



## Historisk Byggeteknik og materialer

# LÆSKET KALK, mørtel og puds til bygningsrestaurering

Af Søren Vadstrup  
Juni 2014



## Bindemidlernes historie

### Luftkalk

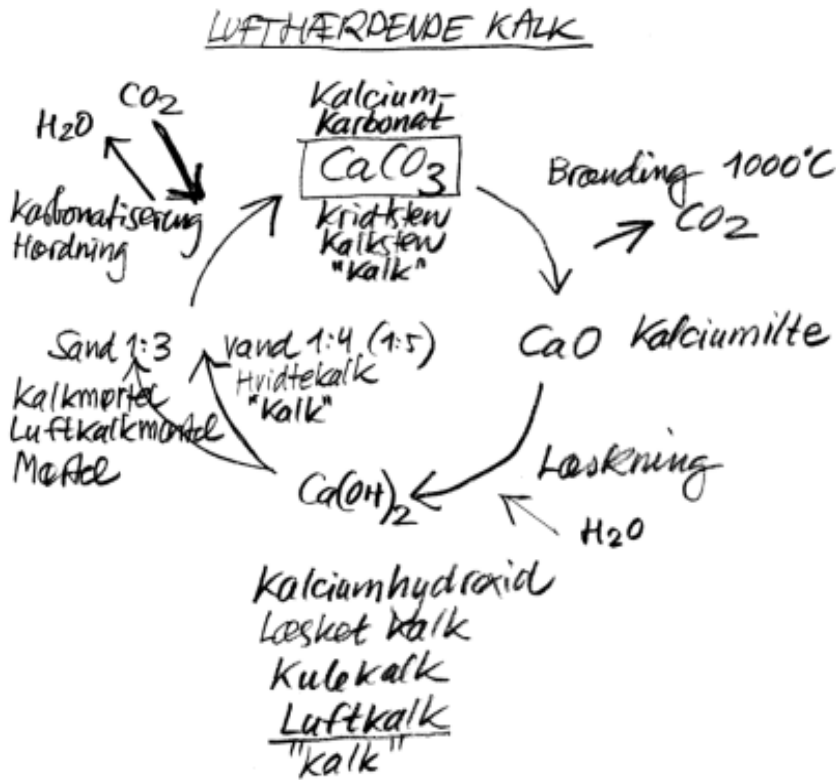
'Kalk' er en bjergart, hvis hovedbestanddel er Calciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), i naturen kaldt kridtsten, kalksten, limsten eller marmor. Calciumkarbonaten er dannet for millioner af år siden ved havaflejring af muslinger, alger, skaldyr, mm. Man finder ofte aftryk af disse dyr m.v. i kridtstenen. Udsættes kridtstenen for et stort tryk og høj temperatur, dannes der krystallinsk kalk, også kaldt marmor. Man kan skære kridtstenen i blokke og anvende disse til byggesten, eller man kan gennem en brænding og læskning, fremstille kalkmørtel af den. Marmor anvendes fortrinsvis til dekorationer.

Calciumkarbonat er svagt opløseligt i vand, hvorfor stort set alt vand indeholder kalk. Derfor vil der også udfælde sig kalk fra vand, på steder, hvor dette af een eller anden grund fordamper. Derved dannes der såkaldt kildekalk, frådsten, kalktuf eller travertinkalk forskellige steder i naturen. Denne kalk kan både bruges til byggesten og til brænding af kalk til kalkmørtel.

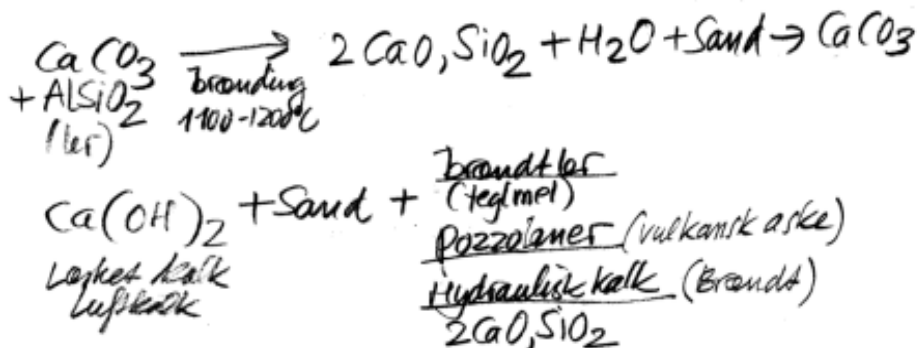


**Brænding, læskning og lagring af luftkalk**

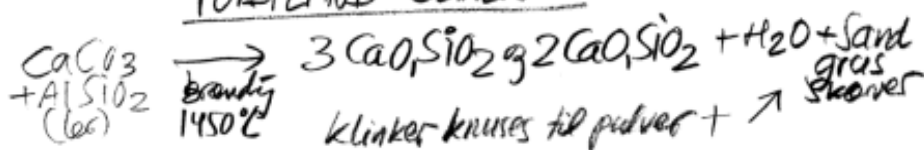
Brændingen af kridtsten finder sted i en lodret kalkovn, og ved hjælp af forskelligt brændsel, træ, stenkul, olieholdigt skifer m.m., kommer temperaturen i ovnen op på ca. 900-1000 grader C. Derved frigøres kuldioxid (CO<sub>2</sub>) i kalken og tilbage har man *brændt kalk* (CaO) i form som de oprindelige kridtsten, men nu meget lettere og mere porøse.

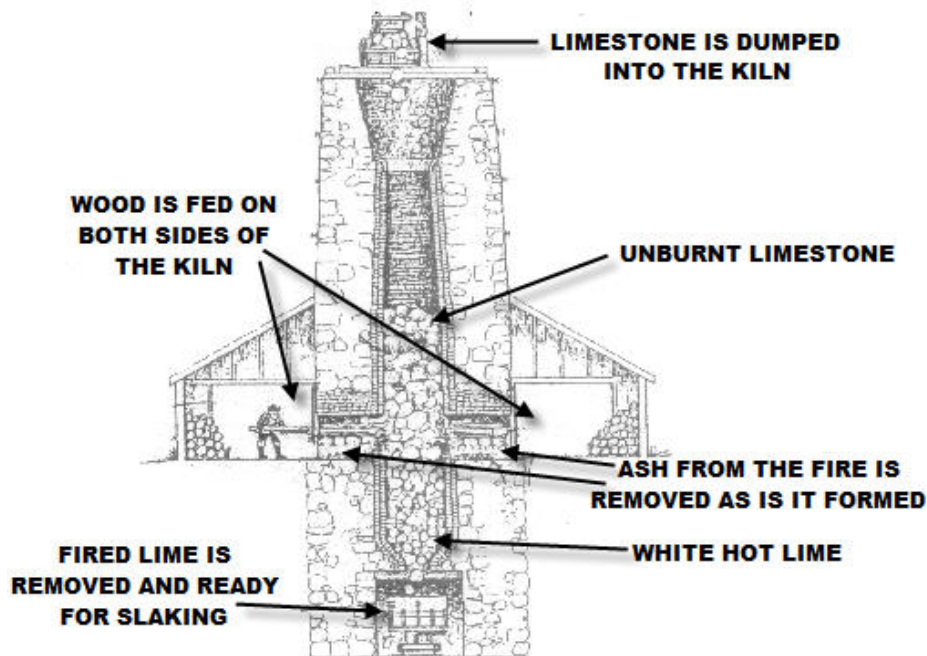


VANDHÆRDENDE KALK  
 Hydraulisk kalk



PORTLAND CEMENT





Brændt kalk er et uhyre reaktivt materiale, som man snarest muligt *læsker*, det vil sige overhælder med vand ( $H_2O$ ), hvorved der dels udvikler sig en kraftig varme, dels sker en kemisk reaktion af den brændte kalk, så den antager en blød, dejagtig substans, der kaldes for *læskede kalk*, også benævnt calciumhydroxid,  $Ca(OH)_2$ , eller *luftkalk*, herom senere.

Læsket kalk kan man *lagre* i kortere eller længere tid, enten alene eller blandet med sand. Det første kaldes også for *kulekalk*, opkaldt efter den jordgravede kalkkule, hvor lagringen foregår absolut frostfrit, det sidste kaldes for *læskemørtel*.

En variation af læskningen er den såkaldte *tørlæsning*, hvor der kun tilføres en meget begrænset mængde vand til den brændte kalk. Kalken pulveriseres derved til et fint pulver, kaldt *hydratkalk* eller *tørlæsket kalk*, der yderligere kan knuses mekanisk. Tørlæsning har været brugt langt tilbage i tiden, men repræsenterer i dag en industrielt fremstilling af kalk, der ikke har så gode egenskaber til bl.a. kalkning som kulekalken. Forklaringen er, at kulekalken, efter ca. et års lagring, bliver uhyre findelt, med en kornstørrelse på 10-30  $\mu m$ , langt under hydratkalkens på 50-100  $\mu m$ . Tørlæsket kalk kan udmærket bruges til opmurings- og pudsemørtel, men til overfladebehandling af murværk med hvidtekalk eller kalkfarver, har kulekalkens finere kornstørrelser vist sig at være en stor fordel for et holdbart resultat. Derfor anbefales den tørlæskede kalk ikke til kalkning.

### **Hærdningen af læsset kalk = luftkalk**

Når læsset kalk kommer i forbindelse med luft, sker der en kemisk proces, hvor calciumhydroxiden  $Ca(OH)_2$  forbinder sig med luftens kuldioxid  $CO_2$ , fraspalter vand  $H_2O$  og danner calciumkarbonat  $CaCO_3$ , eller kridtsten igen. Kalkprocessens cirkel er sluttet. Man starter med Møens Klint, brænder, læsker, lagrer og påfører Møens Klint, som en blød masse, der hærder til Møens Klint igen.

Da denne hærdningsproces, sker ved hjælp af luft ( $CO_2$ ), kalder man den "rene" kalkmørtel, enten den er vådlæsset, tørlæsset eller varmlæsset, for en *luftkalkmørtel*. Det skal dog tilføjes, at hærdningsprocessen, den såkaldte karbonatisering, ikke kan foregå uden tilstedeværelsen af *vand* som "katalysator".

Fra gammel tid findes der beretninger, bekræftet af kalkanalyser, om, at man har forsøgt at få kalken til at hærde hurtigere og stærkere op ved iblandingen af organiske stoffer, f.eks. kærnemælk/skummetmælk/kasein (mælkenes ostestof), organisk ben- og hudlim, fedt, blod, linolie eller æg. Ja selv kokager og kopis. Det kunne ske i selve kalkkule bl.a. i form af døde smådyr, eller lige før brugen. Andre prøvede noget andet.



## Hydraulisk kalk

"Allererde de gamle romere" fandt nemlig ud af at nogle gange sker denne proces meget hurtigere, nemmere og med en hårdere og stærkere, ja nærmest *stenagtig* mørtel eller puds, til følge. De kaldte derfor denne særlige mørtel for "Opus Caedimentissium" efter *caedimentum* = stenagtig, senere, på vore breddegrader kaldt *cement*. Da 'cement' i dag er mange ting, skelner man her mellem *Romersk Cement* og *Portland Cement*.

Processen gik ikke, som så meget andet, i "glemmebogen" med Romerne, for den er lige så naturligt forekommende, ja nærmest hyppigere i naturen, end luftkalkens hærkning.

Hvis kridtstenen ikke er helt ren, men indeholder ler, der igen indeholder en række mineralske stoffer, bl.a. silicium, kisel, jern, mangan, aluminium, dannes der under brændingen af kalken ved en temperatur på 1000-1400 grader C, et stof, *dicalciumsilikat* (C2S). Når dette stof kommer i forbindelse med vand, danner det en mineralsk *lim*, der på kort tid hærder op til en meget hård, uopløselig og stenagtig masse. Da processen sker ved hjælp af vand, kalder man denne særlige kalk for *hydraulisk kalk*, efter det græske ord >hydro=, der betyder vand. Kalken forbruger til sin hærkning en vandmængde, svarende til ca 30% af sin egen masse. Blandes den hydrauliske kalk med sand, fås en *hydraulisk kalkmørtel*.

Man kan i praksis skabe en hydraulisk hærkning i en mørtel på 5 forskellige måder:

- 1 Man kan brænde en *lerholdig kridtsten*, hvilket giver en naturlig hydraulisk kalk.
- 2 Man kan bruge lerholdigt olieskifer, såkaldt alunskifer, som brændsel ved brændingen af kalken. Den røde alunskiferaske giver en hydraulisk effekt. Ved Kinnekulle i Sverige ligger kalk og olieholdigt alunskifer i skiftende lag i undergrunden.
- 3 Man kan blande ler sammen med kalken under selve brændingen.
- 4 Man kan tilføre *brændt ler* i form af knust tegl/teglmel til en luftkalkmørtel.
- 5 Man kan tilføre *vulkansk aske*, benævnt pozzulano (efter stedet Pozzuli ved foden af Vesuv) eller trass, efter tilsvarende forekomster i Tyskland, til luftkalkmørtel.

Også her har der i historiens løb været blandet næsten alt, der overhovedet mindede om mineralske stoffer, i luftkalken for at opnå en hydraulisk effekt: Jernspåner/hammerslag (virker ikke), trækuls- aske, stenkulsaske, alunskiferaske, slagge mm.

I Danmark havde vi kun 2 forekomster af lerholdig kalk, der kunne give en naturlig hydraulisk kalk, nemlig Klintbjergkalken i Odsherred og den bornholmske Limensgade-kalk. Man var derfor nødt til at ty til hydrauliske additiver. Analyser har vist, at næsten alle historiske mørtler og pudser i Danmark, før i tiden var hydrauliske eller svagt hydrauliske i een eller anden grad, måske på grund af sandets jernindhold el.lign.



*Luftkalkmørtel iblandet teglmel (brændt ler ved 1000 °C) bliver hydraulisk (vandhærdende).*



## Portlandcement

### Historie

Men allerede før midten af 1800-tallet skiftede modifarven for facadepuds til *hvidt*. Dette kunne være et problem ved de hydrauliske kalkmørtler, dels fordi sandet giver farve til mørtlen, dels fordi de hydrauliske stoffer også farver gråt eller rødt. Men kreativiteten var stor på dette område, så i 1824 kom der en helt hvid, hydraulisk mørtel på markedet, og da den kom fra England, blev den, for at associere det mest "kridhvide", en englænder kan se for sig, Portland-klinkerne ved indsejlingen til den Engelske Kanal, naturligvis døbt *Portlandcement*. I 1844 opdagede englænderen Isaac Charles Johnson, at hvis man brændte kalk-ler slam ved en endnu højere temperatur end ellers, nemlig 1400 grader C, og formalede brændings-produktet, fik man et bindemiddel, der gav en endnu stærkere puds. Denne fremgangsmåde benyttes stort set den dag i dag ved fremstilling af Portlandcement.



*Roterovnen*

Portlandcementens meget høje brændingstemperatur betyder, at der i stedet for dicalciumsilikat dannes det endnu hurtigere hærdende *tricalciumsilikat* (C3S). Samtidig sker der det, at kalk og ler "brænder/sintrer" sammen til små hårde klumper, kaldt "klinker", som man efterfølgende knuser til et fint, gråt pulver. Når der tilsættes vand og sand til dette cementpulver, hærdner det på meget kort tid hårdt op. Man er i praksis nødt til at tilsætte ca. 3% gips for at sænke hærdningshastigheden. Rapidcement og murcement er to forskellige cementformer med forskelligt gipsindhold og hærdningshastighed.

Den første cementfabrik i Danmark til Portlandcement blev anlagt i 1868 i Ringsted, men snart fandt man ud af, at ler- og kridtstensforekomsterne ved Mariager og Aalborg egnede sig fortrindelig til fremstilling af denne nye cementtype.

Kort efter at den danske ingeniør Frederik Læssøe Smidth i 1891 havde deltaget i opførelsen af cementfabrikken i Rørdal ved Aalborg, købte han 3 patenter, der skulle gøre Danmark og specielt firmaet F.L.Smidth & Co førende indenfor Portlandcement-fabrikationen i Verden: Det engelske patentet på Portlandcement, et amerikansk patent på fremstillingen af cement-klinkerne i store "roterovne" med indblæst kulstøv som brændsel og et dansk-fransk patent på et knuseværk, en såkaldt kuglemølle, til klinkerne.

I dag benyttes næsten udelukkende såkaldt *flyveaske*, der er en forbrændingsrest fra kulfyrede kraft- og varmegækkers røggasfiltre, som hydraulisk/mineralsk tilslag ved fremstillingen af Portlandcement.



Flyveasken gør cementen endnu mere hurtigthærdende og fordrer derfor mere gips. Miljøkrav til en højere grad af afsvoivning af kraftværkernes røggasser, kan umuliggøre eller besværliggøre anvendelsen af flyveaske i cementindustrien.



*Kuglemøllen*

For at forbedre Portlandcement-mørtelens operative egenskaber tilsætter man også forskellige stoffer til en række færdigblandede specialmørteler til fortrinsvis invendigt brug: Plastmørtel (acryl, epoxy og PVA-mørtler), sarabondmørtel, ædelpuds, akustisk mørtel, savsmulds-mørtel osv. osv. Disse "nye forbedrede" mørteltyper bør principielt ikke benyttes i ældre, bevaringsværdige huse, da man kan forrykke den følsomme bygningsfysiske balance i murværket.

I udlandet, især i Sydeuropa, bruger man i stigende grad disse færdigblandede Portland-cement-mørtler tilsat acrylater til den udvendige slutpuds på sågar fredede, historiske bygningsværker. Disse produkter ledsages af stakkevis af overbevisende laboratorie-prøveresultater på produkternes fortræffeligheder, der, samtidig med at hele mørtel- og puds-området er utroligt kompliceret, kemisk, bygningsfysisk, håndværksmæssigt og holdbarmæssigt, får mange håndværkere, arkitekter og ingeniører til at vælge et standardprodukt, som ingen rigtigt kan gennemskue.

Det er på en måde "skæbnens ironi" at man på arnestedet for den antikke hydrauliske kalkmørtel "Opus Caementissium", i dag i stort omfang iblander acrylater i slutpuds, når både antikkens, renæssancens og barokkens bygningsværker skal restaureres. Dette betyder efter min mening, at man rent teknisk er nødt til at benytte plast- og acrylmaling som overfladebehandling på murværket, idet acrylaterne vil mindske kalkfarvernes kemiske binding til puds. Det er da også en udvikling, man ser i bl.a. Rom, hvor den antikke "cement" har haft en formidabel holdbarhed både som "kassemursfyld" og som puds, idet der findes eksempler på, at den har holdt i over 2000 år, og modstået både nedbrydning fra salte og fugt, så hvert et overfladespor af værktøj eller forskalling står knivskarpt endnu,

Siden 1890-erne har Portlandcement været normdannende for alt cementproduktion over hele Verden og navnet "cement" er blevet synonymt med Portlandcement. Rent historisk kan man dog med ligeså god ret kalde en hvilken som helst hydraulisk kalkmørtel for "cement-mørtel", ligesom en Portlandcement-mørtel gennem sin hærdningsmåde er en hydraulisk kalkmørtel. Derfor er det så meget desto vigtigere at beskrive og forstå forskellene på en luftkalkmørtel og en hydraulisk kalkmørtel, herunder en Portlandcement-mørtel.



## Fremstilling af luftkalk til vådlæsket luftkalkmørtel og hvidtekalk

### Brænding

**Kridtsten** ( $\text{CaCO}_3$ ) fra naturen brændes ved  $900\text{ }^\circ\text{C}$  i en kalkovn i et døgn 'Kalk'  
Ved brændingen afgiver kridtstenen  $\text{CO}_2$  og der fås **brændt kalk** ( $\text{CaO}$ )

### Læskning

Efter brændingen **læskes** den brændte kalk med vand ( $\text{H}_2\text{O}$ ) under stor varmeudvikling  
Derved fås **læsket kalk**, også kaldt Calciumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) 'Kalk'

### Lagring

Den læskede kalk kan lagres frostfrit i en 'kule' i jorden, hvorved fås **kulekalk** 'Kalk'

### Hvidtekalk og kalkfarve

Den læskede kalk kan blandes med 6 dele vand, hvorved fås **hvidtekalk** 'Kalk'  
Ved iblanding af 5-6% kalkægte farvepigmenter fås **farvet kalk/kalkfarve**  
Hvidtekalk og kalkfarver hælder til kridtsten igen ved at optage  $\text{CO}_2$  fra luften og afgive vand.

### Luftkalkmørtel

Den læskede kalk kan blandes med sand i forholdet 1:3, og en passende mængde vand  
hvorved fås **luftkalkmørtel**. Kaldes også kalkmørtel, K-mørtel eller kulekalkmørtel.  
Luftkalkmørtelen hælder til kridtsten ( $\text{CaCO}_3$ ) igen ved at optage  $\text{CO}_2$  fra luften og afgive vand

### Kemiske processer

Brænding:  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$   
Læskning:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$   
Hærdning/Carbonatisering:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

### Begreber

Kalk = Kridtsten, calciumcarbonat  $\text{CaCO}_3$   
Brændt kalk = Kridtsten brændt ved ca.  $900\text{ }^\circ\text{C}$  i en kalkovn i et døgn,  $\text{CaO}$   
Læsket kalk = Brændt kalk overhældt med vand  
Kaldes også Calciumhydroxid  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  eller *luftkalk*  
Kulekalk = Læsket kalk lagret i 2-5 år i en frostfri kalkkule  
Luftkalk = Læsket kalk  
Hvidtekalk = Læsket kalk blandet med vand 1:6 Hælder v.h.a. luft/kuldioxid  
Kalkmørtel (K) = Læsket kalk blandet med sand 1:3 Hælder v.h.a. luft/kuldioxid  
Luftkalkmørtel = Læsket kalk blandet med sand 1:3. Hælder v.h.a. luft/kuldioxid  
Hydraulisk kalk = Særlig kalkarter, der indeholder lerminerale  
og som derfor efter brændingen ved  $1000\text{-}1200\text{ }^\circ\text{C}$   
hælder ved hjælp af *vand* (i stedet for luft ( $\text{CO}_2$ ))  
Kaldes også Naturlig Hydraulisk Kalk (Kh)  
Hydraulisk kalkmørtel (K-Kh-mørtel) kan fremstilles af:  
Naturlig hydraulisk kalk blandet med sand 1:3 + vand  
Luftkalkmørtel iblandet Naturlig Hydraulisk Kalk + vand  
Luftkalkmørtel iblandet vulkansk aske (Pozzolaner, trass etc.) + vand  
Luftkalkmørtel iblandet brændt ler (teglmel) + vand  
Luftkalkmørtel iblandet Portlandcement + vand (KC-mørtel)  
Portlandcement = Naturlig hydraulisk kalk (eller kridtsten plus lerminerale eller aske)  
brændes ved  $1400\text{ }^\circ\text{C}$  til meget hårde, glasagtige 'klinker'  
Klinkerne knuses til pulver og tilsættes forsk. aggregater, bl.a. gips  
Når cementpulveret tilsættes vand hælder det v.h.a. vandet til en hård,  
stenagtig masse (Latin: *caedimentum* = stenagtig, senere, på vore  
breddegrader kaldt *cement* eller Portlandcement.



## Produktnavne

### Luftkalk

(Hærder ved hjælp af luftens kuldioxid (CO<sub>2</sub>)).

Kalksten/kridtsten (CaCO<sub>3</sub>) brændes til Brændt kalk (Calciumilte (CaO)). Brændt kalk læskes med vand til læsket kalk ( Calciumhydroxid - Ca(OH)<sub>2</sub> ). Den læskede kalk hærder ved hjælp af luftens **kuldioxid** og frigør vand:  $Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$ .

Produkter og produktnavne:

- 1: **Stykkalk = Brændt kalk = CaO = Calciumilte.**  
Består af kalkstens/kridtstensstykker, som er brændt ved 1000-1100 grader. Anvendes til fremstilling af kulekalk.
- 2: **Pulverkalk = Knust stykkalk.**  
Består af stykkalk/brændt kalk, som er knust. Anvendes til fremstilling af hydratkalk.
- 3: **Hydratkalk = tørlæsket kalk. (K)**  
Består af pulverkalk tilsat en begrænset mængde vand, således at det stadigvæk er tørt og pulveragtigt. Industrielt fremstillet. Anvendes som bindemiddel i kalkmørtel eller kalkcementmørtel.
- 4: **Stampet kalk.**  
Består af hydratkalk/tørlæsket kalk som knuses yderligere ved mekanisk "stampning".  
**Dobbeltstampet kalk** er yderligere knust/stampet. Kornstørrelse 30-60 my. Anvendes til kalkning.
- 5: **Kulekalk = Vådlæsket kalk = Kulekalkdej. (K)**  
Består af brændt kalk/stykkalk, som læskes med rigeligt vand i en kalkkule og lagrer i ca. 2 år. Kalken findeles herved til en kornstørrelse ca. 10 my. Anvendes dels som bindemiddel i kalkmørtel/kalkpuds, dels til kalkning, dels til fremstilling af kalkvand.

### Hydraulisk kalk

(hærder ved hjælp af vand)

- 6: **Hydraulisk kalk (Kh)**  
Fremstilles ved at brænde lerholdige kalksten (Gul kalksten = 70% kalk og 30% ler), som findes visse steder ved 1000-1200 gr. Leret indeholder mineraler, som ændrer hærdningsprocessen, så den foregår v.h.a. **vand**. Hydraulisk kalk er altid i pulverform, fordi vandtilførsel starter hærdningen.  
**Jura-kalk** er en importeret, schweizisk, hydraulisk kalk.
- 7: **Portlandcement. (C)**  
Består af kalksten/kridtsten + ler, som brændes i store roterende ovne til klinker. Disse knuses til pulver, og der tilsættes 2% gips. Stærkt og hurtighærdende.
- 8: **Kalkcement. (KC)**  
En blanding af kalk og cement

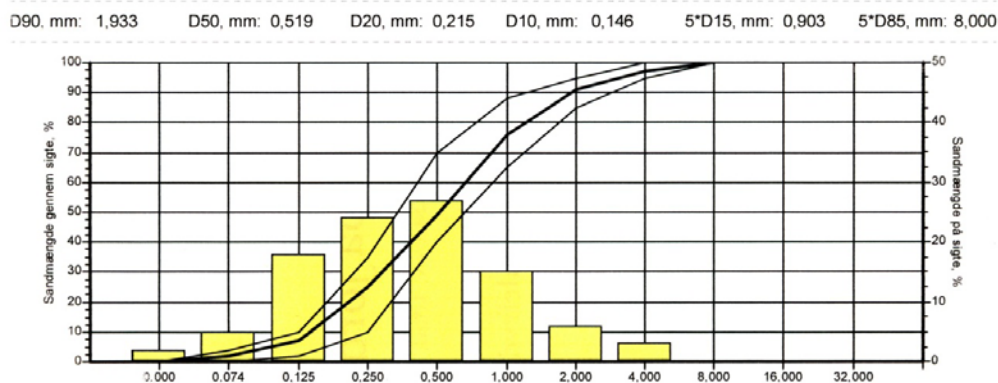




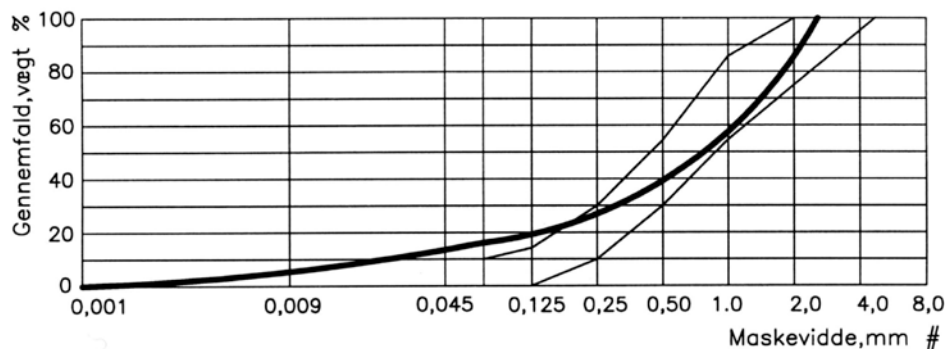
## Kornkurvens indflydelse på mørtlens styrke

Det er meget vigtigt, at det sand, der skal blandes i mørtelen, indeholder både store sandkorn (4-8 mm) og meget små sandkorn (0,001 mm). Hvis sandet kun indeholder store sandkorn – eller kun meget små, bliver mørtelens styrke ikke optimal.

I gamle dage hentede man sandet direkte fra en grusgrav eller lignende i nærheden af byggepladsen, hvor man blandede mørtelen, men det kan give ujævnheder i mørtelens styrke. I dag graver man sandet op i grusgraven og sigter det derefter efter størrelse i forskellige maskestørrelser, så man får en kornkurve som denne, hvor kornstørrelserne er fordelt jævnt.



Siden 1960-erne er det blevet meget almindeligt at blande Portlandcement i luftkalkmørtelen for at gøre denne stærkere og hurtigere hærdende, da den samtidigt bliver hydraulisk. Men da Portlandcementen repræsenterer et meget fintkornet materiale i sig selv, har leverandørerne af mørtelsand, taget sig den 'frihed' at 'stryge' de fineste materialer i sandet, da dette ikke influerer på KC-mørtelens styrke/trykstyrke. Den bliver stærk nok alligevel. Se de to 'tynde' kurver her:



Da KC-mørtelen har en række ulemper, specielt i forhold til murværk og puds på ældre bygninger, foretrækker vi mange steder den svagere luftkalkmørtel, men nogle gange, er der brug for en bedre trykstyrke i denne. Det har nu vist sig gennem en række forsøg på DTU i 2010-12, at hvis man fremstiller mørtelsand efter den oprindeligt foreskrevne kornkurve, så får luftkalkmørtelen en langt højere trykstyrke. Ja faktisk en trykstyrke, her målt som forskydningsstyrke, på 5 Mpa, svarende til en KC 50/50/750 efter 4 uger.

Det har samtidigt vist sig, at en luftkalkmørtel med korrekt kornkurve opnår en meget hurtig, ja faktisk en omgående, vedhæftning/sammenhængskraft på grund af det kapillære undertryk i mørtel og sten, den såkaldte 'minutsugning'. Dette skyldes at stenedes porøsitet suger vandet ud af mørtelens porer, hvorved forskydningsstyrken stiger hurtigt og murstenen opnår en omgående vedhæftning. Efter 2 timer er forskydningsstyrken ca. 25 % af slutværdien, som nås efter to til fire uger for sten med høj minutsugning.

Karbonatiseringen er slut efter 100 til 300 dage afhængigt af kalkprocent og stentype. Karbonatise-ringen fastlåser formen, men synes ikke at forøge forskydningsstyrken for sten med høj minutsugning. For sten med lav minutsugning kan fås en svag stigning frem mod 8 uger.



## Luftkalkmørtel til nybyggeri

Nyt murværk i blank mur – enten det er en tilbygning til et eksisterende hus, eller ommuring af hele eller dele af facaderne, skal tilpasse sig det eksisterende murværk.

Efter at de cementholdige KC-mørtler har domineret nybyggeriet, og også mange ombygninger og restaureringsarbejder på eksisterende bygninger, i 40-50 år, fordi man har troet at kalkmørtel uden cement ikke er stærk nok til at opfylde murværksnormen for nye huse i Danmark. Dette til trods for at vi har over en million ældre bygninger i landet, der er opført i kalkmørtel, uden cement.

Nu har forskere på DTU imidlertid undersøgt den lufthærdende kalkmørtels styrke meget grundigt, og fundet frem til at den er rigeligt stærk til at bygge huse med efter Murværksnormen og EU's normer for såkaldte 'funktionsmørtler'.

Når dette er ret epokegørende er det fordi murværk opført med luftkalkmørtel har vist sig at have en række gode byggetekniske egenskaber, der bl.a. kan iagttages på ældre bygninger, der er opført med murværk og fuger i kalkmørtel: Dens forholdsvis svage styrke bevirker at eventuelle sætningsrevner følger fugerne, der en diffusionsåben og tillader murværket at ånde (hvis murværket ikke pudses med KC-mørtel eller plastikmales). Ikke mindst luftkalkens fugtdynamiske egenskaber er gode. Korrekt udført afgiver kalkmørtlen fugt hurtigere end andre puds og mørteltyper. Dette har betydning for husenes indeklima, energiforbrug og komfort.

Det skal derfor anbefales at benytte en færdigproduceret funktionsmørtel, der foreløbigt kun føres af firmaet Wewer's i Nordsjælland, **uden** tilsætning af cement, til alt murerarbejde på ældre bygninger.



Efter 1 minut



Efter 30 minutter



Efter 120 minutter – 2 timer

*Luftkalkmørtel med den korrekte sandkurve har en række meget interessante fugtdynamiske egenskaber.*

*Når mørtelen hærder sker det ved en kemisk proces, hvor calciumhydroxiden carbonatiserer ved hjælp af luftens kuldioxid til små kalkkrystaller. Denne proces sker udefra og ind.*

*Analysen i elektronmikroskop viser, at de første kalkkrystaller, der dannes er bittesmå, hvorefter de næste, i næste lag bliver større og større. Det betyder at luftkalken under hærningen danner en slags diodevirkning, hvor den kapiulære transport af vand hovedsagelig går indefra og ud – frem for udefra og ind.*

*Denne virkning genfindes også på puds af luftkalkmørtel, hvor diode-virkningen kan forstærkes ved at kaste en grov mørtel ud i bunden med en mere finkornet puds udenpå. Se nærmere [side...](#)*

*Ved nyt murværk, opmuret med luftkalkmørtel, kan fugernes yderside gøres helt 'vandætæt' via denne mekanisme. På de viste fuger, der er anbragt vandret med nogle dråber vand på.*

*Den ene dråbe vand suger hurtigt ind i mørtelen, da kalkkrystallerne formentlig her ikke har dannet en diodevirkning, men dråben ved siden af bliver, på grund af denne diodevirkning, liggende på overfladen i 2 timer.*

*Virkingen kan forstærkes ved at udføre selve fugemørtelen i en finkornet luftkalkmørtel og glatte overfladen med en fugeske, før selve afbindingen.*

*Foto og forsøg: Civ. Ing. Anders Nielsen*



## **Opmuringsmørtel**

Der har fra gammel tid været forskel på blandingen og sammensætningen af opmuringsmørtler til murværk og mørtler til udvendig eller indvendig puds på murværk. Opmuringsmørtelen skal have en forholdsvis større andel af sand, fordi den hærdede mørtel skal have en god trykstyrke. Pudsemørtelen skal have en forholdsvis større andel af bindemiddel, fordi den færdighærdede puds skal være så vejrbestandig og samtidig så fleksibel som muligt.

Fra middelalderen og frem til midten af 1930-erne brugte man lufthærdende kalkmørtel – uden cement eller hydraulisk kalk – til at bygge tusindvis af små og store huse med i Danmark. Adskillige af disse bygninger har stået i fin stil i over 200 år, mange endda meget længere.

I 1950'erne blev der imidlertid indført en ny murværksnorm i Danmark, på baggrund af en række styrkeprøver på forskellige mørteltyper i Norden, der fastslog at opmuringsmørtler uden tilsætning af Portlandcement eller hydraulisk kalk ikke var trykstærke nok til nybyggeri. Da luftkalkmørtlerne ifølge undersøgelserne ikke kunne opfylde murværksnormen, blev de stort set faset ud til alt nybyggeri.

Huse, der er bygget siden middelalderen og frem til ca. 1960 er derfor opført af murværk med lufthærdende kalkmørtel i murværket og fugerne. Huse, der er bygget efter ca. 1960, er opført af murværk med kalk-cementmørtel i murværket og fugerne.

Det er meget vigtigt at være opmærksom på denne forskel, når vi vedligeholder og reparerer vores huse. Hvis huset er bygget af lufthærdende kalkmørtel uden cement, skal man vedligeholde og reparere det med en lufthærdende kalkmørtel uden cement. Hvis man bruger mørtel, iblandet cement (portlandcement – såkaldt KC-mørtel) her, påføre man et meget stærkt, tæt og usmidigt materiale til et svagere, diffusionsåbent og meget smidigt materiale, i form af det gamle murværk. Der er mange eksempler på at dette er gået galt, at de stærke materialer knuser de svage, og herefter skaller af med store skader og omkostninger til følge. Det gælder specielt fugning af murværket. Her bør man ikke fuger med KC-mørtel, hvis huset er opført før 1960.

Det er en udbredt myte at luftkalkmørtel er for svag til at opføre nye murede bygninger i dag, og også til at reparere ældre bygninger, eksempelvis i fugerne. Helt ny forskning bl.a. udført på DTU har vist, at de kalkmørtler, der har været testet i 1950-erne til at være meget svage, har haft en forkert sammensætning af sandet, og formentlig også indeholdt en ikke optimal læsket kalk. Hvis man i dag benytter en bedre sammensætning af sandet, svarende til den oprindelige, der blev benyttet i middelalderen og frem, sammen med en bedre lagret læsket kalk, kan en lufthærdende kalkmørtel opfylde kravene i den gældende murværksnorm, og den tilsvarende EU-Norm for nybyggeri - der i dag har fået betegnelsen 'funktionsmørtler'.

Når dette er ret vigtigt og epokegørende er det fordi murværk opført med luftkalkmørtel har vist sig at have en række gode byggetekniske egenskaber, der bl.a. kan iagttages på ældre bygninger, der er opført med murværk og fuger i kalkmørtel: Dens forholdsvis svage styrke bevirker at eventuelle sætningsrevner følger fugerne, der en diffusionsåben og tillader murværket at ånde (hvis murværket ikke pudses med KC-mørtel eller plastikmales). Ikke mindst luftkalkens fugtdynamiske egenskaber er gode. Korrekt udført afgiver kalkmørtlen fugt hurtigere end andre puds og mørteltyper. Dette har betydning for husenes indeklima, energiforbrug og komfort.

Det forventes derfor snart at vi igen efter en 'pause' på 60-80 år nu i 2014 kan bygge murede huse i kalkmørtel i Danmark og derved opnå de gode fugttekniske og fysiske egenskaber, som disse har. Men derudover kan vi også nu opnå bedre og mere holdbare restaureringsarbejder på ældre bygninger med luftkalkmørtler med korrekt sandkornkurve.

De byggematerialer, vi har indenfor nybyggeriet samt bygningsrestauration og transformation af ældre bygninger, skal benyttes med den størst mulige viden i forhold til de forskellige materials fordele, ulemper, særlige egenskaber og særlige anvendelsesområder. De cementholdige og hydrauliske mørtler har bestemt deres anvendelsesområder, også til restaureringsarbejder, men både disse og de klassiske byggematerialer skal først og fremmest bruges med viden, helst dokumenteret, og omtanke.



## Mørtel og puds

Mørtel består af et **bindemiddel** (luftkalk eller hydraulisk kalk) samt et **tilslagsmateriale** (sand, grus osv). Vi har på det danske marked 4 mørteltyper:

Navn	Betegnelse	Blanding	Egenskaber	Anvendelse
Kalkmørtel	K-mørtel (Luft)kalkmørtel	1 del kulekalk 3 dele sand + vand Kan købes færdig.	Forholdsvis svag; arbejder godt sammen med ældre murværk og afgiver hurtigt fugten.	Opmuringsmørtel ved nyt murværk. Puds på ældre murværk, opbygget i to-tre udkast. Fuger på ældre murværk.
Hydraulisk kalkmørtel	Kh-mørtel Juramørtel	1 del kulekalk 2 dele hydr. kalk 9 dele sand + vand	Lidt stærkere og hårdere end kalkmørtlen. Arbejder godt sammen med ældre murværk.	Opmuringsmørtel – specielt ved sokler eller murkroner. Puds på murede sokler. Facadepuds – opbygget i to-tre udkast.
Kalkcement-mørtel	KC-mørtel Bastardmørtel	1 dele læsket kalk 1 del Portlandcement 6 dele sand + vand	Meget stærkere og hårdere end K- og Kh-mørtel. For stærk og fugtabsorberende til ældre murværk.	Opmurings- og fugemørtel til skorstene og <i>skorstenspiber</i> . Bør ikke anvendes til puds på ældre murværk.
Cementmørtel	C-mørtel Grus og cement	1 del Portlandcement 4 dele sand/grus + vand	Hærder meget hurtigt. Meget stærk og hård.	For stærk og hård til anvendelse på ældre murværk. Reparationer på jernbeton samt betontrapper og -balkoner.

Mørtel nr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Mørteltype	Luft kalk	Luft kalk	Hydr. kalk	Hydr. kalk	Hydr. kalk	Hydr. kalk	Portl. Cement	Portl. Cement
Bogstavbetegnelse	K	K	KKh	KKh	KKh	Kh	KC	C
Blandingsforhold	1:1	1:3	2:1:9	1:1:6	1:2:9	1:3	1:1:6	1:3

### Mekaniske egenskaber:

Trykstyrke	1	1*	2	3	3	3	4	4
Bøje-træk-styrke	2	2*	4	4	3	3	2	1
Elasticitet	4	4	3	3	3	2	1	1

### Fugtkemiske egenskaber:

Kapillarsugning	4	3	2	2	2	2	1	1
Udtørring	4	4	3	2	2	2	1	1
Frostfasthed	3	4	4	4	4	4	3	3

### Håndværksmæssige egenskaber:

Bearbejdighed	4	4	4	3	3	3	2	1
Vedhæftning	3	3	3	3	4	4	3	3
Hærtningsmønster og –hastighed	1	1	3	3	3	3	4	4

1\* + 2\* : Ved sand med korrekt kornkurve forbedres trykstyrke og bøje-trækstyrke til 3-4

**Vurderingsskala** fra 1-4, hvor tallet 4 har de bedste egenskaber

*Skema over en indbyrdes vurdering af de 8 mest almindelige mørteltypers mekaniske egenskaber, fugtkemiske egenskaber og håndværksmæssige egenskaber. Vurderingsskala fra 1-4, hvor tallet 4 repræsenterer de bedste egenskaber*



## Luftkalkmørtler og hydrauliske kalkmørtler i dansk byggeri

### Gamle og nye betegnelser

Alm. Navn	Gl. betgn.	Rummål (volumen)	Vægtmål (tørvægt)	Ny betgn.	Bem.
Luftkalkmørtel <i>Lufthærdende kalkmørtel</i>	K	1:3	100/750	CL	'ren' kalkmørtel
Naturlig Hydraulisk Kalkmørtel ( <i>Vandhærdende</i> )	Kh	1:3	100/400	NHL 2,0; 3,5; 5,0	Fås med 3 trykstyrker 2,0, 3,5 og 5,0 MPa
Hydraulisk kalkmørtel <i>Vandhærdende kalkmørtel</i>	KKh	2:1:9	50/50/575	NHL-z 2,0	'Juramørtel'
Hydraulisk kalkmørtel <i>Vandhærdende kalkmørtel</i>	KKh	1:1:6	35/65/500	NHL-z 3,5	'Juramørtel'
Hydraulisk kalkmørtel <i>Vandhærdende kalkmørtel</i>	KKh	1:2:9	20/80/475	NHL-z 5,0	'Juramørtel'
KC-mørtel <i>Vandhærdende kalkmørtel</i>	KC	2:1:9	50/50/575	HL 2,0	'Bastardmørtel'
KC-mørtel <i>Vandhærdende kalkmørtel</i>	KC	1:1:6	35/65/500	HL 3,5	'Bastardmørtel'
KC-mørtel <i>Vandhærdende kalkmørtel</i>	KC	1:2:9	20/80/475	HL 5,0	'Bastardmørtel'
C-mørtel <i>Vandhærdende</i>	C	1:3	100/400	HL ?	'Grus og cement'

### Produkter og produktnavne:

- Kalkmørtel af tørlæsket kalk. (K-mørtel)**  
Sand/grus og hydratkalk blandes med vand i en blandemaskine. Sælges under navnet **strandmørtel**, **bakkemørtel m.m.** Anvendes til opmuringsmørtel eller til indvendig eller udvendig puds. Strandmørtel anbefales kun til indvendig brug.
- Kalkmørtel af vådlæsket kalk = kulekalksmørtel. (Kulekalksmørtel)**  
Sand/grus blandes med kulekalk-dej og vand i en tvangsblender ved lang blandetid. Anvendes til opmuringsmørtel eller til indvendig eller udvendig puds.
- Læskemørtel.**  
Består af brændt kalk/stykkalk, som læses med vand i en kalkkule **sammen med** sand/grus. D.v.s. at den færdigblandede mørtel læses og lagres i kalkkullen. Lagringstiden behøver her kun at være 2-3 måneder. Anvendes til opmuringsmørtel eller til udvendig eller indvendig puds.
- Hydraulisk kalkmørtel. (Kh-mørtel)**  
Består i sin grundform af ulæsket hydraulisk kalk, som tilsættes sand/grus og vand i en tvangsblender. Hydraulisk kalkmørtel kan også fremstilles ved at blande kalkmørtel eller kulekalksmørtel med minimum 30% hydraulisk kalk + sand og vand. Benyttes den importerede jura-kalk, kaldes mørtelen for **juramørtel**. Man kan også gøre kalkmørtelen hydraulisk ved at iblande knust, brændt ler (teglstensknus/teglmel). Hydraulisk kalkmørtel anvendes til opmuring eller pudsning på **udsatte steder** (sokler, skorstene, fritstående mur etc., hvor ren kalkmørtel ofte ikke kan holde)
- Cementmørtel = cementpuds. (C-mørtel)**  
Består af portlandcement tilsat sand/grus og vand. En meget hård mørtel/puds, som kan anvendes til særlige arbejder som trappebelægning, gulvbelægning, facadedekorationer el.lign. Kalkning binder ikke på cementpuds.
- Kalkcementmørtel. (KC-mørtel)**  
Blanding af kalkmørtel og portlandcement (min. 30%). Er hårdere end hydraulisk kalkmørtel og derfor ikke anvendbar sammen med ældre murværk. Kaldes KC-mørtel, normmørtel, muremørtel etc. Kalkning binder ikke på KC-mørtel.
- Farvet puds = indfarvet puds = indfarvet mørtel.**  
Kalkmørtel, kulekalksmørtel eller hydraulisk kalkmørtel tilsat kalkægte farvepigmenter op til 6% af kalkdelen. Bør altid overfladebehandles med farvet kalkvand eller kalkfarve for at give en ensartet overflade og farve. Den farvede puds "forlænger" samtidig kalkfarvens levetid.



## **Mørtlernes anvendelses-områder**

### **Mørteltype I : K 1:1 vægtmål: 100/250**

Indvendig finpuds (sand 0 - 0,4 mm),  
Slutmørtel til udvendige gesimser og bånd.

### **Mørteltype II : K 1:3 vægtmål: 100/750**

Opmuring af murværk  
Fugning af murværk  
Indvendig finpuds til vægge og lofter  
Udvendig grov og finpuds samt tyndpuds.

### **Mørteltype III : KKh 2:1:9 vægtmål: 50/50/575**

Indvendig finpuds til vægge og lofter  
Understrygning af tegltage (iblandet fæhår)

### **Mørteltype IV : KKh 1:1:6 vægtmål: 35/65/525**

Opmuring og fugning af murværk  
Indvendig finpuds  
Udvendig grov og finpuds samt tyndpuds.

### **Mørteltype V : Kkh 1:2:9 vægtmål: 20/80/475**

Sokkelpuds samt puds på udsatte steder  
Fugning af udvendige granit-trapper

### **Mørteltype VI : Kh 1:3 vægtmål: 100/400**

Sokkelpuds samt puds på udsatte steder  
Fugning af udvendige granit-trapper

### **Mørteltype VII : KC 1:1:6 vægtmål: 50/50/750**

Opmuring af skorstenspiber  
Fugning af rygsten, gratsten og brandkamme  
Fugning af udvendige granit-trapper

### **Mørteltype VIII: C 1:3 vægtmål: 100/325**

Reparationer på udvendige betontrapper  
Fugning af gulvfliser/gulvklinker/gulvtegl (men ikke mursten)  
Ellers ikke anbefalelsesværdig på ældre bygninger



*Chiesa San Giorgio Maggiore, Venezia er pudset med kalkpuds, der er gjort hydraulisk med teglmel, hvad der giver pudsens en smuk teglrod farve – se selve blandingen af pudsens side 3*



## Mørtelblandinger

### Mørtel til indvendig puds eller berapning på vægge og lofter

- I: 29% luftkalkmørtel K: 1:1 (100/250). Sand: 0-2 mm eller som eksisterende puds.
- II: 12% luftkalkmørtel K: 1:3 (100/750). Sand: 0-2 mm eller som eksisterende puds.

### Opmuringsmørtel

- II: 12% luftkalkmørtel K: 1:3 (100/750). Sand: 0-4 mm eller som eksisterende.
- III: Hydraulisk kalkmørtel KKh 1:2:9 (20/80/475). Sand: 0-4 mm eller som eksist.

### Mørtel til udvendig, dækkende puds (grov-og-finpuds) på facader, m.m.

- II: 12% luftkalkmørtel K: 1:3 (Tørvægt: 100/750).  
Pudsens opbygges i to lag, et groft udkast og en fin slutpuds. Der må ikke grundes eller svømmes med en tynd mørtel, men bunden skal forvandes godt.  
Sand: Til *grovpudd*: 4- 8- max 10 mm.  
Til *finpudd*: Fra meget fint stenmel (00) til 4 mm. eller som eksisterende.
- III: Hydraulisk kalkmørtel KKh 1:2:9 (Tørvægt: 20/80/475).  
Pudsens opbygges i to lag, et groft udkast og en fin slutpuds. Der må ikke grundes eller svømmes med en tynd mørtel, men bunden skal forvandes godt.  
Sand: Til *grovpudd*: 4- 8- max 10 mm.  
Til *finpudd*: Fra meget fint stenmel (00) til 4 mm. eller som eksisterende.

### Mørtel til udvendig tyndpuds: Vandskuring, sækkeskuring og filtsning

- II: 12% luftkalkmørtel K: 1:3 (100/750). Sand 00-0,5 mm eller som eksisterende.
- III: Hydraulisk kalkmørtel KKh 1:2:9 (20/80/475). Sand 0-0,5 mm eller som eksist.  
3 dele sand blandes med 2 del hydraulisk kalk, hvorefter 1 del lagret kulekalk tilsættes, og til sidst de resterende 6 dele sand + den nødvendige vand-mængde. Blandetid ca. 20 min. i tvangsblender.  
Murværket skal forvandes godt inden påførslen af tyndpudden.

### Sandkalk (svumning (tyndpuds), der påføres med kost)

4 rummål kulekalk. 1 rummål fint kvartssand 0-0,3 mm eller 0-0,05 mm. 3 rummål vand.  
Sandkalk påføres med skumgummi filtsebrædt eller med kalkkost. Der skal røres i blandingen hele tiden for at undgå at det fine sand synker til bunds.

### Mørtel til udvendig puds på udsatte steder, f.eks. søkler og udkragede bånd

- III: Hydraulisk kalkmørtel KKh 1:2:9 (Tørvægt: 20/80/475).  
3 dele sand blandes med 2 del hydraulisk kalk, hvorefter 1 del lagret kulekalk tilsættes, og til sidst de resterende 6 dele sand + den nødvendige vand-mængde. Blandetid ca. 20 min. i tvangsblender.  
Pudsens opbygges i to lag, et groft udkast og en fin slutpuds. Der må ikke grundes eller svømmes med en tynd mørtel, men bunden skal forvandes godt.  
Sand: Til *grovpudd*: 4- 8- max 10 mm.  
Til *finpudd*: Fra meget fint stenmel (00) til 4 mm. eller som eksisterende.

### Mørtel til fugning af murværk

- III: Hydraulisk kalkmørtel KKh 1:2:9 (20/80/475). Sand: 00-4 mm eller som eksist.

### Mørtel til muring og fugning af skorstenspiber, fugning af rygsten og gratsten m.m.

- IV: Hydraulisk kalkmørtel KC: 1:1:6 (Tørvægt: 50/50/750). Sand: 0-4 mm  
Arbejdet må ikke udføres på tidspunkter, hvor der kan forventes frost.

### Mørtel til fuger ved vinduer samt understrygning af tegltage

- V: Hydraulisk kalkmørtel: KKh 2:1:9 (rummål) 50/50/575 (tørvægt). Sand 00-4 mm.  
3 dele sand blandes med 1 del hydraulisk kalk, hvorefter de 2 dele lagret kulekalk (min 1 år) tilsættes, og til sidst de resterende 6 dele sand + den nødvendige vand-mængde. Blandetid ca. 10 min. i tvangsblender. Der iblandes yderligere ca. 5 liter *fæhår* (kohår) per 100 liter mørtel.



## L i t t e r a t u r

### **Murværk og mørtel:**

Brøgger, Poul m.fl.: *Kirkens mørtel og kalk*. Kirkeministeriet, København 1990

Brøgger, Poul m.fl.: *Kirkens murværk*. Kirkeministeriet, København 1990

Skandinavisk Jura-kalk Aps: *Bygningsbevaring*. 3. udg. 1995

SBI-Anvisning 223: *Murværk, materialer og egenskaber* (1992 og 1997)

Information om Bygningsbevaring: *Mørtel*. Kulturstyrelsen 2012 (Søren Vadstrup)

*Murerbogen 1. Murerfaget*. Erhvervsskolernes Forlag, Odense 1996

*Murerbogen 2. Materialelære*. Erhvervsskolernes Forlag, Odense 1996

*Murerfaget. Puds - før og nu*. Erhvervsskolernes Forlag og MURO, Odense 1999.

Vadstrup, Søren: *Huse med sjæl*. Gyldendal 2004

Vadstrup, Søren: *Bevaringsværdige bygninger – sikring af bevaringsværdier*. Socialministeriet 2008

### **Overfladebehandling af murværk:**

BYG-ERFA 910415: *Maling af pudsede facader*.

BYG-ERFA 930901: *Kalkning og maling af ældre facader*.

Information om Bygningsbevaring: *Kalkning*. Kulturstyrelsen 2012 (Søren Vadstrup).

Information om Bygningsbevaring: *Overfladebehandling af murværk*. Kulturstyrelsen 2012 (Søren Vadstrup)

Jessen, Curt von, m.fl.: "Landhuset" Gyldendal, København 1975. (side 110-118)

Jessen, Curt von, m.fl.: "Byhuset" Gyldendal, København 1980. (side 203-224)

### **Vedligeholdelse af murværk**

BYG-ERFA 860415: "Forvitring af murværk fremkaldt af krystalliserende salte".

BYG-ERFA 871218: "Saltudblomstringer på murværk"

MURO: "Vejledning i vedligeholdelse af murværk og tegltage" København 1991.

Larsen, Poul Klenz: *Saltskader på ældre murværk*. ARKITEKTEN, nr. 26, 1997, side 7-13.

Teknologisk Institut Murværk: *Renoveringshåndbogen. Mur & Tag*. Forlaget Tegl, 1999.

Vadstrup, Søren: *Gode råd om vedligeholdelse og istandsættelse af facader*. Raadvad-Centeret 1999

### **Andet**

Lange, Bente (1996): *Københavns Farver*. København 1996

Vadstrup, Søren: *Klassiske pigmenter til facadefarver*. 24 håndopstrøgne farvekort i den klassiske jordfarveskala. Raadvad-Centeret 1999.





## **KOMPENDIER**

til Kulturarv, Transformation og Restauring  
af Søren Vadstrup 2011-2014

### **Historiske byggematerialer**

- 01 TEGL, mursten og terracotta
- 02 LÆSKET KALK, mørtel og puds til bygningsrestauring
- 03 KRIDTSTEN som byggemateriale
- 04 TRÆ, historie, brug og bevaring
- 05 PIGMENTER - de klassiske pigmenter
- 06 MALING - de fem klassiske bindemidler til maling
- 07 HVIDTEKALK og kalkfarver
- 08 GIPS, stuk og stukkatorarbejde
- 09 GLAS - rudeglas og termoruder
- 10 SMEDEJERN og essesmedning (under udarbejdelse)
- 11 STØBEJERN og jernstøbning (under udarbejdelse)
- 12 MESSING OG BRONZE (Under udarbejdelse)

### **Historisk byggeteknik**

- 01 MURVÆRK og puds
- 02 TRÆFACADER - historisk, teknisk og arkitektonisk
- 03 BINDINGSVÆRK - historisk, teknisk og arkitektonisk
- 04 LERJORDSHUSE - med lerklining, adobe, pisé og wellerwände
- 05 KRIDTSTENSHUSE
- 06 FACADEDEKORATIONER i puds, gips og kunststen
- 07 VINDUER af træ - historisk, teknisk og arkitektonisk
- 08 CURTAIN WALL facader - historisk, teknisk og arkitektonisk
- 09 TAGVÆRKER 1750-1950
- 10 TEGLTAGE og genoplægning af tagsten
- 11 SPÅNTAGE
- 12 PAPTAGE

### **Restauring og energiforbedring**

- 01 Patinering af facader og facadeafrensning
- 02 Afrensning af plastikmaling på træ, murværk og puds
- 03 Salte i murværk
- 04 Dampspærrer og fugtbuffer i bygninger
- 05 Energiforbedring af vinduer
- 06 Energiforbedring af bindingsværk
- 07 Energiforbedring af bevaringsværdige bygninger
- 08 Isoleringsmaterialer