

# 4 Mørtel og cement - byggeriets grundpille

For 100 millioner år siden var dette havbund.

I dag udnytter vi de aflejringer, som blev dannet dengang.



## Vi udnytter undergrunden

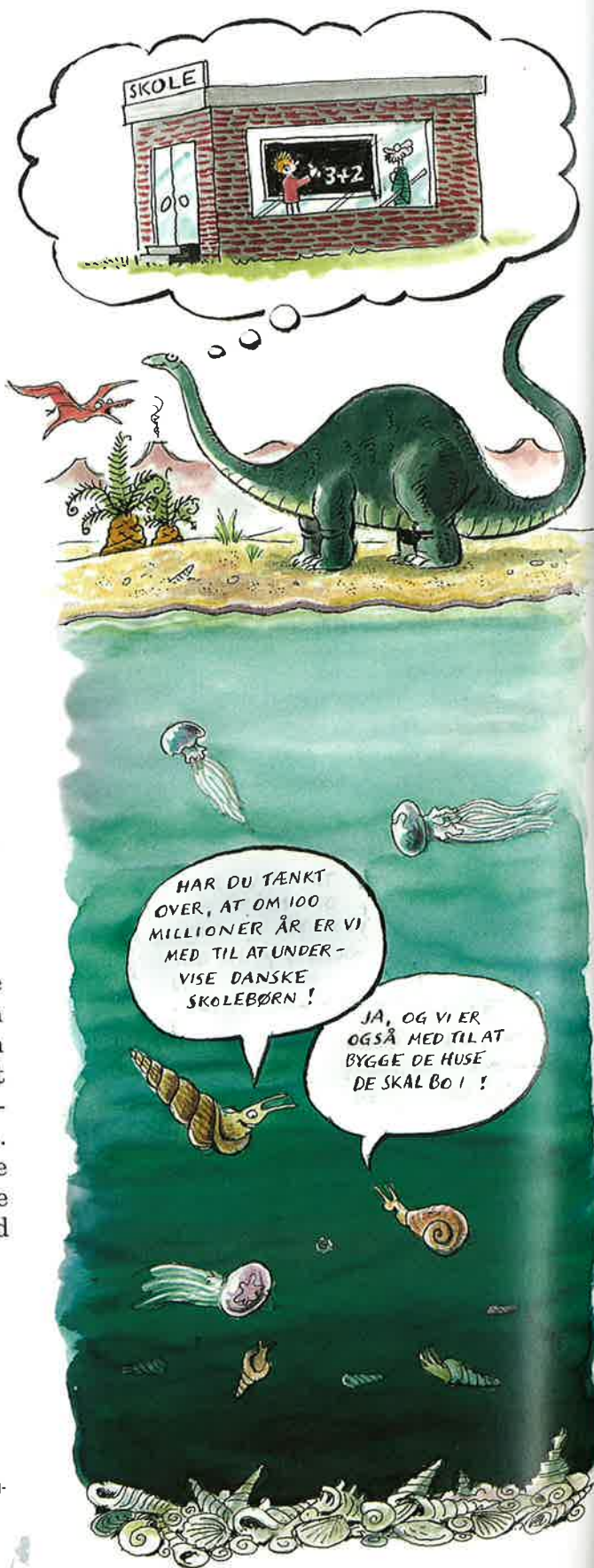
Danmark er fattigt på råstoffer, vi har for eksempel ingen steder, hvor det kan betale sig at udvinde metaller. Der er dog ét råstof, som vi har rigeligt af i undergrunden – nemlig kalk. Der er flere former for kalk, blandt andet kridt.

Under det meste af Danmark ligger der et flere hundrede meter tykt lag kridt. Det blev dannet for ca. 100 millioner år siden i den varme periode, vi kalder kridttiden. Dengang var Danmark og en stor del af Europa dækket af et hav, som var det ideelle levested for mange forskellige koraller og skaldyr. De udnyttede den kalk, der var opløst i havvandet, til at opbygge kalkskal-ler og kalkskeletter. Når dyrene døde, sank de til bunds, og på denne måde hobe de sig kalkholdige rester op på havbunden, så der til sidst blev dannet et sammenpresset lag på op til 1 kilometers tykkelse.

Siden har landet hævet sig, så havet er forsvundet, og flere istider har rodet op i overfladen. Man ved, at disse lag engang har været havbund, for vi finder mange forstenede søpindsvin og andre havdyr i kridt- og kalklagene.

De fleste steder i Danmark ligger det faste kridt i en dybde af ca. 200 meter. Men nogle steder kommer det helt eller næsten helt op til overfladen. Disse steder kan det betale sig at udvinde det. Kridtet kan anvendes til fremstilling af mørtel og cement. Men det kan også bruges til mange andre formål. Vidste du for eksempel, at lærerne i mere end 80 lande skriver på tavlen med dansk kridt?

For ca. 100 millioner år siden var Danmark og en del af Nordeuropa dækket af et lavvandet subtropisk hav. Her levede de dyr, hvis rester vi i dag skriver på tavlen med.



## Hvad består kridt af?

Du har tidligere lært, at man kan fremstille luftarten kuldioxid  $\text{CO}_2$  ved at opløse kalk  $\text{CaCO}_3$  i saltsyre  $\text{HCl}$ . Kridt er en form for kalk, som reagerer kraftigt med saltsyre. Det kan vi vise ved et forsøg.

**FÆLLESFORSØG**

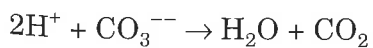
### Vi undersøger kridt

Vi hælder lidt fortyndet saltsyre i et reagensglas og tilsætter et halvt stykke tavlekridt. (NB. Tavlekridtet må ikke være lavet af gips. Se lærervejledningen.) Vi ser, at der fremkommer så kraftig en luftudvikling, at der dannes skum, som måske løber ovenud af glasset.

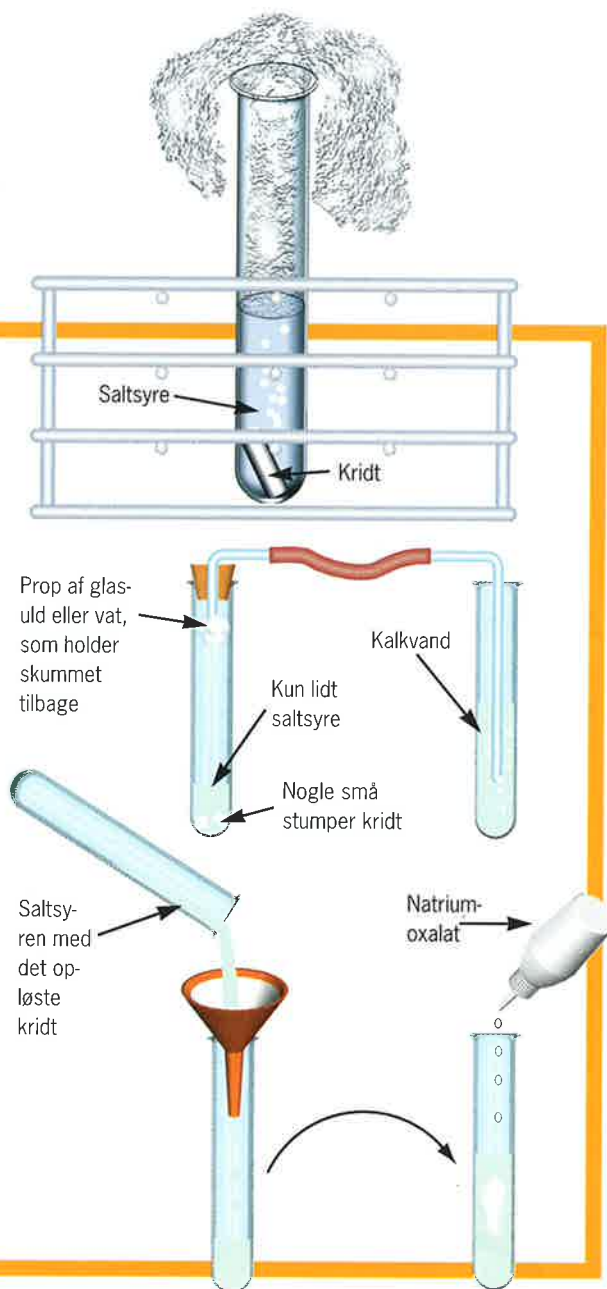
For at vise, at den dannede luftart er kuldioxid, gentager vi processen med den opstilling, som er angivet på tegningen. Vi ser da, at der dannes et bundfald i kalkvandet. Dette viser, som du tidligere har lært, at den udviklede luftart er kuldioxid  $\text{CO}_2$ .

Saltsyren med det opløste kridt filtreres nu ned i et rent reagensglas. Derefter tilsætter vi 5-6 dråber natriumoxalat-opløsning  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  (0,25M). Straks dannes der et kraftigt bundfald. Det viser, at opløsningen indeholder calcium-ioner  $\text{Ca}^{++}$ .

Rent kalk  $\text{CaCO}_3$  er en kemisk forbindelse af positive calcium-ioner  $\text{Ca}^{++}$  og negative carbonat-ioner  $\text{CO}_3^{--}$ . Det kemiske navn er calciumcarbonat. Når kridtet afgiver  $\text{CO}_2$  ved tilsætning af saltsyre, skyldes det, at hydrogen-ionerne  $\text{H}^+$  i syren reagerer med carbonat-ionerne  $\text{CO}_3^{--}$  i kridtet:



Denne reaktion kan man derfor bruge som en prøve, hvis man vil undersøge, om et stof indeholder carbonat-ioner.



**Carbonat-prøven**  
Hvis et stof ved tilsætning af saltsyre  $\text{HCl}$  afgiver kuldioxid  $\text{CO}_2$ , indeholder stoffet carbonat-ioner  $\text{CO}_3^{--}$

Når der ved tilsætning af natrium-oxalat  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  blev dannet bundfald, skyldes det derimod kridtets indhold af calcium-ioner  $\text{Ca}^{++}$ , idet natrium-oxalat altid vil danne bundfald med eventuelle calcium-ioner.



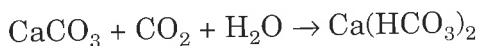
Denne reaktion kan man derfor bruge som en prøve, hvis man vil undersøge, om et stof indeholder calcium-ioner.

**Calcium-prøven**  
Hvis der i en opløsning dannes bundfald ved tilsætning af natrium-oxalat  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , indeholder opløsningen calcium-ioner  $\text{Ca}^{++}$

Foruden calciumcarbonat indeholder kridt små urenheder af andre stoffer, som i forsøget var årsag til, at den udviklede kuldioxid dannede skum.

### Når kalk opløses i vand

Normalt er  $\text{CaCO}_3$  tungtopløseligt i vand. Ved  $20^\circ\text{C}$  kan der kun opløses 0,07 g  $\text{CaCO}_3$  pr. liter vand. Men hvis vandet samtidig optager kuldioxid  $\text{CO}_2$  (f.eks. fra luften), kan der opløses endnu mere kalk, idet der da dannes calcium-hydrogen-carbonat  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ :



At kalk kan opløses ved  $\text{CO}_2$ -optagelse, kan vi vise ved et forsøg. Vi bruger det bundfald af kalk  $\text{CaCO}_3$ , der fremkommer, når  $\text{CO}_2$  ledes ned gennem kalkvand.



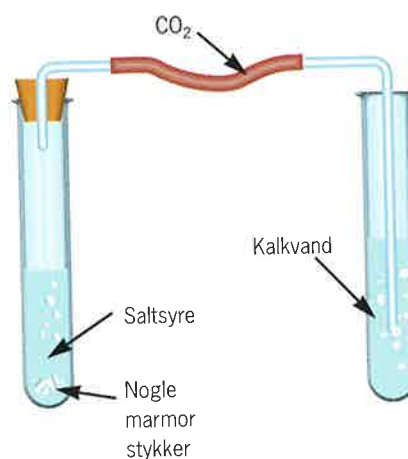
En stor del af luftens  $\text{CO}_2$  opløses i havene. Derfor er havvandet i stand til at opløse enorme mængder kalk.

**FÆLLESFORSØG**

### Opløsning af kalk

Vi fremstiller kuldioxid  $\text{CO}_2$  ved at lægge nogle marmorstykker i fortyndet saltsyre. Den dannede kuldioxid ledes ned i et reagensglas med kalkvand. Vi ser, at der hurtigt dannes et kraftigt bundfald af  $\text{CaCO}_3$  i kalkvandet.

Hvis vi nu fortsætter med at lede kuldioxid gennem kalkvandet, ser vi, at bundfaldet opløses igen, når der kommer tilstrækkeligt med  $\text{CO}_2$  ned i vandet.



Have, søer og floder kan optage en hel del  $\text{CO}_2$  fra luften. Derfor er der her opløst enorme mængder  $\text{CaCO}_3$ . Som vi har set, var det blandt andet baggrunden for, at der kunne leve så mange kalkdyr i kridttidens hav, at vi i dag kan nyde godt af kalkaflejringerne.

Ved Fakse i Sydsjælland har der været gravet kalk siden 1100-tallet. Den første kunde, man kender til, som modtog kalksten fra Fakseegnen er Biskop Absalon, Københavns grundlægger. Han købte i 1167 et parti kalksten, hvoraf en del stadig kan ses i ruinerne under Christiansborg Slot, hvor Folketinget holder til. I dag er firmaet Faxe Kalk Danmarks største producent af kalkprodukter. Firmaet er en del af Danmarks største industrisammenslutning, FLS Industries, der har 14000 ansatte over hele verden og en årlig omsætning på 15 milliarder kr.

## Er det kalksten?

Hvis du går en tur langs stranden eller i en grusgrav, kan du finde mange hvide sten, som måske kan være kalksten. Du kan også finde andre ting, som måske indeholder kalk, f.eks. muslingeskaller, sneglehuse, krabbeskjold og fiskeskeletter.

Fra husholdningen kan du også få fat i forskellige ting, som måske indeholder kalk, f.eks. æggeskaller, hønseknogler, bagepulver, osv.



## Laboratorieopgave 8

### Indeholder det kalk?

I denne laboratorieopgave skal I undersøge, om nogle forskellige hvide sten, som I måske selv har indsamlet, er kalksten eller ej.

Og I skal undersøge, om forskellige andre stoffer som muslingeskaller, hønseknogler, bagepulver, osv. indeholder kalk. For at gøre det får I brug for både carbonat- og calcium-prøven.







Der bruges meget kalk som fyldstoffer. For eksempel kan det meget rene kridt fra Fakse blandes i papirmasse, så det færdige papir får en flot hvid overflade. Kalken blandes også i plastic, der bl.a. bruges til el-kabler og plasticrør, og kalk fyldes i maling og i gummi. Et fint kalkpulver i tandpasta giver en let slibende virkning, så tænderne renses. Til fremstilling af glas bruges der også kalk. Og på sukkerfabrikkerne renses urenheder fra sukkeropløsningen ved hjælp af kalk.

I laboratorieopgave 8 så I, at der er nogle stoffer, som indeholder  $\text{Ca}^{++}$ -ioner, men ikke  $\text{CO}_3^{--}$ -ioner. Andre indeholder  $\text{CO}_3^{--}$ -

ioner, men ikke  $\text{Ca}^{++}$ -ioner. Kun hvis begge ioner er til stede, kan der være tale om kalk.

Kalk bruges mange steder. I industrien til sættes der således kalk til mange dagligdags produkter som f.eks. papir, maling og plastic. Undersøgelser har vist, at kalk og kridt anvendes til mere end 7000 forskellige formål. Men hovedparten af den kalk, vi herhjemme graver op af jorden, anvendes inden for bygge- og anlægsbranchen.

### Kalkbrænding og mørtelfremstilling

I oldtidens kulturlande kendte man længe før Kristi fødsel til at grave kalk op af jorden, brænde det og fremstille byggematerialet mørtel. Kalkbrænding er faktisk en af verdens ældste kemiske industrier. Vi vil nu selv prøve at brænde lidt kalk.

I nogle af de store pyramider i Ægypten kan man finde mørtel mellem stenene. Det vidner om, at fremstilling af mørtel ud fra kalk har været kendt i tusinder af år.



## FÆLLESFORSØG

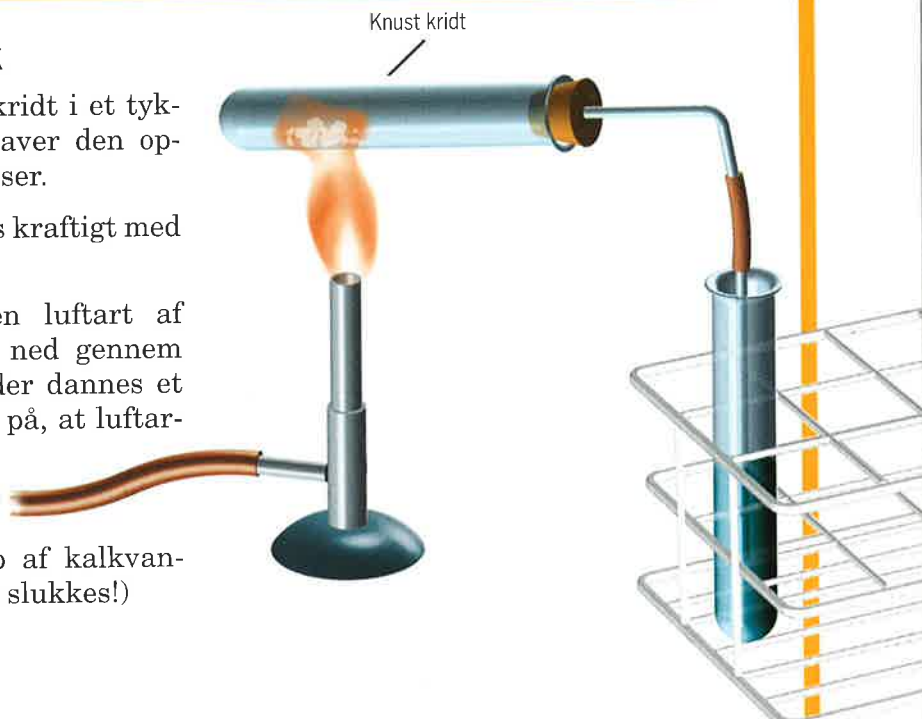
### Vi brænder kalk

Vi anbringer lidt knust kridt i et tyk-vægget reagensglas og laver den opstilling, som tegningen viser.

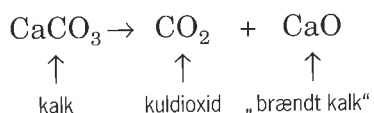
Kridtstykkerne opvarmes kraftigt med en gasbrænder.

Der uddrives derved en luftart af kridtet. Luftarten ledes ned gennem lidt kalkvand, hvorved der dannes et hvidt bundfald som tegn på, at luftarten er kuldioxid  $\text{CO}_2$ .

(NB. Glasrøret løftes op af kalkvandet, inden gasbrænderen slukkes!)



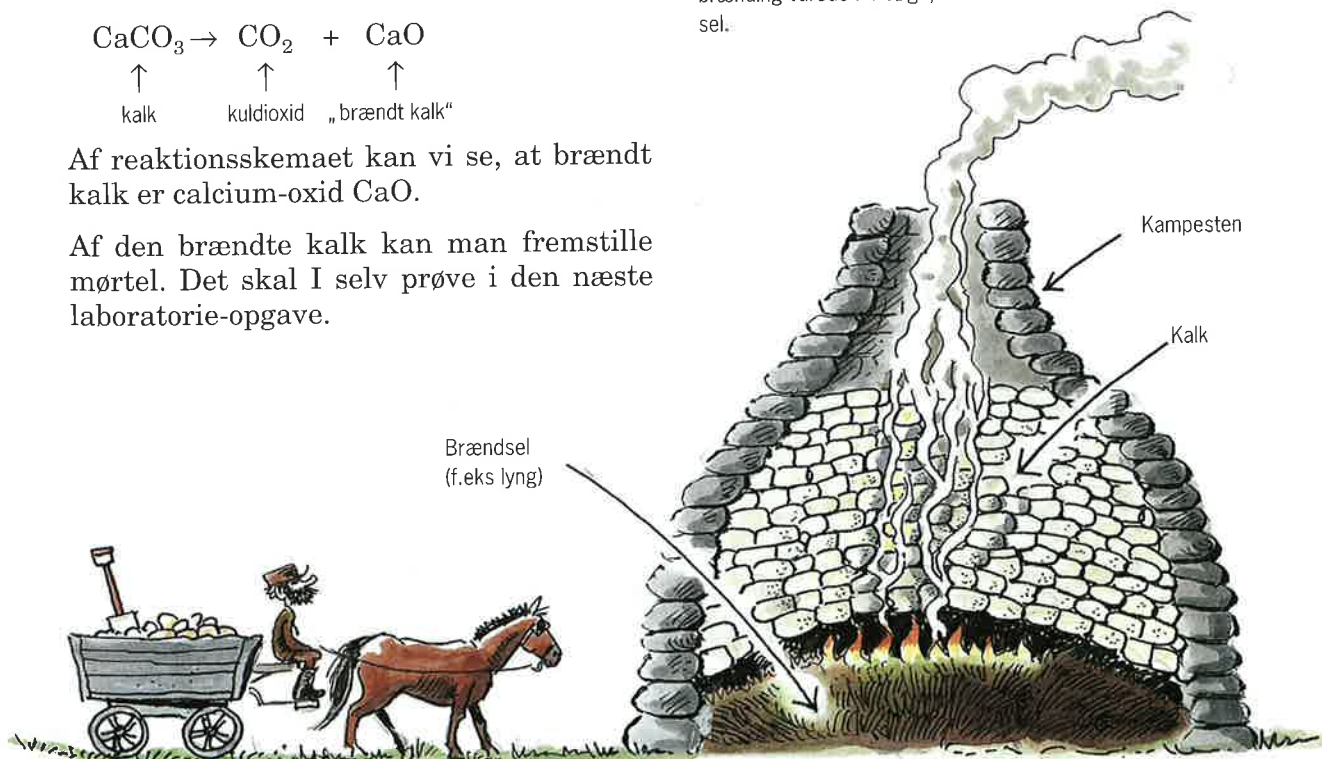
Når kuldioxid uddrives af kalk, bliver der et stof tilbage, som man kalder „brændt kalk“. Den kemiske proces, der foregår ved kalkbrænding, kan vi skrive således:



Af reaktionsskemaet kan vi se, at brændt kalk er calcium-oxid  $\text{CaO}$ .

Af den brændte kalk kan man fremstille mørtel. Det skal I selv prøve i den næste laboratorie-opgave.

I Danmark har man brændt kalk siden år 1100, da det blev almindeligt at opføre huse af sten. De første kalkovne blev bygget af kampesten. Kalkstykkerne blev stablet oven på hinanden inde i ovnen, så der blev en hvælving under kalken til ildstedet. En kalkbrænding varede i 4 døgn, hvor der uafbrudt blev tilført brændsel.





## Laboratorieopgave 9

Vi brænder kalk og laver mørtel

I denne laboratorieopgave skal I selv prøve at omdanne et stykke kridt til brændt kalk og lave lidt mørtel ud af det.

Det kan for eksempel bruges til at mure to stumper mursten sammen.



### Kalkbrænding i vore dage

I dag foregår kalkbrænding i en moderne rotér-ovn. Det er en meget lang rørformet ovn, der er anbragt lidt skråt. Ovnens kan være over 100 meter lang og flere meter bred. Den rotéerer langsomt om sin egen akse.

Den knuste kalk hældes ind i ovnens øverste ende. I den nederste ende sendes en flamme ind i ovnen. Efterhånden som ovnen drejer rundt, glider materialet langsomt ned mod den nederste, varmeste ende.

Under rutsjeturen fordamper først det vand, der er fulgt med kalken. Længere

nede i ovnen, hvor kalken er opvarmet til næsten 900 grader, afgiver den luftarten kuldioxid  $\text{CO}_2$ .

Den brændte kalk  $\text{CaO}$  kan så tappes ud af ovnens nederste ende, uden at man behøver at slukke ovnen.

Et af de vigtigste anvendelsesområder for den brændte kalk har i mange år været fremstilling af kalkmørtel til byggeriet – efter samme metode som den, I brugte i laboratorieopgave 9.

Den store rotér-ovn i Faxe, bygget i 1968. Ovnens er 76 meter lang og har en diameter på 3,3 meter. Den kan producere 285 tons brændt kalk i døgnet.

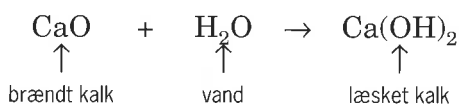




## Fremstilling af mørtel

Når man fremstiller mørtel af brændt kalk, skal den brændte kalk „læskes“, dvs. blandes med vand. Det gjorde I selv i laboratorie-opgave 9.

I påviste, at den læskede kalk var en base, nemlig calciumhydroxid  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . I mærkede måske også, at der blev udviklet varme under læskningen. Den kemiske proces, der foregår, når brændt kalk læskes, kan vi skrive således:



På byggepladsen laves mørtel i en blande-maskine. Her blandes den brændte kalk med sand og vand, til man får en grød, der er nem at arbejde med. Blandingen kaldes kalkmørtel. Sandet i mørtelen er bare et fyldstof, som ikke deltager i de kemiske processer.

Mureren lægger mørtel mellem murstene- ne for at holde dem sammen, og han pudser også lofter og vægge med mørtel, så de får en pæn overflade.



Mørtelen størkner mellem murstenene, på væggene og i loftet ved at optage kuldioxid fra luften, så den læskede kalk efterhånden omdannes til fast kalk  $\text{CaCO}_3$ .

Det samme sker med den mørtel, som I selv brugte i laboratorieopgave 9 til at holde to stumper mursten sammen. Efter et par uger vil I se, at de to stykker mursten hænger sammen. Men der går normalt et par måneder, før kalkmørtel er helt hærdet.



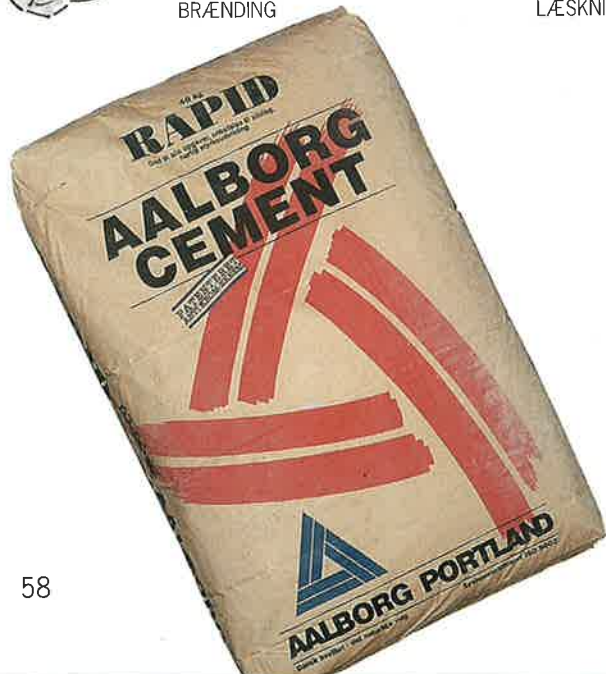
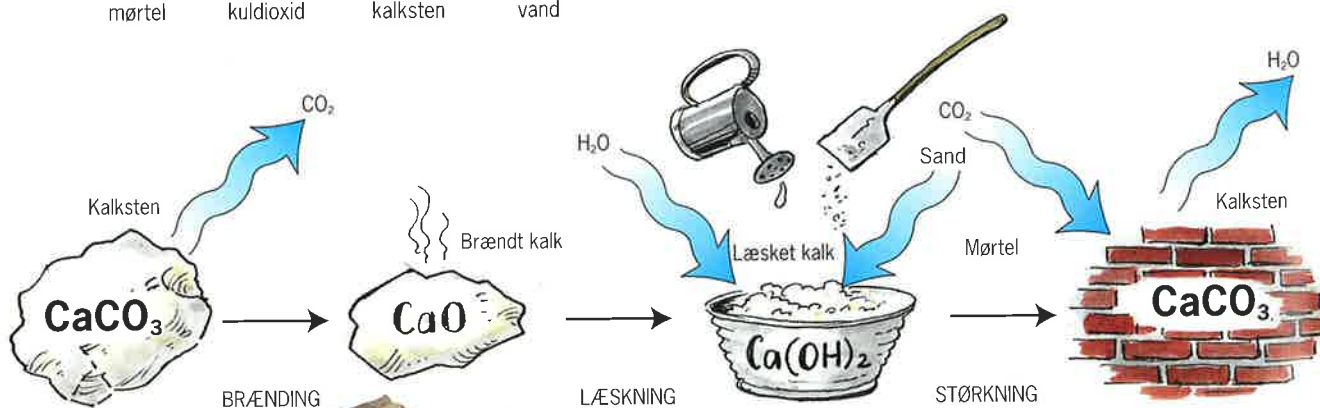
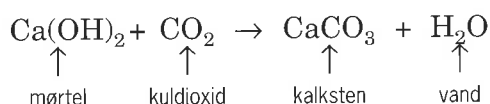
## Når mørtel størkner

De kemiske processer, der foregår under størkningen af mørtel, er de modsatte af dem, der foregår under brændingen og læskningen.

Under brændingen afgav kalken kuldioxid  $\text{CO}_2$ , mens der under størkningen optages kuldioxid fra luften. Under læskningen blev der tilført vand  $\text{H}_2\text{O}$ , mens der under størkningen afgives vanddamp til omgivelserne.

Man ender derfor med at have næsten det samme produkt, som det hele startede med, nemlig hård kalksten, som nu blot sidder mellem murstenene og holder dem sammen.

Denne størkningsproces kan vi skrive således:



Grunden til, at nye murstenshuse ofte er fugtige i lang tid efter opførelsen, er netop, at mørtelen under størkningen langsomt afgiver vand.

En effektiv størkning kræver altså god ventilation, så der både er adgang til den smule  $\text{CO}_2$ , der er i luften, samt mulighed for at slippe af med vanddampen. I gamle fæstningsmure, som ofte er flere meter tykke, kan man selv efter 100 års forløb stadig dybt inde i muren finde mørtel, som ikke er helt størknet.

De kemiske processer, der foregår, når kalk brændes, læskes og størkner, kan vi tegne på en forenklet måde, som nedenstående tegning viser.

## Cement – en kunstig sten

Cement er et langt hårdere og stærkere bindemiddel end kalkmørtel. Blander man cement med sten, sand og vand, får man beton, der bliver lige så hård som sten, når cementen størkner. For at størkne behøver cement ikke  $\text{CO}_2$  fra luften og er endda i stand til at størkne under vand.

Rapid-cement er en hurtigt-tørrende cement, som er velegnet til at lave forsøg med i skolen.

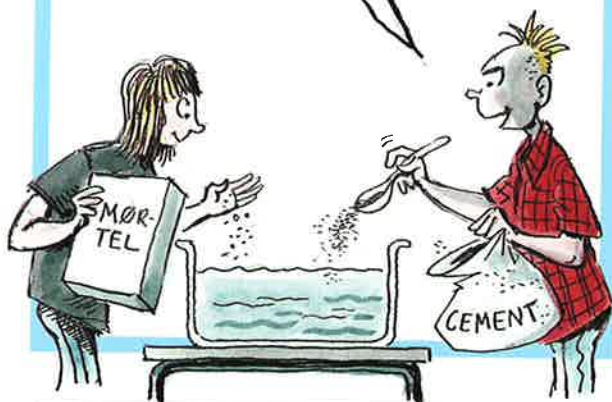


## Laboratorieopgave 10

Vi bruger mørtel og cement

I denne laboratorieopgave skal I selv prøve at støbe både med lidt mørtel og med lidt cement.

LAD OS PRØVE, OM VI  
KAN STØBE UNDER  
VAND!



## Cement i gamle dage

Ordet cement kommer af det latinske ord *cementum*, der betyder „hugget sten“. Cementlignende produkter var nemlig allerede kendt for over 2000 år siden i det gamle romerske rige, og dette kendskab satte den romerske verdensmagt i stand til at opføre imponerende bygningsværker.

Man havde opdaget, at når brændt kalk blev blandet med vulkansk aske, f.eks. fra vulkanen Vesuv, gav det et langt stærkere byggemateriale end almindelig mørtel. Man kaldte det „roman-cement“. Store bygningsværker blev opført af beton lavet med roman-cement, f.eks. kilometerlange akvædukter, som førte frisk vand ind til byerne, eller Pantheon-templet, som er den bedst bevarede oldtidsbygning i Rom med et 43 meter bredt kuppeltag støbt af roman-cement.

Pantheon-templet i Rom blev bygget af kejser Hadrian i år 123 e.Kr. Kuppeltaget, som er verdens største stentag, er støbt af roman-cement og vidner om, at romerne var i besiddelse af en fremragende støbeteknik.



## Cement blev glemt i 1400 år

Med romerrigets fald og folkevandringstidens begyndelse omkring år 400 e. Kr. gik anvendelsen af cement i glemmebogen.

Kendskabet til cement dukkede først op igen i England omkring år 1800, da en ingeniør skulle bygge et fyrtårn på en kyst, som var særlig udsat for vind og vejr. Ved forskellige eksperimenter opdagede han, at kalk blandet med ler ved brændingen gav en særlig stærk mørtel.

I 1824 startede en anden englænder cement-produktion ved at brænde en blanding af kridt og ler i forholdet 4:1 i en stor kubeformet ovn. Han kaldte cementen for portland-cement, fordi farven mindede om en bygningssten, som man fik fra øen Portland ud for Englands sydkyst.

Den første skakt-ovn til cementfremstilling. Den blev anvendt af portlandcements opfinder Joseph Aspdin i midten af 1800-tallet.



## Cement-produktion i Danmark

I slutningen af 1800-tallet blev der bygget flere cementfabrikker i Danmark, men i dag produceres al cement i Danmark på én stor fabrik ved Ålborg. Den hedder „Åalborg Portland“.

Cementen laves af stort set de samme råstoffer som den oprindelige portland-cement fra England. Men teknikken er blevet væsentlig forbedret.

En god cement består hovedsageligt af de 5 grundstoffer, der er mest af her på Jorden, nemlig oxygen O, silicium Si, aluminium Al, jern Fe og calcium Ca. Disse grundstoffer forekommer i kridt, sand og ler i form af følgende oxider:

silicium-oxid  $\text{SiO}_2$   
aluminium-oxid  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
jern-oxid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
calcium-oxid  $\text{CaO}$

## Den farlige flyveaske, som blev nyttig

Flyveaske er et affaldsprodukt fra de kul-fyrede el-værker. Det er den aske, der bliver tilbage, når kullene er brændt. Omkring 1970 fandt man ud af, at man i cement-fremstillingen kunne bruge flyveaske i stedet for ler. Flyveasken indeholder nemlig nogle af de samme stoffer som ler.

Ved at bruge flyveaske til cement hjalp man el-værkerne og samfundet af med et miljøproblem. Flyveaske kan nemlig ikke uden videre deponeres på en losseplads, da asken indeholder forskellige miljøfarlige stoffer, bl.a. tungmetaller. Men når de indgår i cement, gør de ingen skade. Og det er tilmed billigere for cementfabrikken at få flyveaske fra el-værkerne end at grave ler op.





Aalborg Portland cementfabrik.

## Cement-produktion på Aalborg Portland-fabrikken

En cementfabrik skal helst ligge tæt ved råmaterialerne kridt og sand. Det gør cementfabrikken Aalborg Portland, der ligger ved Limfjorden øst for Ålborg.

Kridtet findes i store mængder i undergrunden i Ålborg-området. Det ligger tæt på jordoverfladen, og maskinerne kan grave op til 22 kubikmeter kridt op i minuttet. Kridtet bringes fra kridtgraven til fabrikken på lange transportbånd.

Sandet kommer flere steder fra, bl.a. fra Hals Barre ved indsejlingen til Limfjorden. Her suges sandet op fra havbunden, når man vil uddybe sejlrenden. Sand består af siliciumoxid  $\text{SiO}_2$ .

Dybdegravemaskine, som graver kridt op – helt ned til en dybde af 40 m.





# Princippet i cementfremstilling

Her kan du se, hvordan kridt, sand og flyveaske bliver til cement:

Mængderne af de tilførte råmaterialer kontrolleres omhyggeligt, da forholdet mellem de forskellige stoffer skal være nøjagtigt afbalanceret, for at cementen kan få den rigtige kvalitet.



Kridt

Flyveaske

Sand

Slemmetromle

Flyveaske fra el-værk

Sandmølle

Kridtet knuses og blandes med vand i en slemmetromle.

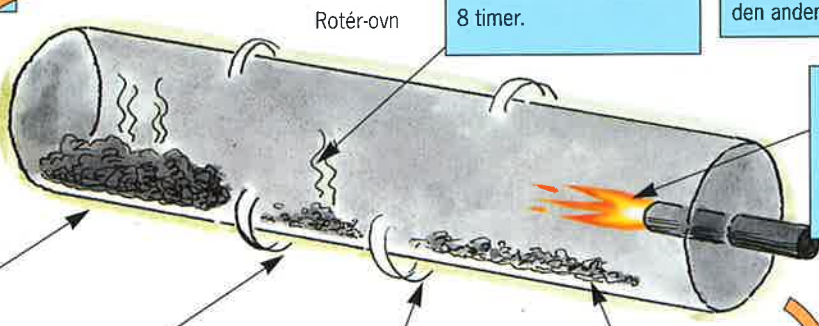
Råmaterialerne blandes med vand til slam, som ledes ind i rotérovnsens øverste ende.

Sandet males til fint pulver i en sandmølle. Det er et langt roterende stålrør med en inderside af gummi fyldt med mange stålkugler. Sandet hældes ind i den ene ende af stålrøret, males mellem stålkuglerne, og kommer ud som et fint pulver i den anden ende.

Slammet glider langsomt ned mod ovns nederste, varmeste ende, hvor temperaturen er 1400-1500°C. Turen ned igennem rotérovnen tager 4-8 timer.



Slambassin



Rotér-ovn

I den nederste ende af rotérovnen afbrændes kulstøv eller olie.

Under rutsjeturen fordamper vandet først, så slammet udtørres.

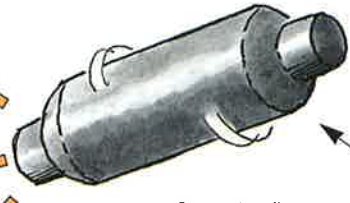
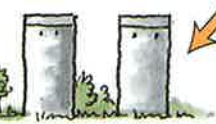
Lidt længere nede ved en temperatur på omkring 600 grader drives det vand ud, der er inde i mineralerne.

Længere nede i røret, hvor temperaturen nærmer sig 1000 grader, afgiver kridtet kuldioxid CO<sub>2</sub> og omdannes til calciumoxid CaO.

Endnu længere nede ved en temperatur på over 1000 grader reagerer stofferne med hinanden og danner cementmineral i form af større klumper, de såkaldte klinker.



Den færdige cement pakkes i sække eller sendes som løs cement til større byer. Cementen kan holde sig i flere år, når den blot opbevares tørt.



Cementmølle

Fra den roterende ovn føres klinkerne over i en cementmølle. Det er en roterende tromle med stålkugler, der er fra ½ cm og op til 9 cm i diameter. De knuser klinkerne til det fine pulver, vi kender som cement.



## Forskellige typer cement

Den produktionsmetode, som er vist på den foregående side, kaldes „våd-metoden“, fordi råmaterialerne kommer ind i ovnen som vådt slam.

På fabrikken i Aalborg er der 6 gamle ovne, der producerer forskellige typer cement efter vådmetoden. I 1987 udviklede og opførte fabrikken en helt ny type ovn, der har vist sig at være fantastisk effektiv. Denne ovn producerer mere end dobbelt så meget som den største af de andre 6 ovne.

Princippet i cementfremstillingen i den nye ovn er sådan set det samme som i de gamle ovne, men den nye ovn arbejder efter en mere tør metode. Råmaterialerne løftes op i toppen af et 115 m højt tårn, hvor vand og kuldioxid fjernes fra kridtet, inden råmaterialerne glider ind i en roterende rørovn. De gamle ovne kunne være op til 200 meter lange. Men den nye rørovn er kun 74 meter lang, og materialerne løber igennem på kun en halv time. Hertil kommer, at den nye ovn bruger mindre energi end de gamle mere „våde“ ovne.

I dag produceres der forskellige specielle cement-typer, f.eks. hvid cement, på de 6 gamle ovne, mens den almindelige grå standard-cement produceres på den nye ovn. Denne ovn alene producerer mere almindelig cement, end vi kan bruge i Danmark. I 1995 producerede fabrikken 1,5



Aalborg Portland-fabrikken nye effektive cementovn fra 1987. Der er 850 ansatte i Aalborg Portland A/S, der ligesom firmaet Faxe Kalk er en del af den store danske koncern F.L. Smidth Industries. Koncernen har oprettet flere forskellige firmaer, der beskæftiger sig med cementproduktion. Disse firmaer sælger nøglefærdige cementfabrikker og alt muligt udstyr til cementfabrikkerne. F.L.Smidth har eksisteret i over hundrede år og har solgt over 2000 ovnanlæg. I 1995 kom over halvdelen af alle cementovne, der blev solgt i hele verden, fra denne danske koncern.

millioner ton cement, der blev eksporteret, mens der blev solgt knap 1 million ton cement i Danmark. Det danske årsforbrug svarer til ca. 12 cementsække á 40 kg for hver eneste dansker – barn som voksen.

Fabrikken har et af verdens bedste forsknings- og afprøvnings-laboratorier med ca. 50 ansatte. På laboratoriet kontrollerer man cementens egenskaber og prøver hele tiden at forbedre fabrikkens cement og afprøver nye typer af cement.

I Ålborg kan man producere hvid cement, fordi kridtet, der graves op her, er af meget høj kvalitet, idet det er næsten fri for forurenninger. Den hvide cement skal have et stort indhold af aluminum-oxid, der er hvidt, men sandet må kun have et lille indhold af jern-oxid, som ikke er hvidt.

På denne maskine afprøves betonens styrke. Betonprøverne sættes i maskinen og trykkes til de går i stykker.



## Hvad er beton?

Når cement blandes med sand og vand, får man cementmørtel, der er en stærkere mørtel end kalkmørtel. Hvis man også blander sten i, kaldes blandingen beton. På byggepladsen skal der ofte bruges beton. Man kan lave det på stedet ved at blande mindre sten, grus, noget cement og lidt vand sammen i en blandemaskine. Når det er blandet godt sammen, hældes det ud i en trillebør og trilles hen til stedet, hvor betonen skal bruges.

I stedet for at blande betonen selv kan man bruge en „betonkanon“. Betonen blandes på en betonfabrik og hældes i en beholder, som er monteret på en lastbil, der kører ud til kunden. Betonbeholderen skal dreje rundt hele tiden, så betonen ikke bliver hård. Hvis der sker et uheld, så kunden ikke kan få betonen til tiden, må den hældes ud på jorden, inden den størkner i betonbeholderen på lastbilen.

Efter blandingen størkner betonen i løbet af nogle timer. Den er helt hård efter ca. et døgn, men bliver i løbet af nogle uger stærkere og stærkere, og den kan være flere år om at størkne helt. Almindelig kalkmørtel hærder, når det optager kuldioxid fra luften, men cement hærder, når det optager vand.

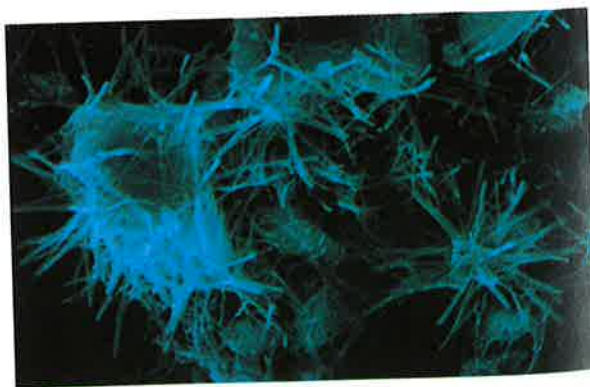
Skal man fremstille ekstra stærk beton til for eksempel gulve og lofter i et stort hus, bruger man jernbeton. Man støber betonen omkring lange stænger af jern.



1 del cement + 2 dele sand + 3 dele sten giver ved tilsætning af vand beton, der kaldes „en-to-tre-beton“.



„Betonkanonen“ – den roterende betonbeholder på en lastbil – blev opfundet af den danske civilingeniør K. Hindhede. I løbet af få år blev beton kørt rundt i „betonkanoner“ over hele verden.



Under hærdeningen vokser cementminerallerne ud til mange små krystalnåle, der tilsammen danner et mikroskopisk netværk, der holder sammen på sand og grus i betonen.

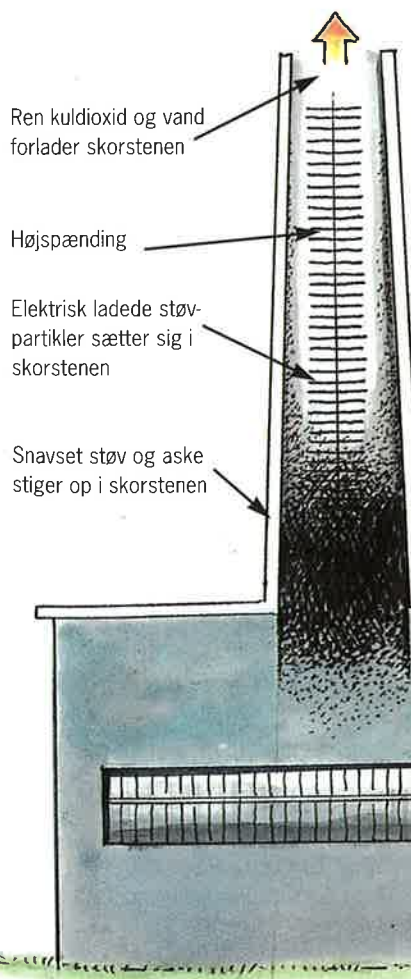
For at lave en stærk betonkonstruktion skal der bindes meget armeringsjern sammen, inden betonen hældes ned omkring armeringsjernene.



## Bekæmpelse af flyveaskeforurening

På en cementfabrik afbrændes der – ligesom på et el-værk – meget olie eller kul. Også her dannes der derfor store mængder aske, der ligesom på el-værkerne flyver op gennem skorstenen med røgen. Det er derfor man kalder denne form for aske for flyveaske.

For at hindre flyveasken i at strømme ud af skorstenen og forurene luften anbringer man både på el-værkerne og cementfabrikken et elektrofilter i skorstenen. Elektrofilteret er opbygget af en række metalplader og elektroder. Mellem pladerne og elektroderne er der op til 60 000 volt spændingsforskel. Når røgen passerer mellem metalpladerne, bliver støvpartiklerne elektrisk ladede og trækkes ind på metalpladerne. Herfra bankes støvet automatisk af, så det falder ned i bunden af filteret, hvor det, som tidligere nævnt, opsamles og anvendes til fremstilling af cement.

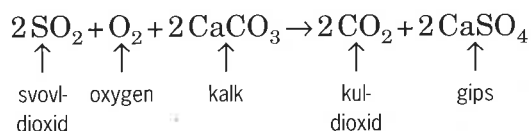


Efter at have passeret elektrofilteret består røgen stort set kun af vanddamp og kuldioxid. Kun en femtusindedel af støvet slipper igennem elektrofilteret på fabrikken i Ålborg.

## Bekæmpelse af syrerregn

En anden alvorlig forureningskilde både på el-værkerne og cementfabrikken er det svovl-indhold, der er i mange brændstoffer som kul, olie og naturgas. Svovlet brænder til svovldioxid  $\text{SO}_2$ , der danner sur regn, når det kommer op i atmosfæren, hvor det går i forbindelse med vanddamp og danner syren svovlsyrling  $\text{H}_2\text{SO}_3$ .

Derfor er det vigtigt at få fjernet svovldioxiden fra røgen. Det gør man i dag ved at sprøjte kridtslam ind i røgen. Svovldioxiden reagerer da med oxygen fra luften og med kalk fra kridtslammet og danner kuldioxid og calciumsulfat  $\text{CaSO}_4$ , der er gips:



Noget af den dannede gips bliver brugt ved cementfremstillingen, idet der i slutningen af produktionsfasen skal tilsættes 3-4% gips. Ellers vil den færdige cement størkne alt for hurtigt, når man bruger den ude på byggepladserne. Den gips, cementfabrikken ikke selv kan anvende, bliver solgt og bruges sammen med gipsen fra el-værkerne til bl.a. gipsplader til væg- og loftsbeklædning i huse.

### Hvad har du lært?

Du kan nu løse de teori-opgaver, som står i arbejdshæftet under overskriften „Hvad har du lært i kapitel 4?“

Et elektrofilter i et el-værks eller en cementfabriks skorsten filtrerer meget effektivt flyveasken fra skorstensrøgen.