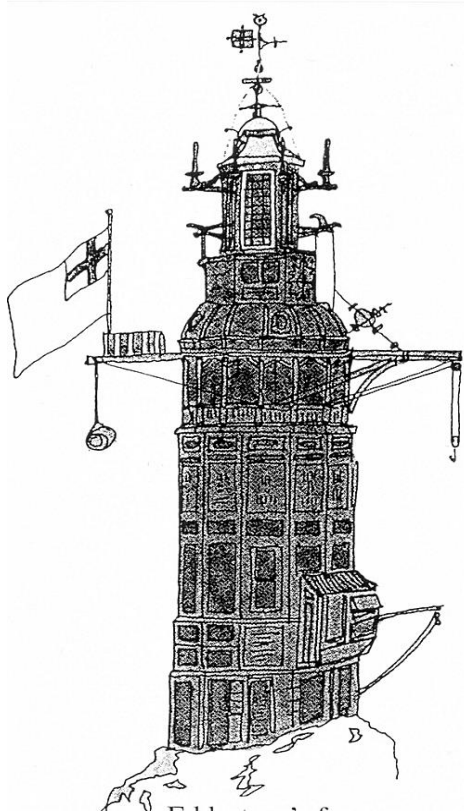


Vattenledningen av betong mellan Eifel och Köln, 90 km lång, byggd av romarna åren 70—80 e. Kr. och i drift omkring 450 år. Bindemedel voro: närmast Köln trasskalk, i Eifel *romancement* av bränd mägerl.



Svensk 1200-talsbetong från Alsnö hus på Adelsö, nära Birka, uppförd av Valdemar Birgersson och Magnus Ladulås. Kanske den äldsta betongen i vårt land. Bindemedel var hydraulisk kalk.

Eddystone Light House



John Smeaton, 1759



Aspdins första fabrik



**Joseph Aspdin
British Patent
[21 Oct 1824, No. 5022]**



- ❑ Byggs år 1811 i Wakefield nära Leeds.
- ❑ Patent år 1824.
- ❑ Sonen William Aspdin vidareutvecklade faderns metoder
- ❑ För att bevara hemligheten av framställningsmetoden var fabriken omgiven av en sex meter hög mur.
- ❑ Det ryktades även att han ibland brukade kasta in kopparvitriol, järnvitriol mm i ugnen för att mystifiera tillverkningen.

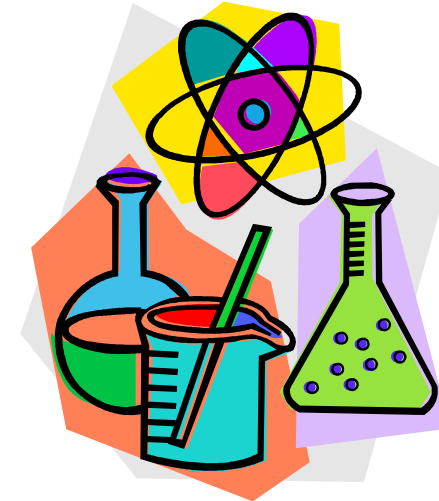
Portlandcementet patenterades

- ❑ Johnson patenterade sitt snabbhårdnande cement år 1844
- ❑ Därmed hade det moderna Portlandscementet skapats!

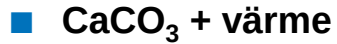


Lite kemiska beteckningar

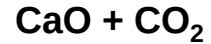
Kalcium	=	Ca
Kisel	=	Si
Aluminium	=	Al
Järn	=	Fe
Magnesium	=	Mg
Syre	=	O
Kol	=	C
Väte	=	H
Natrium	=	Na
Kalium	=	K
Svavel	=	S
Klor	=	Cl



Kalk – bränning, släckning, karbonatisering



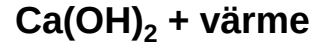
kalksten/kalcit



bränd kalk + koldioxid



bränd kalk + vatten



släckt kalk



släckt kalk + koldioxid



kalksten



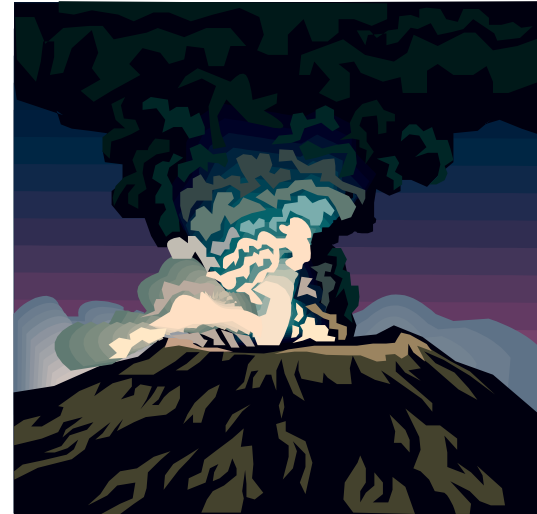
Hydraulisk kalk

- "Oren kalksten" som bränns vid 1000 – 1200°C. Innehåll av lera, kvarts etc.
- *Kalciumsilikater* bildas
- Reagerar med vatten och bildar *kalciumsilikathydrat*



Puzzolankalk

- Släckt kalk + Puzzolan
- Naturliga: lera med vulkaniskt glas, (Puteolanumlera) kiselgur eller trass
- Konstgjorda: finmalt tegelmjöl, silica
- Tillsammans med vatten bildas *kalciumsilikathydrat*



Portlandcement

- Kalksten (CaCO_3) + Lera $\xrightarrow{1450^\circ\text{C}}$ klinker

CaO SiO_2 , Al_2O_3 och Fe_2O_3 kalciumsilikater, aluminater och ferriter
- Klinkern mals tillsammans med gips **Portlandcement**
- Reagerar med vatten och bildar
kalciumsilikathydrat
bindemedel

Vad vill vi ha?

- ❑ Ett bindemedel som hårdnar genom en reaktion med vatten till en produkt som är beständig mot vatten. Ett hydrauliskt bindemedel
- ❑ Rätt typ av kalciumsilikat som reagerar med vatten och bildar ett beständigt "lim" av *kalciumsilikathydrat*



Hur får vi det?

■ Rätt råmaterial

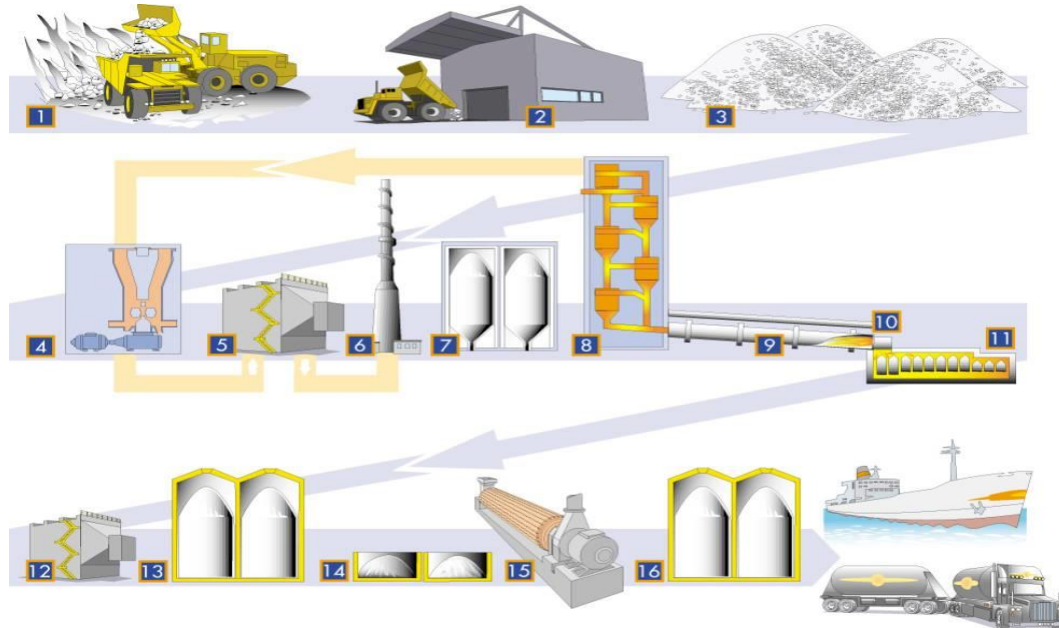
■ kalksten, mägersten, sand

■ Klinkertillverkning

■ bränning i ugn, kylning

■ Cementmalning

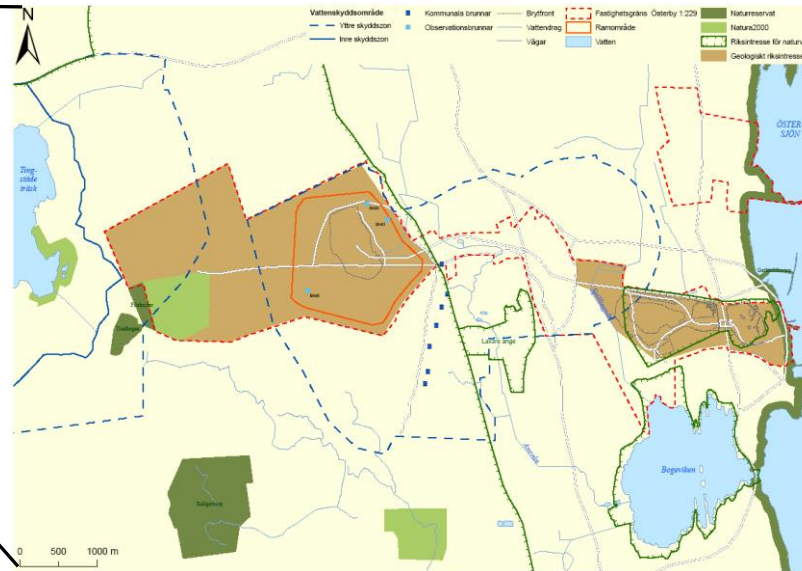
■ klinker och gips



Hur ser det ut på Gotland?

Tre huvudsakliga bergarter:

- Kalksten – relativt ren Ca
- Märgelsten – kalksten med lera, Ca, Si, Al och Fe
- (Sand- och slamstenar – endast södra Gotland)



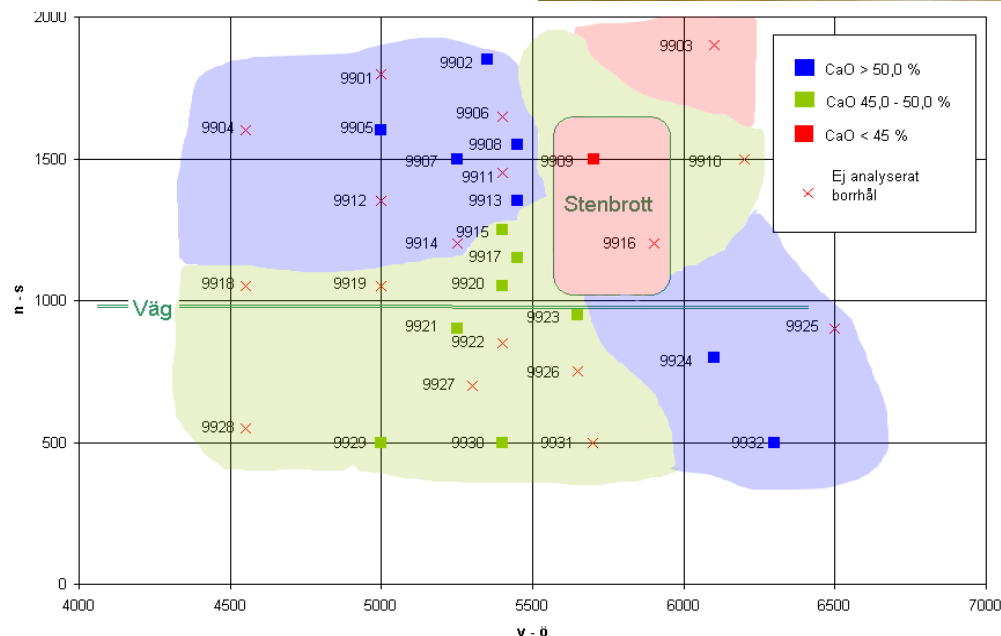
Situationsöversikt
– File Hajdar och
Västra Brottet

Täktplanering

- Prospekteringsborrning
- Geologisk kartering
- Kemisk analys
- Statistisk bearbetning
- Geokemisk modell

Varför?

- Homogent material till ugnen
- Låga brytningskostnader
- Lång livstid för dagbrottet



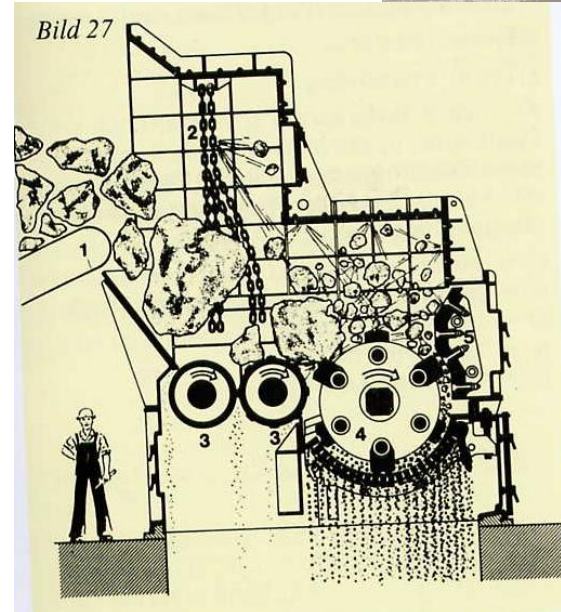
Brytning av sten

- ❑ Till höger visas produktionsborrning på File Hajdar där 20 – 50 m ö h bryts
- ❑ Nedan syns en sprängning då borrhålen fyllts med flytande sprängmedel.



Transport till krossen

- 13800 ton sten från Västra brottet krossas per vecka.
- 17200 ton sten från File Hajdar krossas per vecka.



Brytning av kalksten

- Märgelsten i Västra brottet (t.h.)
Övre pallen 0 – 26 m under havsytan
- I Skövde bryts kalkstenen i tre nivåer med olika kvalitet (nedan)



Krats och utläggare i stenlagret

Kalk och mägellimpor

Kalksten från Filehajdar

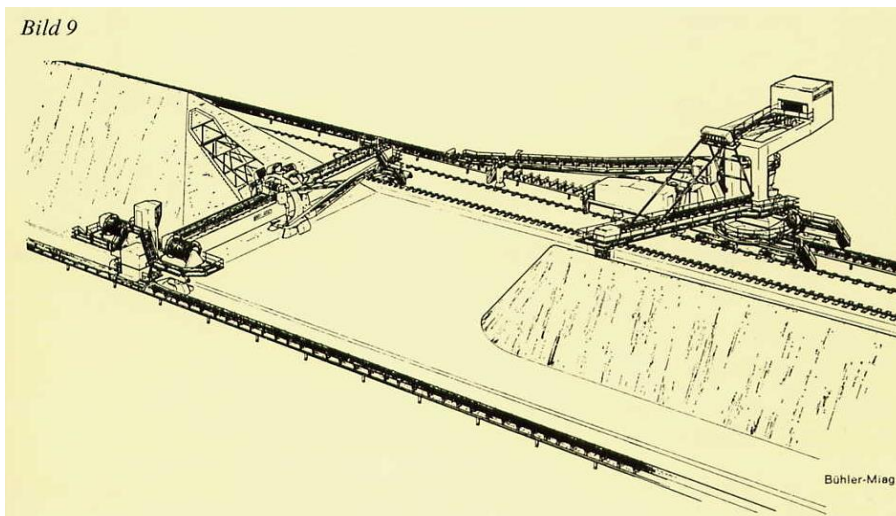
☐ Relativ ren kalk

Märgelsten från Västra Brottet

☐ Kalksten med lera



Bild 9



Kalkstensråvara

Täkt	Slite		Skövde	
Element	Kalksten	Märgel-sten	Högsten	Lågsten
CaO	51,3	44,0	47,6	42,6
SiO ₂	4,2	12,7	8,2	12,0
Al ₂ O ₃	1,5	3,1	2,7	4,1
Fe ₂ O ₃	0,7	1,5	1,4	2,3
MgO	0,9	2,4	0,7	0,7
K ₂ O	0,4	0,9	0,6	1,0
Na ₂ O	0,06	0,18	0,03	0,04
SO ₃	0,7	1,2	0,6	0,07
Na ₂ O-ekv	0,34	0,80	0,45	0,71
Glödförlust	40,0	35,2	38,8	35,8

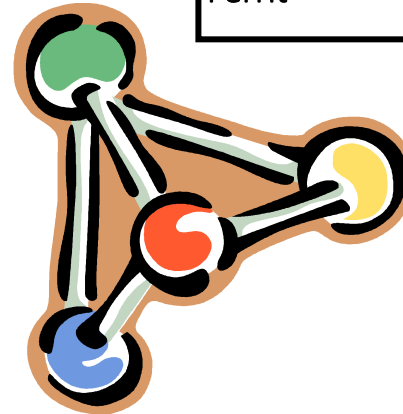
Rätt blandning av klinkermineral

Beror på vad vi vill ha för cement

- ☐ Alit ger snabbare hållfasthetstillväxt och hög sluthållfasthet
- ☐ Belit ger långsammare hållfasthetstillväxt
- ☐ Låg andel Aluminat ger ett sulfatresistent cement
- ☐ Hög andel Ferrit ger ett mörkt cement
- ☐ Hög andel Alit ger ett ljust cement
- ☐ Alit ger högre värmeutveckling än Belit
- ☐ Aluminat har högst värmeutveckling

Klinkermineral:

Alit -	C_3S	(Ca_3SiO_5)
Belit -	C_2S	(Ca_2SiO_4)
Aluminat -	C_3A	$(Ca_3Al_2O_6)$
Ferrit -	C_4AF	$(Ca_4A_2Fe_2O_{10})$



Viktiga styrparametrar för råmjöl - Moduler

Kalkmättnad (KM) =

$$\frac{C}{S+A+F} = \frac{100 \cdot \text{CaO}}{2,8 \text{ SiO}_2 + 1,18 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \text{ Fe}_2\text{O}_3}$$

Ett teoretiskt mått på hur mycket CaO som kan bindas till de övriga elementen

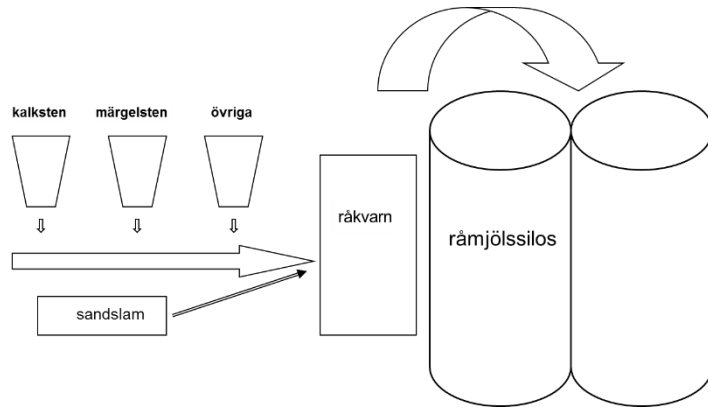
Viktiga styrparametrar för råmjöl

Moduler – silikat respektive aluminat

$$\text{Silikatmodul (SM)} = \frac{\text{SiO}_2}{(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

$$\text{Aluminatmodul (AM)} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Råmjölsmalning

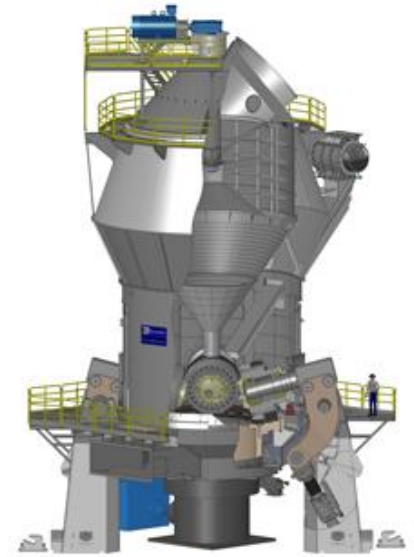
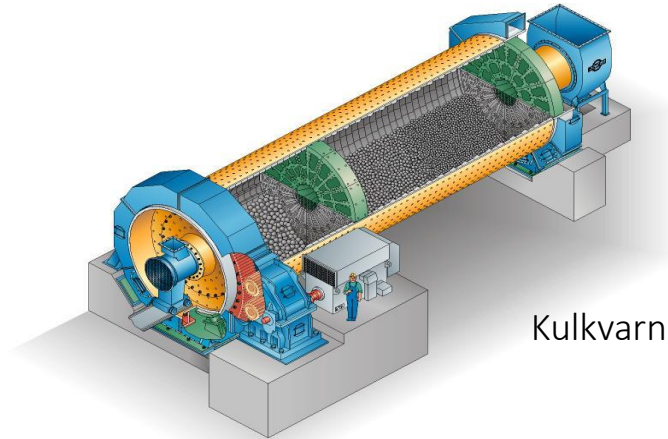


Råmaterial

- ☐ Kalksten & märgelsten
- ☐ Sand, från t ex Bornholm, kisel
- ☐ Järnmalm
- ☐ Bauxit – aluminium och järn
- ☐ Slagg – olika typer: aluminium, järn, kisel
- ☐ Flygaska, aluminium och kisel

Styrning

- ☐ Rätt kemi
- ☐ Lagom finhet



Valskvarn

Kulkvarn

Bränning



- ☐ Råmjöl : kalksten + märgelsten + sandslam + övriga råmaterial
- ☐ Förvärmning : ugnsmjöl 50 800°C
- ☐ Kalcinering : hetmjöl 800 1000°C
- ☐ Bränning : sintring, fastfas och smältfas 1450°C
- ☐ Kylning : klinker, snabb kylning låser fast C3S

Klinkermineralbildning

□ C₃S – Alit

Bildas genom en förening av CaO och SiO₂ vid drygt 2000°C - Mycket CaO kan ge höga C3S-halter

□ C₂S – Belit

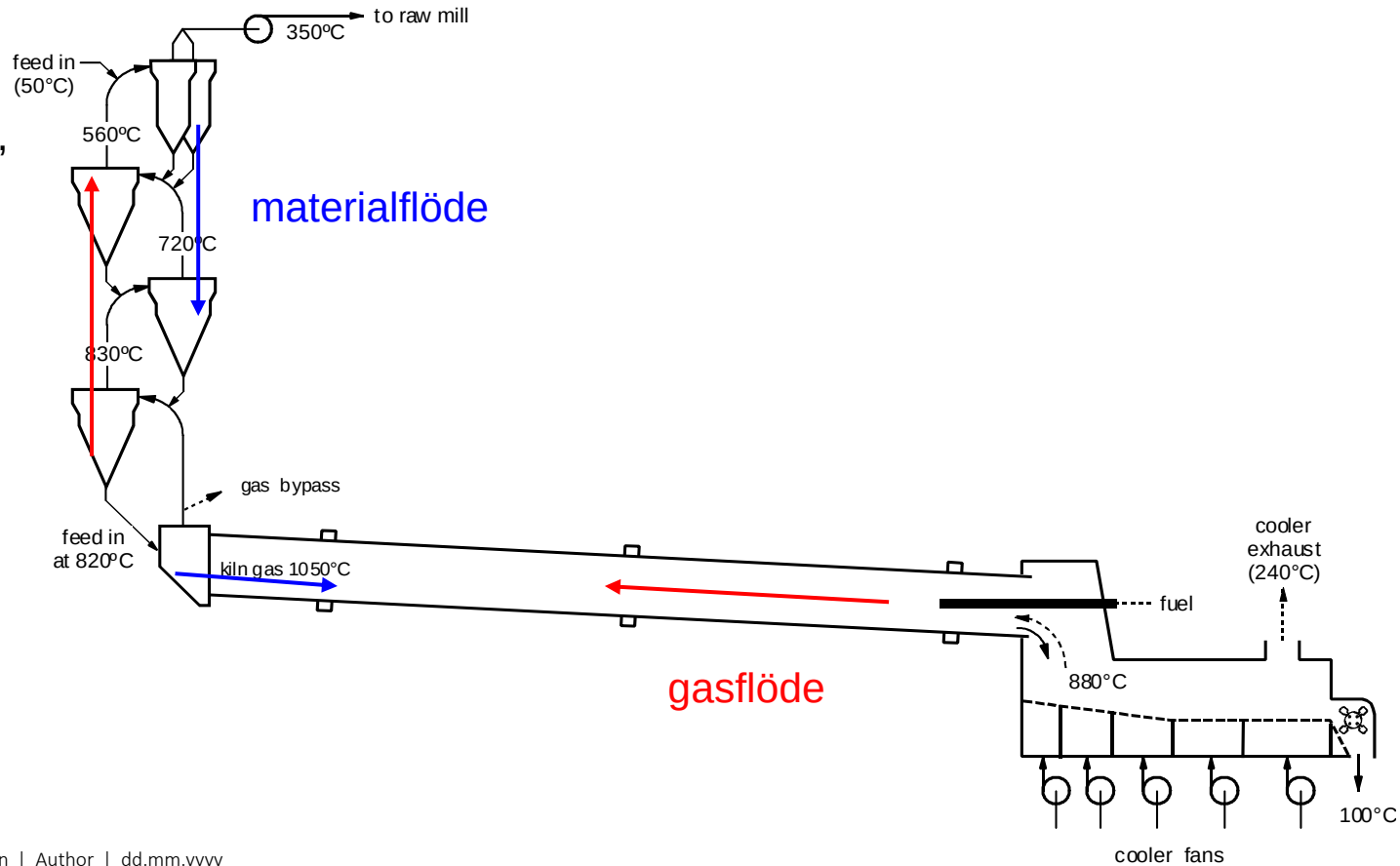
Bildas på motsvarande sätt vid något lägre temperatur
- Mindre CaO ger mer belit

Båda mineralen ovan kan bildas vid lägre temperatur, ca. 1450°C om Al₂O₃ samt Fe₂O₃ förekommer som smälta vilket ger:

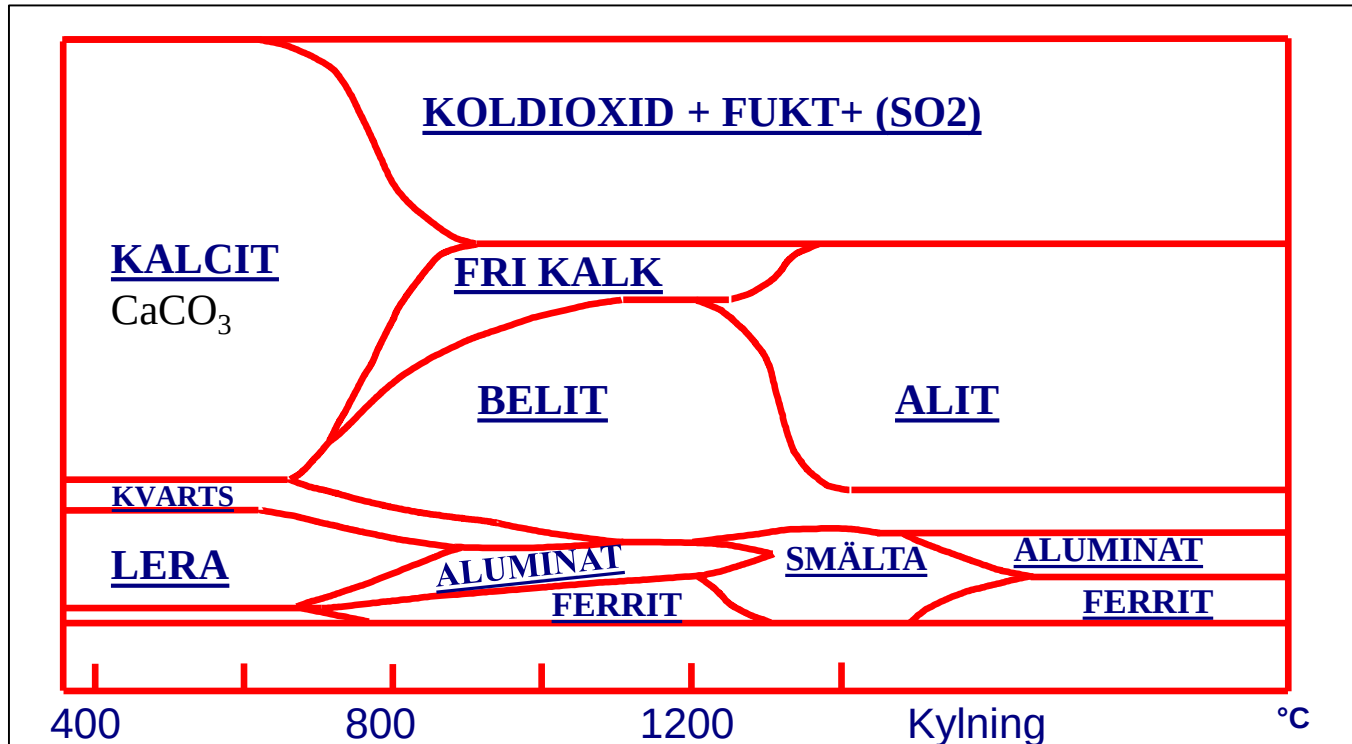
—————→ C₃A samt C₄AF som biprodukt

Ugnprocess

Förvärmning,
ugnsmjöl



Mineralens bildning i brännprocessen



Bränslen

	Fördelar	Nackdelar
Kol	Lättillgängligt (Lågt Svavelinnehåll)	Förhållandevis dyrt
Petcoke	Förhållandevis billigt Högt värmevärde	Högt Svavelinnehåll
Plastbränsle	Billigt Högt värmevärde	Svårdoserat Problem med klorid ibland
RDF - pellets	Billigt	Ojämn kvalitet, klorid, fukt
Gummidäck	Förhållandevis billigt	Svårt och dyrt att hantera
Olja (konverterad)	Högt värmevärde	Dyrt
Kött & benmjöl		Begränsad dosering pga. fosfor
AC-bränsle	Billigt, Bra destruktion	Ohälsosamt/Svårhanterligt

Energiinnehåll

Bränslen	Riktvärde (kcal/kg)
Kol	6200
Petcoke	7900
Plastbränsle	8600
RDF - pellets	3500 - 5000
Gummidäck	(ca 7200)
Olja (konverterad)	9000
Kött & benmjöl	4000
AC-bränsle	5000

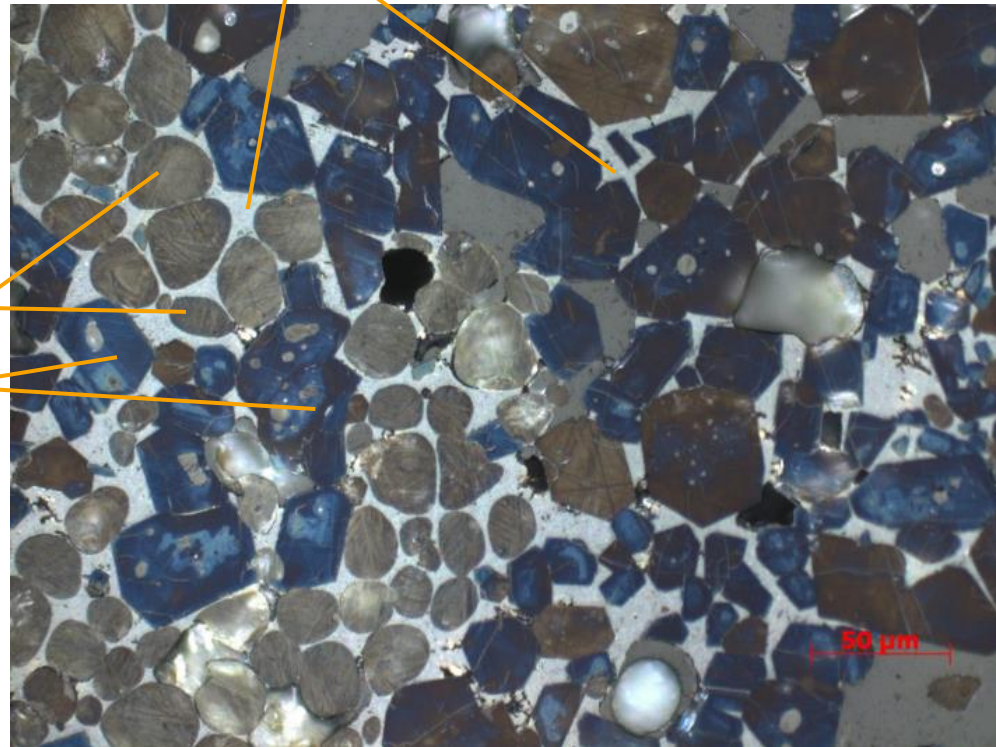
Klinkermineralbildning

- ☐ Bränning - uppslutning
- ☐ Uppehållstid
- ☐ Tid vid max temp
- ☐ Max temp (teoretisk: 1450°C)
- ☐ För-kylning
- ☐ Kylning

Smältfas som består av Aluminat och Ferrit

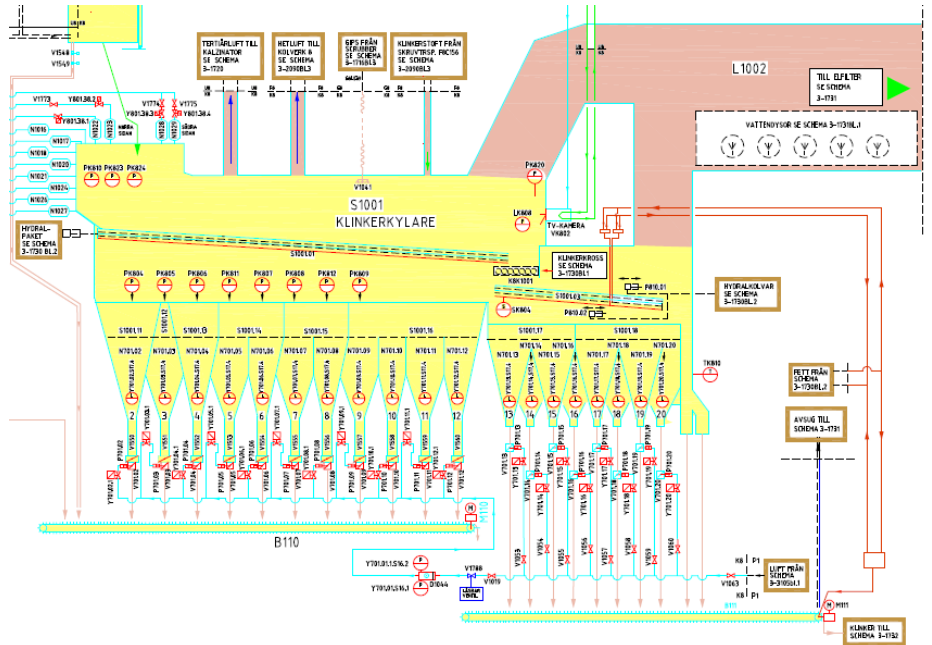
Belitkristaller

Alitkristaller



Klinkerkylare

- ❑ Kylning/frysning av smältfasen
- ❑ Sekundärluft till ugnen (kyler C3S och C2S)
- ❑ Tertiärluft till kalcinatorn



Från råmaterial till mellanprodukt (klinker)

