

Ny viden om K A L K, mørtel og puds til bygningsrestaurering



Af Søren Vadstrup.

e-mail: soren.vadstrup@kglakademi.dk



Ny viden

Nye fagudtryk

- Luftkalk og luftkalkmørtel side 3
- Diodepuds – fine porer uden på grove porer, skaber et 'ensrettet kapillært sug' side 10
- Kapillaråben overflade – modsat 'diffusionsåben'. side 10
- De klassiske materialer og håndværksmetoder (muresteknikker)

De klassiske murematerialer og muresteknikker omfatter:

- Luftkalkmørtel med korrekt kornkurve, evt. fremstillet som 'læskemørtel'
Kan anvendes til muremørtel til opmuring i én etage, til dækkende puds og til tyndpuds
- Luftkalkmørtel udført som en 'diodepuds' (eller 'diodefuger') af to lag mørtel, grovkornet inderst og finkornet yderst.
- Hydraulisk kalkmørtel kan anvendes til udsatte steder (skorstenspiber, brandkamme, evt. sokkelpuds) i tre styrker: 2,0 MPa, 3,5 MPa og 5,0 MPa.

Til reparationer på ældre murede bygninger

Må man *aldrig* anvende en KC-mørtel, d.v.s. en muremørtel, bestående af en blanding af Portlandcement og luftkalk (der udelukkende anvendes i dag), men i stedet:

- En klassiske *luftkalkmørtel* (K-mørtel), fremstillet som en vådlæsket kulekalksmørtel 1:3
- En varmlæsket '*læskemørtel*' (Hot-Lime) i blandingsforholdet 3:1, 2:3 eller 1:1, som kan analyseres på 500-800 år gamle bygninger. Bl.a. fordi der anvendes meget lidt vand til blandingsforholdene 3:1, 2:3 eller 1:1, får man herved en usædvanlig kompakt, frostfast og holdbar mørtel og puds.

Nybyggeri i luftkalkmørtel

Helt nye forsøg på bl.a. DTU har vist, at luftkalk-mørtel kan opnå tilstrækkelig trykstyrke til at opfylde Mureværksnormen for nybyggeri af bl.a. enfamiliehuse. Derfor markedsføres der nu en normmørtel med specifikationerne 'K 100/400, M 1,5 MPa 12,5%'.

De i årevis fremførte ulemper ved luftkalkmørtelen, nemlig at den ikke har tilstrækkelig trykstyrke til at kunne anvendes i nybyggeri, og at den hærdet alt for langsomt, modbevises nu dels af nye videnskabelige forsøg – samt i øvrigt mere end 800 års praksis i Danmark og det danske klima.



Bindemidler

Resumé

Der findes 3 historiske bindemidler til mure- og pudsemørtler i Danmark: Luftkalk, hydraulisk kalk og cement.

Luftkalk

Luftkalk er et bindemiddel, der hælder med kuldioxid fra luften. Den fremstilles ved at brænde kalksten fra et kalkbrud i en kalkovn ved ca. 1000 °C. Ved denne proces afgiver kalkstenen kuldioxid. Den brændte kalk læskes herefter, dvs. der tilsættes vand, enten så lidt at kalken danner et pulver (hydratkalk), eller så meget at der dannes kalkdej. Kalkdejen kan lagres frostfrit i jorden i flere år, hvorved egenskaberne ændres og bindemidlet kaldes nu kulekalk. Når den læskede kalk, efter indmuring eller som puds, hælder til en hård kalksten igen, sker det kemisk ved at optage kuldioxid fra luften og afgive vand. Hærdningen med luft kaldes karbonatisering. Heraf kommer navnet "luftkalk", hvilket også er det almindelige udtryk i de fleste andre lande i Europa, bl.a. for at skelne denne "lufthærdende" kalk fra den "vandhærdende" hydrauliske kalk. Luftkalk har i dag betegnelsen CL (Calcium Lime).

Læskningen kan foretages på flere måder:

- *Hydratkalk* ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) produceres ved, at der til den brændte kalk (CaO), tilsættes netop så meget vand, der skal til for at danne hydratkalk som et tørt pulver. Processen kaldes *tørlæskning*. Hydratkalk anvendes i tørmørtler.
- *Kulekalk* ($\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}$) produceres ved, at den brændte kalk (CaO), læskes med rigeligt vand og derefter lagres i en Kalkkule (frostfri grav i jorden) som et blødt, dejagtigt stof.
- *Læskemørtel*, hvor den brændte kalk læskes sammen med sandet – se senere under 'Murerfagets mørteltyper'

Hydraulisk kalk

Hydraulisk kalk er et bindemiddel der hælder både med luft (karbonatisering) og vand (hydratisering), fordi det indeholder både luftkalk og såkaldte klinkerminerale. Navnet 'hydraulisk kalk' er afledt af det græske ord 'hydro' for vand.

Der findes to hovedtyper hydraulisk kalk:

- *Naturligt hydrauliske kalktyper*, benævnt NHL (Natural Hydraulic Lime), der fremstillet ved brænding og tørlæskning af lerholdige kalksten.
- *Andre hydrauliske kalktyper*, benævnt HL (Hydraulic Lime), der fremstilles af kalksten, der er inden brændingen bliver blandet med ler eller bjergarter, der indeholder silicium-, jern- eller aluminiumforbindelser. Efter brændingen tørlæses materialet.
- Blanding af *luftkalk* og *naturlig hydraulisk kalk + sand*, såkaldt KKh-mørtel, i 3 'klassiske' blandingsforhold: 1:2:9, 1:1:6, 2:1:9 (rummål KKh 50/50/700, KKh 35/65/650 og KKh 20/80/550 (hvor den sidste opnår den højeste styrke).
- Man kan også fremstille *hydraulisk kalk* ved at blande 'brændt ler' i form af pulveriseret teglsten i luftkalken (brændt kalk og sand). Det giver en blegrodt mørtel-/puds. En anden mulighed er at blande vulkansk aske, såkaldt 'pozzulan' (Italien) eller 'trass' (Tyskland) i luftkalken.

I dag betegnes de hydrauliske kalktyper efter deres tryk-styrke i MegaPascal (MPa). NHL 5 angiver således en naturlig hydraulisk kalk med en trykstyrke på 5 MPa i henhold til den Europæiske Murværksnorm.

Cement

Cement fremstilles af råmaterialer, der indeholder kalksten, silicium, jern, og aluminiumforbindelser i et sådant blandingsforhold, at der kun dannes klinkerminerale ved brændingen. Brændingen foregår ved 1450 – 1500 °C i en skråtstillet roterovn. Råmaterialerne glider ned gennem ovnen og undervejs formes de til hårde kugler, såkaldte cementklinker. Cementklinkerne pulveriseres i en kuglemølle. Pulveret kan herefter hærde (hydratisere) alene med vand, hvilket foregår inden for de første timer og dage.

Cement har i dag betegnelsen HL (Hydraulic Lime), men det betegnes i Danmark fortsat med et C. Til murerarbejde anvendes mest Mestercement og Basicement, som begge er portlandcementer.

NB.: man skal være opmærksom på at både hydraulisk kalkmørtel og Cementmørtel (KC-mørtel) skal bruges *inden* 3 timer, og overskydende mørtel herefter kasseres. Hvis man genoprører en stivnet cementmørtel efter de 3 timer, mister denne både sine styrke- og holdbarheds-egenskaber.

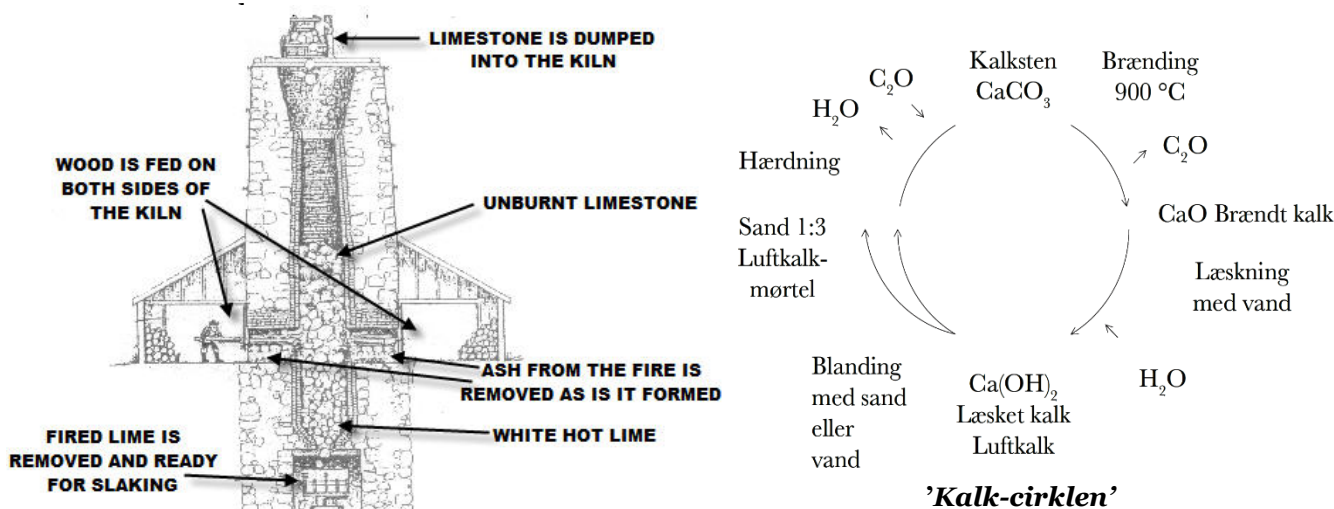
Luftkalk

Kalksten er en bjergart, hvis hovedbestanddel er Calciumkarbonat (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_2) i kalken og tilbage har man *brændt kalk* (CaO) i form som de oprindelige kridtsten,



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*.

Læsket kalk kan man *lagre* i længere tid i en jordgravet *kalkkule*, hvor den dejagtige kalk bliver mere og mere findelt. Denne kaldes også for *kulekalk*.

Hvis man blander den brændte kalk med sand 1:1, 1:2 eller 1:3 og hælder vand på denne blanding, så den brændte kalk læsker *sammen med* sandet, får man *læskemørtel*.

En variation af læskningen er den såkaldte *tørlæskning*, 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. Tørlæskning 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 my, langt under hydratkalkens på 50-100 my. 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/karbonatiseringen af læsket kalk = luftkalk

Når læsket 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.

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

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 alunskiffer 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, slagger mm.

I Danmark havde vi kun 2 forekomster af lerholdig kalk, der kunne give en naturlig hydraulisk kalk, nemlig Klintebjergkalken 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 modefarven 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 hurtighærdende og fordrer derfor mere gips. Miljøkrav til en højere grad af afsvojlning 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 indvendigt 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.

Portlandcement har den særlige egenskab i forhold til luftkalk og hydraulisk kalk, at den kan *støbes*. Hvis den blandede cementmasse hældes ned i en støbeform, der kan skilles ad, bliver den hærdede genstand uhyre stærk og formfast. Det udnytter man bl.a. i støbning af *beton* (portlandcement, grus, skørver og vand) eller *jernbeton* (betonstøbning armeret med et indvendigt net af jernstænger).

Da portlandcementen kom frem i slutningen af 1800-tallet var det vigtigste anvendelsesområde således *støbte facadedekorationer* i cement.



Historicistisk bygning i Esbjerg med støbte facade-dekorationer i portland-cement. Det giver et meget smukt samspil mellem det glatte rødstensmurværk og de fremtrukne dekorationer omkring vinduer og døre – samt gesimser og bånd.

På denne måde blev portlandcementen og de støbte cement-dekorationer et af *historicismens* mest benyttede elementer, idet de støbte dekorationer til forveksling lignede de foregående stilarters *håndhugne naturstens-dekorationer*. Blot var de ret meget billigere.

Det var først langt senere, i 1950-erne og 60-erne at murerne begyndte at blande ’cement’ i opmuringsmørtlen til de almindelige murede huse. Og i 1968 blev det påbudt for alt nybyggeri i ’Murværksnormen’

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 fuge 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 er 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.

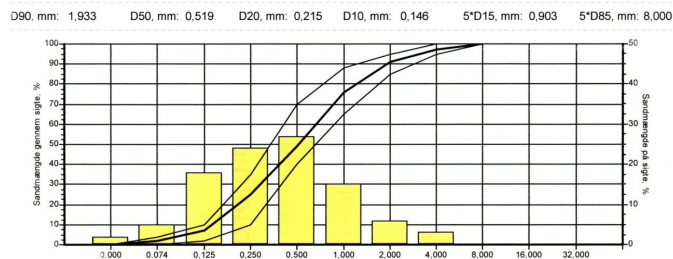
Det er meget vigtigt, at de byggematerialer, vi har indenfor nybyggeriet samt bygningsrestaurering og transformation af ældre bygninger, benyttes med den størst mulige viden i forhold til de forskellige materials fordele, ulemper, særlige egenskaber og særlige anvendelsesområder. De cementholdige og 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.



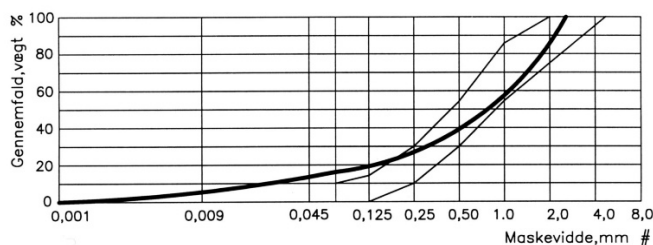
Kornkurvens indflydelse på mørtelens styrke

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 stenenes 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 og KC-mørtel Fordele/ulemper

Luftkalkmørtel/puds

- Meget lang holdbarhed (konkret 600 år)
- Diodevirkning – regulerer indvendig fugt
- Overfladebehandling med kapillaråben hvidtekalk
- Mindre CO₂-forbrug i dage/månedesvis
- Mindre CO₂-forbrug ved fremstilling
- Mursalte kan krystallisere uden på murværket
- Murstenene kan renses og genbruges efter brug

KC-mørtel/puds

- Foreløbigt 150 år – forvirrer ofte efter 40-50 år
- Ingen diodevirkning
- Diffusionsåbne overfladebehandlinger
- Skal bruges op indenfor 3 timer – må ikke genoprøres
- Kæmpe CO₂-udledning ved fremstilling
- Mursalte udkrystalliserer bag overfladen, og sprænger denne
- Murstenene er meget vanskelige at renses

Puds

Det våde, nyopblandede muremateriale, bestående af et bindemiddel (luftkalk, hydraulisk kalk eller cement – ofte blandinger af disse) og et tilslag (sand/grus) kaldes **mørtel**.

Når en mørtel benyttes som overflademateriale på murværk, og efterfølgende er hærdet, kaldes det **puds**. Puds findes i to former, *dækkende puds* og *tyndpuds*, med en række variationer indenfor disse to typer.

Dækkende puds

Dækkende puds kan udføres i en række variationer:

Pudsens egen farve

Strandmørtel – hvid til gråhvid – runde sandskorn, primært til indendørs puds.

Bakkemørtel – gråbrun – skarpe sandskorn. Primært udendørs, men også til indvendigt puds.

Farvet puds/ indfarvet puds

Farvet puds – bakkemørtel, indfarvet med kalkægte pigmenter (max. 7% (volumen) pigment)

Farvet puds rummer ofte en risiko for variation i mørkhed/lyshed efter bundens forskellighed i sugeevne m.m., synlige stilladsskel, udtræk af hvide pletter (calciumhydroxid), for 'grov' overflade karakter m.m. Der findes dog velbeskrevne modtræk mod disse ofte skæmmende ændringer. Et af modtrækkene er at afslutte farvet puds med 2 gange kalkfarve i samme farve.

Farvet puds + 2 gange kalkfarve i samme farve/med samme pigment bør derfor altid benyttes

Særlige overflader

Finpudset overflade. Overfladen gattes fint med et pudsebrædt, evt. en kardæsk, af træ.

Glittet overflade. Overfladen glittes med et stålbrædt.

Kæmnet/revet eller svirpet overflade (med en piassavakost)

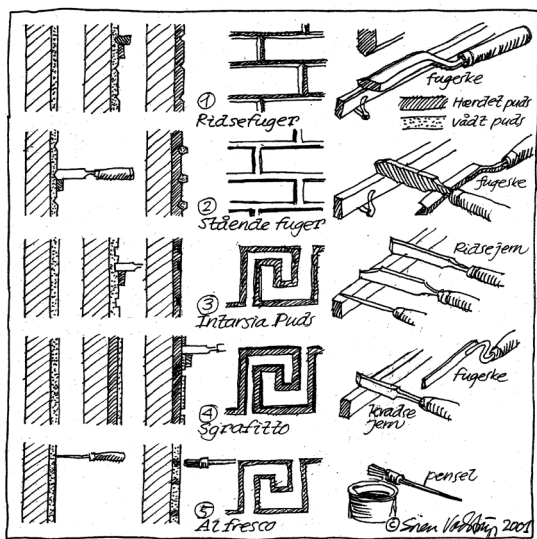
Stænkpuds/sprutpuds. Det yderste, grove mørtellag kastes gennem en sigte

Granitpuds. Der kastes knuste granit-småsten på den våde pudsoverflade.

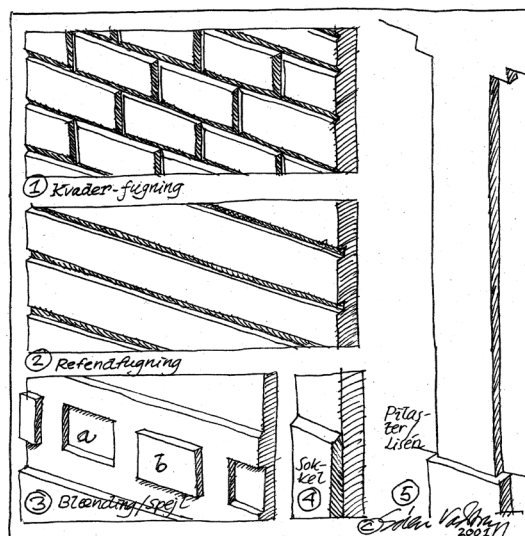
Dekorative pudsteknikker

Puds intarsia/ Intarsia-puds (f.eks. Sonnes frise på Thorvaldsens Museum)

Sgraffito (To pudslag i forskellig farve, oftest hvidt på sort/grå – der skrabes et mønster i det yderste pudslag, så farven i det inderste kommer frem)



Ridsefuger, stående fuger, intarsia puds, Sgraffito, al fresco



Kvaderpuds, refendfugning, blændinger og spejl, sokkelpuds og reliefaftryk

Facadedekorationer i puds, gips og Portlandcement

Kvaderpuds

Refendfugning/refendpuds

Blændinger og spejl

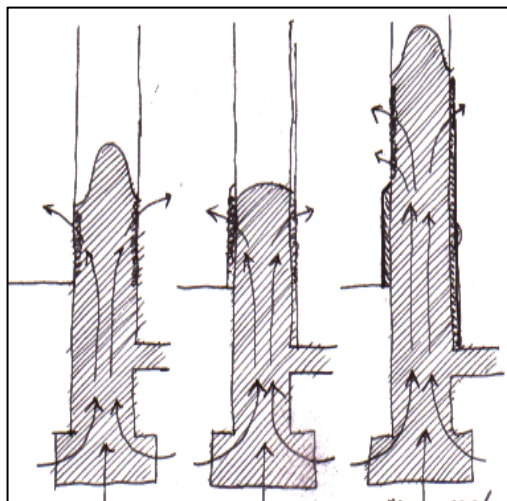
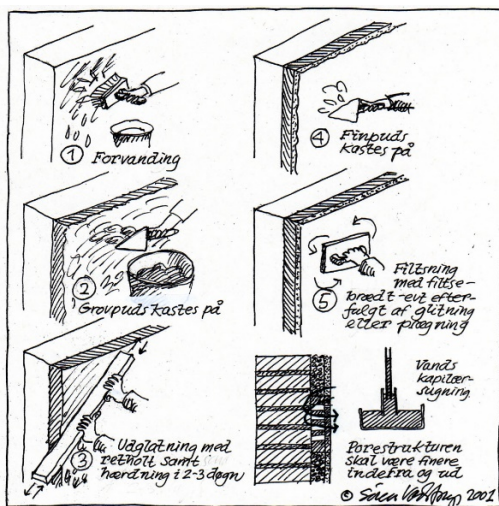
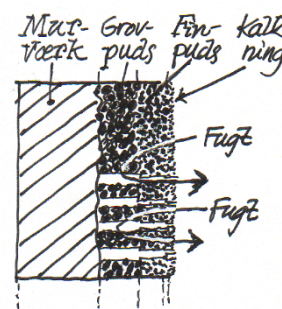
Puds med reliefaftryk

Trukne gesimser, indfatninger og bånd (på udkraget murværk)

Diodepuds

Udvendig dækkende puds kan udføres af en luftkalkmørtel eller en hydraulisk kalkmørtel i to udkast med forholdsvis groft sand (0-4 mm) i det underste lag og finere sand (0-2 mm) i det yderste lag. Derved vil vand og fugt 'trække udad' via de finere og finere porer i pudsens. Der skal ikke udføres en tynd 'svumning' med en tynd cementmørtel inden pudsningen, da man herved skaber en finporet 'fugtbarriere' inderst.

Man kalder denne teknik, hvor den dækkende puds opbygges i to lag af 'stigende finhed' udad, for *diodepuds*, idet den 'ensretter' vandtransporten i pudsens, så den fortrinsvis går fra grove porer til fine porer, d.v.s. indefra og ud. KC-mørtel/puds er ikke i stand til at etablere denne kapillar-effekt.



Princippet i den 'diodepuds', opbygget af to lag luftkalkmørtel med 0-4 mm sand i det inderste og 0-2 mm sand i det yderste lag – afsluttet med hvidtekalk eller kalkfarve. Opadstigende grundfugt gennem ældre murværk

Sokkelpuds som diodepuds

Bygninger, der er opført før omkring 1900 er hovedsagelig udført med murede sokler, d.v.s. med hårdtbrændte mursten, muret i luftkalkmørtel eller hydraulisk kalkmørtel, uden nogen form for fugtspærre. Derfor kan opadstigende grundfugt fra jorden suge op gennem murværket gennem både fuger og mursten. Da den opadstigende grundfugt altid vil medføre opløste salte, meget ofte natriumklorid fra tøsalthning, vil saltene udkrystallisere sig et stykke oppe på ydermuren, hvor de vil vokse i volumen og dermed nærmest 'pulverisere' mursten og fuger.

Ved at påfører et lag luftkalkmørtel på ca. 2 cm tykkelse på de nederste cirka 40-50 cm. på murværket, som såkaldt sokkelpuds. Pudsens kastet ud i 2 lag mørtel med et ca. 1-1½ cm tykt lag grovkornet mørtel inderst og et 1 cm trykt, mere finkornet (med finere sand i) lag yderst. Denne puds vil gennem sin 'diodestruktur' dels være relativt 'vandtæt' i sig selv, men dels også kunne skabe et så effektivt kapillært sug indefra og ud, at saltkrystallerne udkrystalliserer sig på ydersiden af sokkelpudsens, og ikke inde i denne. Her vil saltene kunne børstes af (NB. Ikke ned på terrænet foran soklen), og derved ikke volde skader inde i pudsens, gennem saltkrystallernes ekspansion ved udkrystallisationen.

Ved at give sokkelpudsens en anden, ofte mørkere farve end resten af facaden, ydermere trukket efter en skarp linje, ses saltskjolderne for neden i murværket ikke så meget. Man har på denne måde "løst" saltproblemerne både visuelt/æstetisk/kosmetisk og faktisk også teknisk, idet saltskaderne vil begrænse sig til sokkel-pudsens, der kan fjernes og nypudses med passende mellemrum, hvorved de vitale dele af murværket skånes. Sokkelpudsens på ældre bygninger skal derfor betragtes som et regulært "offer-lag", der skal skiftes ud med jævne mellemrum.

Det er i denne forbindelse meget vigtigt, at den pudsede sokkel ikke overfladebehandles med et tæt overfladebehandling, f.eks. sokkelasfalt, stenkulstjære, plastmaling eller lign. Så vil saltene blive inde i murværket og anrette skader under den tætte overflade, eller værre: Fugten og saltene vil stige højere op i murværket.

Sokkelpudsens skal derfor kalkes med grå kalkfarve eller males med silikatmaling. Ligeledes er det også vigtigt ikke at anvende cement-mørtel som sokkelpuds, der vil udgøre en alt for hård, tæt og fugtbremsende skal.



Tyndpuds

Ved tyndpuds, der som navnet siger, består af et enkelt, meget tyndt lag mørtel på en muret flade, kan man 'se' murværkets struktur, mursten, fuger, lunger og skævheder, gennem pudslaget. I dansk byggeskik forekommer der 3 forskellige former for udvendige facade-tyndpuds af stigende lagtykkelse på murværk:

Sækkeskuring

Sækkeskuring er ikke en 'tyndpuds', men benyttes udelukkende ved helt nyopmuret murværk, hvor der skal kalkes direkte på murstenene - uden tyndpudsning eller dækkende puds. Det er således en meget udbredt misforståelse, at en sækkeskuring kan benyttes på murværk - uden en efterfølgende overfladebehandling, eksempelvis kalkning.

Efter opmuringen udføres fugerne som *skrabefuger* med ekstra mørtelfyld, hvorefter den overskydende mørtel bearbejdes med sækkelærred (jutevæv), deraf navnet sækkeskuring. Sækken gnider den overskydende mørtel ind i diverse ujævnheder - dog ikke helt glat som vandskuring. Det meste af murstenenes ydersider står helt uden mørteldækning.

Vandskuring, stenskuring

En type meget tyndt *tyndpuds* på en mur - tyndere end *berapning* og *filtsning* - der udelukkende bør benyttes som underlag for en kalkning af murværket med *hvidtekalk* eller *kalkfarver* eller med en *kalkvandslasering*.

Vandskuring bør således ikke benyttes som en synlig overfladebehandling af murværket i sig selv, da den har et meget 'spættede' og uensartede udseende. Vandskuringens tynde mørtellag skal derfor kun dække diverse ujævnheder, lunger og huller i murstenene og fugerne, så overfladen bliver helt glat og danner en god og jævn bund for en efterfølgende *kalkning*.

Vandskuring udføres ved at lægge/kaste en finmørtel på det forvandede murværk med en murerske. Herefter *skures* mureverfladen med en våd mursten, der hele tiden dyppes i vand, så ujævnhederne, og kun disse, 'fyldes' med mørtel - og den overskydende mørtel 'skubbes' af. Hovedparten af murværkets glatte murstensflader skal stå udækkede af mørtelen. Mørtelen skal være en ren luftkalkmørtel, uden cement.

Berapning

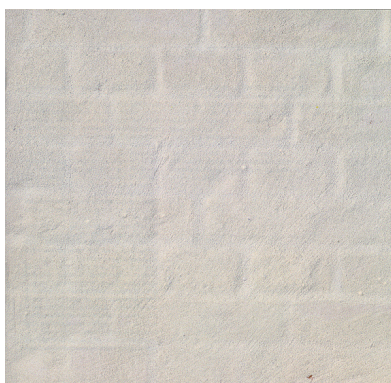
Berapningen udføres ved at lægge/kaste en finmørtel på det forvandede murværk med en murerske. Mørtellaget skræbes med kanten af murskeen, så det bliver jævnt og ca. 3-4 mm tykt. Mens mørtelen er våd afkastes overfladen med en fugtet kalkkost, med bevidst lagte, let synlige strøg.

Filtsning

Udførelse af et helt tyndt mørtellag på en mur med et vådt filt- eller skumgummibeklædt *filtsebræt*. Der benyttes en luftkalkmørtel (0-2 mm sand), uden cement. Filtsebrættet bevæges med roterende bevægelser på overfladen. Resultatet skal være en helt jævn, tyndpudset overflade. Hvis der filtses for længe og for vådt på samme sted, bliver mørtelens bindemidler let udvandet og efterlades i afgrænsede områder, så sand og bindemiddel adskilles på mureverfladen.



Vandskuring



Berapning



Filtsning

Farvet puds

Udover lagtykkelsen kan man også variere farven på tyndpudsen, dels naturligt gennem valget af sand eller grus i mørtelen, henholdsvis kold grå som strandsand, eller varm gråbrun som bakkesand, dels farvet ved tilsætning af kalkægte pigmenter til pudsemørtelen. Farvevalget er dog begrænset af murstenenes farve, som tyndpudsen ikke kan stikke voldsomt af fra. Se også: Vadstrup, Søren: [Udførelse af farvet puds på uens sugende bund](#).

Luftkalkmørtel til nyopmuring og 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 er 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

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

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



Efter 30 minutter

Analyser i elektron-mikroskop viser, at de første kalkkrystaller, der dannes er bittesmå, hvorefter de næste, i næste lag bliver større og større. Det betyder at luftkalken under hærdningen danner en slags diodevirkning, hvor den kapillære 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, med mange grove sandskorn, ud i bunden, og med en mere finkornet puds udenpå. Se nærmere side 10.



Efter 120 minutter – 2 timer

Ved nyt murværk, opmuret med luftkalkmørtel, kan fugernes yderside gøres helt 'vandtæt' 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.

Virkningen 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



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:

Bearbejdelighed	4	4	4	3	3	3	2	1
Vedhæftning	3	3	3	3	4	4	3	3
Hærdningsmønster 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



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
Understrykning 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 teglrød 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).
Pudsen opbygges i to lag, et groft udkast og en fin slutpuds. Der må ikke grundes eller svummes 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).
Pudsen opbygges i to lag, et groft udkast og en fin slutpuds. Der må ikke grundes eller svummes 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 0-0,5 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 tyndpudsen.

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. sokler 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.
Pudsen opbygges i to lag, et groft udkast og en fin slutpuds. Der må ikke grundes eller svummes 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: 0-4 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 0-4 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.



SKEMA over gamle og nye betegnelser for mørtler

Alm. Navn	Gl. betgn.	Rummål (volumen)	Vægtmål (tørvægt)	Ny betegnelse	Bem.
Luftkalkmørtel <i>Luftihærdende 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'

Produktnavne og begreber

- 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 læskes med vand i en kalkkule **sammen med** sand/grus. D.v.s. at den færdigblandede mørtel læskes 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.



Luftkalk

(Hærder ved hjælp af luftens kuldioxid (CO₂)).

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. Blandes i mørtel til luftkalkmørtel (1:3) eller til kalkning (1:5).
- 5: **Kulekalk = Vådlæsket kalk = Kulekalkdej.** (K)
Består af brændt kalk/stykkalk, som læses med rigeligt vand i en kalkkule og lagrer i ca. 2 år. Kalken findes 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/grå 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. Findes ikke på markedet mere.
- 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

Begreber

Hvidtekalk	=	Læsket kalk blandet med vand 1:6 Hærder v.h.a. luft/kuldioxid
Kalkmørtel (K)	=	Upræcist udtryk, da 'kalkmørtel' også bruges om 'hydraulisk kalkmørtel' Man bør i stedet bruge termen 'luftkalkmørtel', der ikke kan forveksles.
Luftkalkmørtel	=	Læsket kalk blandet med sand 1:3. Hærder v.h.a. luft/kuldioxid
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 lermineraler eller aske) brændes ved 1400°C til meget hårde, glasagtige 'cementklinker'. Klinkerne knuses til pulver og tilsættes forsk. aggregater, bl.a. gips Når cementpulveret tilsættes vand hærder det v.h.a. vandet til en hård, stenagtig masse (Latin: <i>caedimentum</i> = stenagtig, senere, på vore breddegrader kaldt <i>cement</i> eller Portlandcement.
Kalk-cementmørtel (KC-mørtel):		Luftkalkmørtel iblandet portlandcement i 4 forskellige forhold: Vægtmål: KC 60/40/850, KC 50/50/700, KC35/65/650 og KC 20/80/550 (hvor den sidste opnår den højeste styrke).



Litteratur

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 64: *Mørtel, muring og pudsning*. (2. udg. 1981)

Information om Bygningsbevaring: *Mørtel*. Kulturstyrelsen 2014 (Søren Vadstrup)

Murerbogen 1. Murerfaget. Erhvervsskolernes Forlag, Odense 1996

Murerbogen 2. Materiale lære. 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:

Information om Bygningsbevaring: [Kalkning](#). Kulturstyrelsen 2014 (Søren Vadstrup).

Information om Bygningsbevaring: [Overfladebehandling af udvendigt murværk og puds](#). Kulturstyrelsen 2014 (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.

Vadstrup, Søren: *Huse i farver*. Forlaget Book Lab, 2021

Vadstrup, Søren: [Kalkning med hvidtekalk og kalkfarver – på uens sugende bund](#). www.bevardithus.dk.