

# **KALKPUTS 2**

**Historia och teknik – redovisning av  
kunskaper och forskningsbehov**

**Byggnadsstyrelsen • Fortifikationsförvaltningen • Riksantikvarieämbetet**

# **KALKPUTS 2**

**Historia och teknik – redovisning av  
kunskaper och forskningsbehov**

**Rapporten har utarbetats vid utvecklingssektionen på riksantikvarieämbetets vårdbyrå.**

**Huvudförfattare är arkitekt Ove Hidevark och ingenjör Ingmar Holmström.**

**För arbetet har funnits en samråds- och referensgrupp bestående av:**

**Björn Swanberg  
Byggnadsstyrelsen**

**Ejnar Berg  
Fortifikationsförvaltningen**

**Kerstin Alexandersson  
Lars Brandt  
Einar Brydolf  
Henrik Kjellberg  
Nils Arne Rosén  
Riksantikvarieämbetet**

**Kenneth Sandin  
Tekniska högskolan i Lund**

**Gunnar Jonsson  
Jan Lisinski  
ARKSAM AB**

**Lars-Erik Wargsjö  
Ernström & Co AB**

**Kartor och diagram:  
Charlotte Pauli**

**Lay-out:  
Jan Lisinski**

**Utgivare:  
Riksantikvarieämbetet**

**Distribution:  
Riksantikvarieämbetet  
Box 5405, 114 84 Stockholm  
Telefon: 08-5191 8000**

**ISBN 91-7192-602-X**

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord .....	4
Inledning .....	5

## **Ove Hindmark:**

### **Kalkputs, ett eftersatt historiskt forskningsområde**

Den aktuella situationen .....	6
Materialen .....	8
Hantverket .....	11
Forskningsmålsättning och arbetsmetodik .....	19
Det tillgängliga källmaterialet .....	20
Sammanfattande karaktärisering av forskningsbehovet .....	25

## **Ingmar Holmström:**

### **Kalkputs, dagens tekniska kunskaper och forskningsbehov**

Putsens uppgift .....	26
Antikvariska förutsättningar – tekniska konsekvenser .....	27
Livslängd – upprepat underhåll .....	28
Dimensionering av fasadputs .....	30
Putsmaterial förr och nu .....	33
Tillredning och putsning förr och nu .....	38
Putsens hårdnande .....	43
Putsens egenskaper .....	46
Putsen och underlaget .....	52
Färg på puts .....	54
Putsskador .....	55
Renoveringsmetoder .....	56
Analys och tester .....	59
Tidigare och pågående forskning .....	60
Forsknings- och utvecklingsbehov .....	66
Källförteckning .....	67

<b>Summary</b> .....	68
----------------------	----

## FÖRORD

Vid omputsning och avfärgning av äldre byggnader med kulturhistoriskt värde är det angeläget att ursprungliga material fortfarande kommer till användning. Till putsning av fasader användes förr alltid kalkbruk, till putsens avfärgning kalkfärg. Efter andra världskriget har emellertid putstekniken förändrats. Samtidigt har kunskaperna om äldre putsmetoder minskat varför vi idag många gånger vet alltför lite om hur kalkputsade fasader skall renoveras. Med anledning härav har byggnadsstyrelsen, fortifikationsförvaltningen och riksantikvarieämbetet inlett ett gemensamt utvecklingsprojekt om kalkputsningsfrågor. Projektets syfte är att förbättra kunskapen om material och metoder för vård av byggnadsminnesmärken, byggnadsminnen och kyrkor, som är skyddade enligt kulturminnesvårdens speciallagstiftning, liksom andra byggnader med kulturhistoriskt värde.

Denna skrift är den andra delredovisningen av projektet. I den anges principiella utgångspunkter för omputsning och avfärgning av kulturhistoriskt intressanta byggnader. Vidare sammanfattas dagens tekniska och historiska kunskaper samt forskningsbehov. Den första delredovisningen av projektet, skriften "KALKPUTS 1", redogör för en inventering av 220 st kalkputsningar och kalkavfärgningar som utförts i Sverige mellan åren 1960 och 1980.

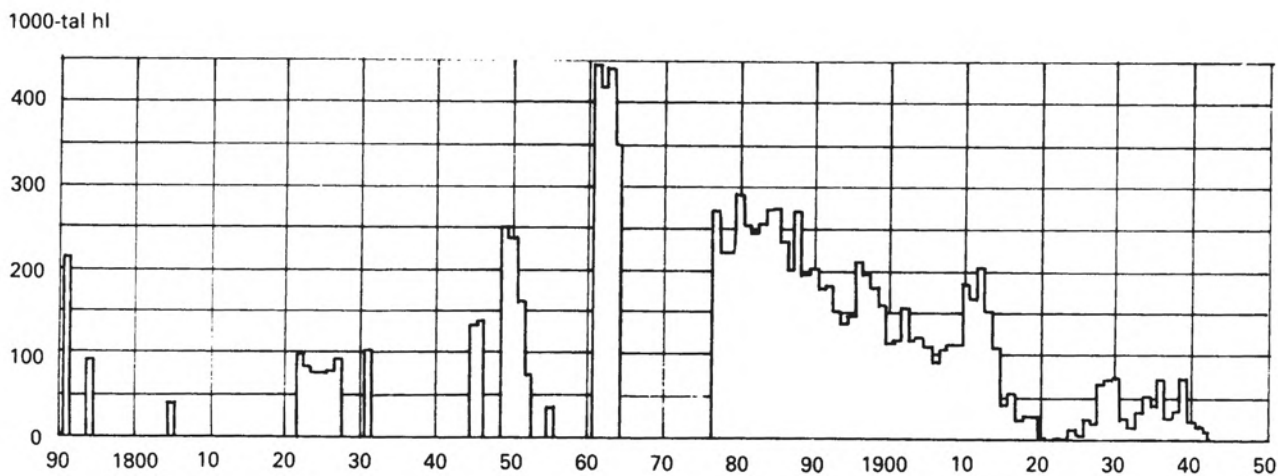
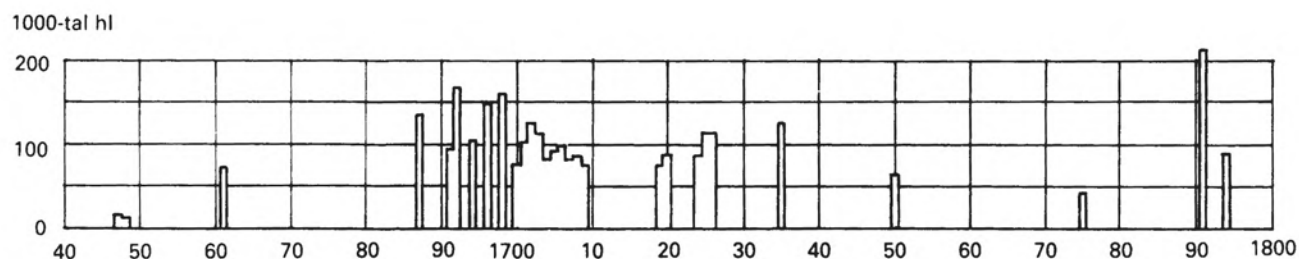
Avsikten är att den föreliggande skriften skall följas upp med råd och anvisningar för renovering av kalkputsade byggnader. Förhoppningen är att skriften dessutom skall intressera forsknings- och utbildningsinstitutioner samt vara till nytta för verksamma fackmän.

**Byggnadsstyrelsen • Fortifikationsförvaltningen • Riksantikvarieämbetet**

Vi vet ännu mindre om vilka spridningsområden som västgöta-, östgöta- och närkeskalken ägde. På motsvarande sätt måste även den skånska kalken, tillsammans med den danska, ha styrt byggnadsverksamhetens art och omfattning inom respektive region. Det kraftiga bälte av danienkalksten, ofta i kombination med flintgrus, som går från Bornholm upp över sydvästra Skåne och därefter i rak linje mot Limfjordsområdet i Jylland utnyttjades i enskilda brott under hela medeltiden. Som ovan nämnts var sättet att bygga något som både styrdes av och i sin tur påverkade råvarusituationen. Det handlar om en ständig växelverkan. För Skånes del avtog stenhusbyggandet under 1600- och 1700-talen kraftigt, vilket gav till resultat att det i början av 1800-talet endast fanns 2–3 kalkbrott i drift i Skåne: Limhamn, Ignaberga och eventuellt Östratorp intill Smygehuk. 1800-talets senare del uppvisar för Skånes del i gengäld ett kraftigt uppsving, parallellt med en markant industriell framväxt, knuten till ett intensivt tegelbyggande på landsbygd och i tätorter. Vid århundradets slut var antalet kalkbruk över 20, huvudsakligen koncentrerade till sydvästra och nordöstra Skåne. Många av kalkbruken låg vid kusten och erbjöd därigenom möjligheter till långväga transporter. Under delar av 1900-talet har den skånska byggnadskalkens spridningsområde varit betydande och nått mellansverige och vänerområdet.

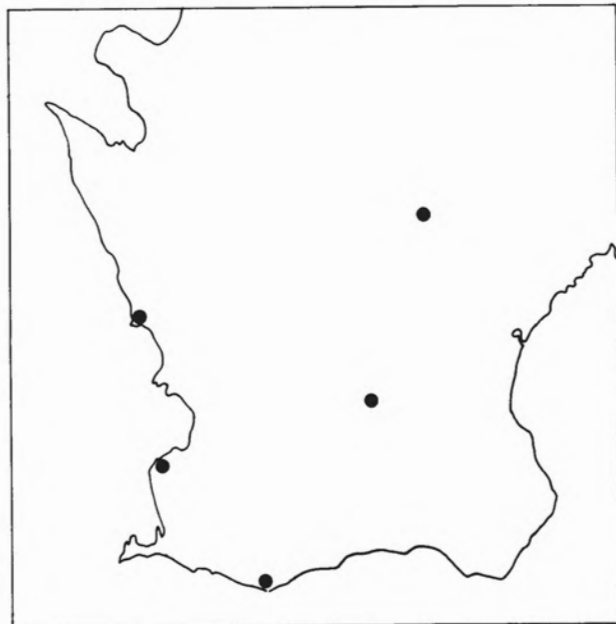
Att söka kartlägga kalkanvändningen och kalkimporten i de områden som i sig själva saknar kalksten och som därmed är beroende av import borde vara av speciellt intresse. Sådana områden är i första hand Norrland (undantaget Jämtland), det tidigare nämnda Uppland, södra delarna av Östergötland och Västergötland, Småland (med undantag för kustremsan innanför Öland) samt Halland, Blekinge och Bohuslän. Alltifrån medeltiden och framöver har trots råvarubristen en mängd kalkbrukskrävande byggnader uppförts i dessa områden. Utan en primär översikt av geologiskt möjliga förekomster, jämförd med de betydligt färre, bearbetbara och industriellt utnyttjade förekomsterna, är det svårt att få en tydlig, konkret bild av kalkens och kalkbrukets historia i Sverige. Intimt kopplad till kalkindustrin är dessutom dess specifika försäljningssituation, dvs skiftande transportsystem med närmarknad och fjärrmarknad. Det vore också av intresse att söka reda ut i vilken grad bränd men osläckt kalk förekommer i transporterna i relation till släckt kalk eller till den rena råstenen. Utfallet beror sannolikt av köparens tillgång eller brist på virke för att bränna sin kalk på byggplatsen, kanske också på priset.

Som tidigare antytts bidrar inte kalken ensam till att bereda kalkbruk. Även sand och vatten behövs i olika



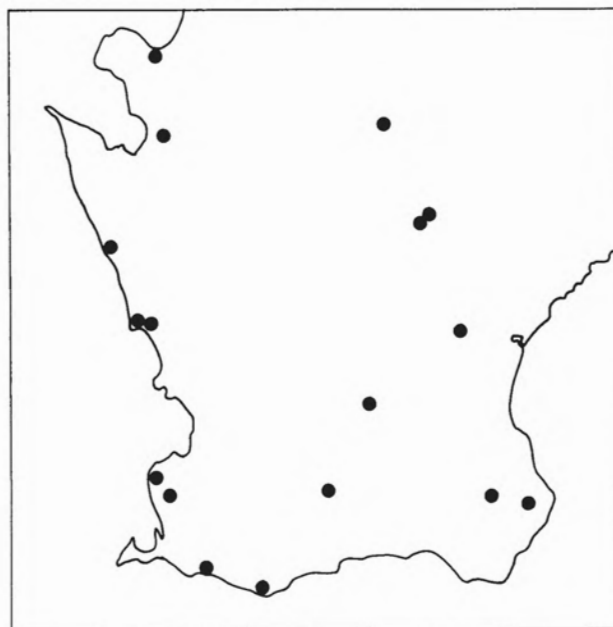
Figur 3. Diagram över Gotlands kalkexport. Efter "Om kalkindustrin på Gotland", H. Munthe, L. Way-Matthiesen och H. Hansson. Stockholm 1945.

processled. Det är dock knappast troligt att typen av sand, vid sidan av kalken, spelat någon avgörande roll. Det är främst frågor om skarpkantat respektive slipat sandmaterial som kommenteras i äldre tid – vanligtvis också sandens renhet från olika biämnen som salter eller humusrester. Sand är så allmänt och likartat förekommande i landet att den troligen inte



Figur 4. Skånska kalkbruk omkring år 1800. Efter "Skånes jord- och stenindustri", Lars Bjerning. Hälsingborg 1947.

bidrar till någon intressant aspekt på kalkbrukets skiftande kvalitet. En analys av sandens karaktär och ursprung leder därför sannolikt inte särskilt långt. Det är först vid tillredningen som kornstorlek, gradering och färg blir föremål för viktiga överväganden. Den mineralogiska kvaliteten spelar i det enskilda fallet sannolikt en obetydlig roll.



Figur 5. Skånska kalkbruk omkring år 1900. Efter "Skånes jord- och stenindustri", Lars Bjerning. Hälsingborg 1947.

## HANTVERKET

I grova drag har vi i första hand använt oss av släckt kalk för att tillreda murbruk och putsbruk samt för avfärgning av färdiga murytor. Vår svenska tradition sträcker sig i detta sammanhang över nära ett årtusende, medan europeisk tradition inom samma område förlorar sig i historiens töcken. Det är därför naturligt att tillredningsmetoder eller utförandep Praxis kommit att växla betydligt över såväl region som tid. Att vår svenska situation utgått från en i ett tidigt skede etablerad kunskapsimport är odiskutabelt. Hur sedan denna nyförvärvade kunskap utvecklats eller förvaltats inom olika regioner, av naturen rika eller fattiga på kalk utgör underlag för en intressant historisk analys, utgående från kombinationer av skiftande hantverks- eller materialförutsättningar.

### Brytning

Frågor kring den regionala råvarutillgången av kalksten har berörts tidigare. Nästa fråga gäller vilken sorts kalksten man föredrog och som gav det bästa kalkbruket. Äldre utländsk litteratur ger vissa anvisningar om hur man allmänt sett valde sten, men också hur man valde i relation till olika krav, exempelvis kalk för murbruk, putsbruk, eller för bruk i sank, fuktiga miljöer.

Överlag föredrog man fram till 1700-talets mitt kalkstenar av så stor renhetsgrad som möjligt, dvs utan inblandningar av lerjord eller missfärgande salter.

Likaså undvek man alltför torra stenarter och löst liggande stenskärv. Man sökte i stället bryta i friskt, lätt fuktigt berg. Ju hårdare stenen var desto bättre kalk antogs den ge. Därför favoriserades, om valet var fritt, kristallinska bergarter på de sedimentära stenarternas bekostnad. I andra fall höll man till godo med lösare stensorter, exempelvis den musselskalsbemängda kritkalkstenen i Skåne. Kalk som brändes av porösa stenar ansågs dock i vissa områden, uppgifterna kommer här från Tyskland, ge utmärkt kalk för putsbruk och till avfärgning, medan en viss kiselinblandning i kalkstenen gav en bra kalk för murning av valv och andra mer ansträngda byggnadsdelar.

Så småningom kom även orenare kalkstenssorter att bli betydelsefulla. Ett exempel är den lerinblandning som förekommer i de skärmlarna som visade sig ge bruk med viss hydraulisk effekt. En motsvarande verkan kunde åstadkommas med hjälp av de alunskifferar som låg inlagrade i kalkstensformationerna. Dolomitisk kalksten, dvs magnesiumrik kalksten, i äldre tid kallad bittersten, var känd för att ge ett starkt kalkbruk. I Sverige förekommer denna kalkstensart främst i Västmanland och i nordligaste Uppland.

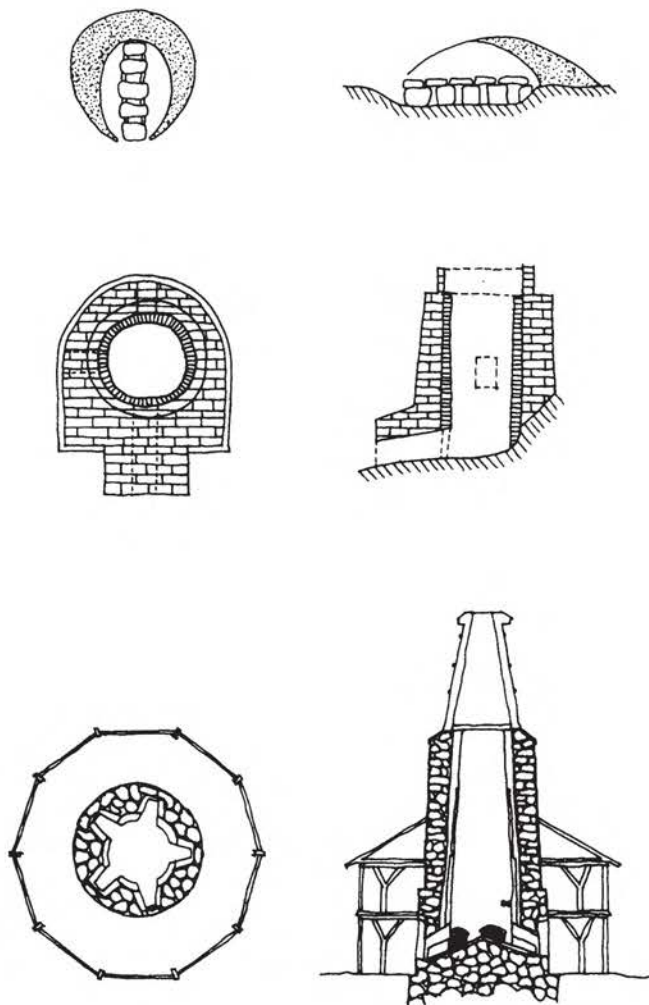
Avgörande för brytningen var givetvis atkomligheten. Grundvatten fyllde stenbrotten och måste pumpas bort, alltför djupt belägna lager blev för dyra att

bryta, avgörande var kanske också lagrens ringa mäktighet eller stenens hårdhetsgrad. Många goda kalkstensförekomster slogs förr sannolikt ut av dessa skäl.

### Bränning och släckning

I jämförelse med de olika sätten att tillreda kalkbruk erbjuder kanske bränningsprocessen till synes färre möjligheter till variationer.

I första hand har vi att räkna med en utveckling av olika ugnskonstruktioner – från enkla milor i form av jordgropar till större fasta ugnar – alltefter produktionsbehovens storlek. Den enskilde bonden brände in på 1900-talet i mila för sitt gårdsbehov, medan exportmöjligheterna och bränsletillgången i större skala bestämde utvecklingen av ugnskonstruktionerna under 1600-, 1700- och 1800-talen. Oftast brändes kalken intill bygplatsen, och då inte sällan i den periodiska fälttegelugn som normalt hörde till ett tegelbygge i äldre tid.



Figur 6. Olika typer av kalkugnar. Efter "Om kalkindustrien på Gotland", H. Munthe, L. Way-Matthiesen och H. Hansson, Stockholm 1945 samt "Die Kalkbrennerei und Cementfabrikation", von Waldegg, Leipzig 1903.



Foto 4. Ruin av gotländsk exportugn. Foto omkring 1970, Ove Hidemark.

Därnäst rör det sig om olika sorters bränsle, som ger olika värmeutbyte, och om de skiftande ugnskonstruktionernas förmåga att fördela värmen jämnt. Principerna för staplingen av kalkstensmaterialet och bränslet i relation till luftens tillträde var därför av största betydelse och där varje kalkugnmästare ofta utvecklade sin egen specialitet. Andra viktiga variabler i bränningen var tid och temperatur. De bestämde i hög grad den brända kalkens konsistens – amorf eller kristallin, båda avgörande egenskaper för kalkbrukets kvalitet. Vidare förekom troligen många alternativa tekniker vid själva släckningsförfarandet, alltifrån gravsläckning i fuktig jord under lång tid, till släckning omedelbart inför murnings- eller putsningstillfället, ofta i samband med själva tillredningen av bruket. Bevarade uppgifter går här starkt isär, vilket i sin tur pekar på regionala variationer. Även lagring av färdigblandat murbruk har förekommit. Från det sena 1600-talet finns flera uppgifter som framhäver det lämpliga i att släcka kalken vid själva brukstillredningen. Detta påstods ge ett starkare bruk, volymsmässigt mer ekonomiskt och därigenom drygare.

Andra liknande uppgifter från äldre tid och även gjorda analyser av puts och murbruk pekar mot att osläckt kalk kan ha varit en vanlig ingrediens vid brukstillverkningen även under medeltiden.

### Tillredning

För att hindra den släckta kalken från att torka sönder tillsattes magringsmedel i form av sand. Den inbördes relationen kalk-sand kunde variera. I äldre litteratur, vanligen traderande Vitruvius, Alberti eller Palladio rekommenderas normalt blandningsförhållanden på 1:2 eller 1:3, delvis beroende på sandens karaktär, slipad eller skarpkantig. Idag uppfattar vi dessa proportioner som "feta", dvs kalkrika. Trots detta före-

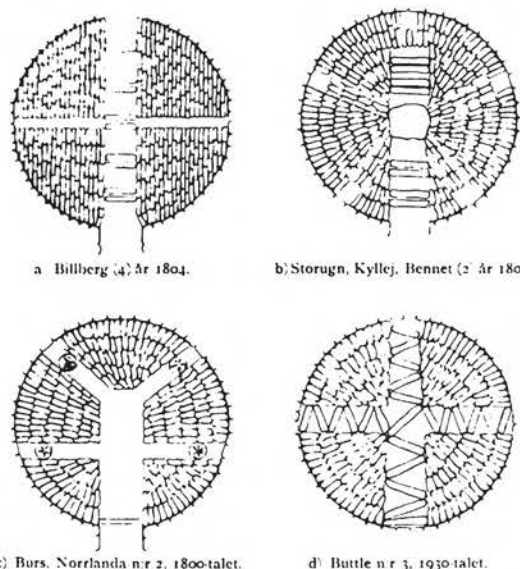


kom ännu kalkrikare blandningsförhållanden. Vi har ett otal exempel på extremt feta kalkputser från medeltiden fram till 1700-talet. Det kan röra sig om blandningar på 5–10 gånger av mängden kalk jämfört med sandmängden, även om proportionen 1:2–3 är den vanligen rekommenderade. Med tiden ändras proportionen kalk-sand till ett något magrare bruk, även om just 1600-talets såväl murbruk som putsbruk, främst genom den ymniga utdryingen med lera ofta var ännu lösare och kalkfattigare än 1700- och 1800-talens. Variationerna är dock avsevärda och sannolikt beroende på rådande ekonomi och arbetsstyrkans kompetens. Dessutom kan vi i studier av äldre putsprover utläsa en tendens att göra själva ytterskiktet av putsen kalkrikare än underlaget. Det tunna ytterskiktet är oftast en i det underliggande utstockningsskiktet mjukt inpressad fet kalkdeg med ringa ballastmängd, vilket ger ett finporigare ytterskikt, och därmed en snabbare men mindre omfattande fukttransport än för motsvarande på normalt sätt avriven putsyta. Under 15- och 1600-talen glättades vanligen ytan med stålverktyg, vilket möjligen ytterligare ökade den finporiga strukturen i ytterskiktet.



Foto 5. Stapling av kalksten i nedre delen av kalkugnen vid Hejnum, Gotland. Foto 1984, Mille Törnblom.

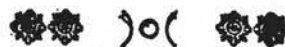
Hur själva tillredningen av kalkbruket än utfördes – variationerna är otaliga – så är de flesta kommentarer entydiga när det gäller ett alldeles bestämt moment i beredandet: ju bättre blandat och piskat bruket var, dess bättre ansåg man att produkten blev. Det finns i detta sammanhang anledning att stryka under just blandningsarbetets stora betydelse. I de flesta fall var man hänvisad till de för tillfället disponibla råvarorna – de fanns ju på plats och kunde knappast förbättras, medan däremot sättet, intensiteten och omsorgen i själva tillredningen kunde ge extra möjligheter till ett bättre resultat. Kanske handlar det här i hög grad om en forcerad luftinblandning, eller i praktiken effekten



Figur 7. Metoder för insättande av kalksten i ugn för att få drag och värme så jämnt fördelad som möjligt.

Ur "Om kalkindustrin på Gotland". H. Munthe, L. Way-Matthiesen och H. Hansson. Stockholm 1945.

12



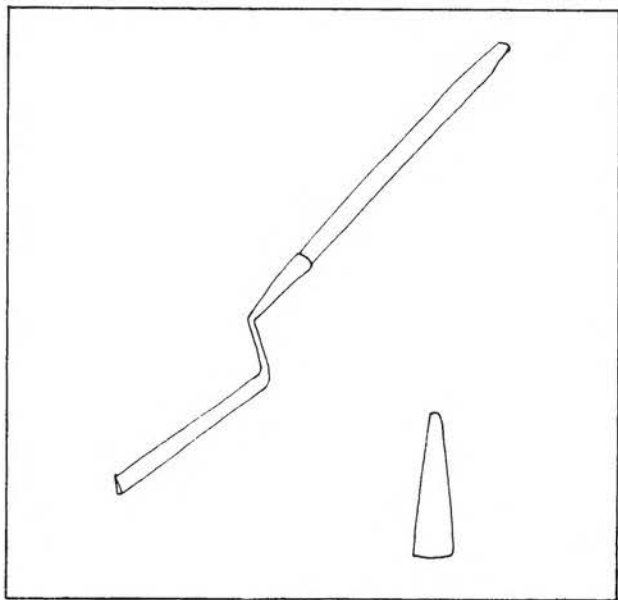
at märka, det de Murade deras Hus af bruten Sten, såsom än i dag sker i Frankriket, hwar-est ganska litet Tegel brukas, undantagandes uti Spifar eller Eld-Sträder.

Då nu Kalken skal blandas med Sand, så är den bästa Proportion: en del Kalk och tre delar Grop-Sand, eller en del Kalk och två delar Siö-Sand, och om man wil hafwa Bruket aldeles fulkommeligit, bör dertil läggas en trediedel sönderstött Tegel, eller Taksten i det senare, men i det fall litet mindre Sand, fast det tyckes wara något kostsam; hwilket grundar sig på samma skäl som förut är nämt, om den brutna Stepen och Kalken, som är af den samma bränd, men wid Rappningar bör denna blandningen med sönderstött Tegelsten nödwändigt i akt tagas, så framt de skola hafwa bestånd.

Den Kalk man wil bruka til Rappningar, Inläggningar, som efter Frantsyskan kallas incrustering, til Tak at Måla med Olja eller al Fresco, bör släckas på efterföljande sätt: Man samlar en så stor myckenhet af den nys brände Kalkstenen, som man åstundar då han kommer utur Ugnen, lägger den på ett flät och jämt ståle, til 2. å 3. Fots högd, sedan bör han täckas til 1. å 2. Fots högd med mycket ren Sand, hwarpå slås en så stor myckenhet Watn, at det kan gå igenom Sanden och komma på kalken, så at han blifwer helt småningom släkt; Skulle San-

Figur 8. Om proportionering av kalkbruk. Ur "Tal om stenhusbyggnad, hållit... år 1741 den 7 januarii". C J Cronstedt. Kungl Biblioteket.

av det porositetsmönster som utbildas vid själva piskandet. Ett särskilt studium av de vanliga redskapen och deras hantering, kopplat med en teknisk analys känns därför angelägen. Vår tids snabbgående maskiner får inte i sin effektivitet förväxlas med intensiteten i det äldre hantverkliga förfarandet.

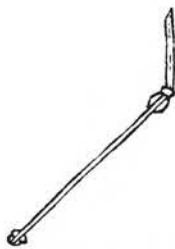


Figur 9. Så kallad piska för bearbetning av kalkbruk. Slagans sektion var triangelformad, vilket nedtill medgav en stötyta vid nedslaget och upptill en egg för återdragandet av piskan ur bruksmassan.

☛ ) 10 ( ☛

och Pitskan en god aln lång utom Skafet, som Eröcker sig i håfningren med jernet, samt nästan  $\frac{3}{4}$  tum tiock i Kanterne 1 tum bred på Sidor- ne, och Spitsig mot ändan, som figuren N: 2. utmärker.

Nom. 2.



Med thesse rakor, eller pitskor arbetas Kalken så länge, til thes han fuctar sig sielf, och blifwer som en tiock gröt, men intet annat watn må komma på honom, än then wättskan han hafwer med sig från Grafwen, och thes med är thesse Kalken färdig.

ii. §.

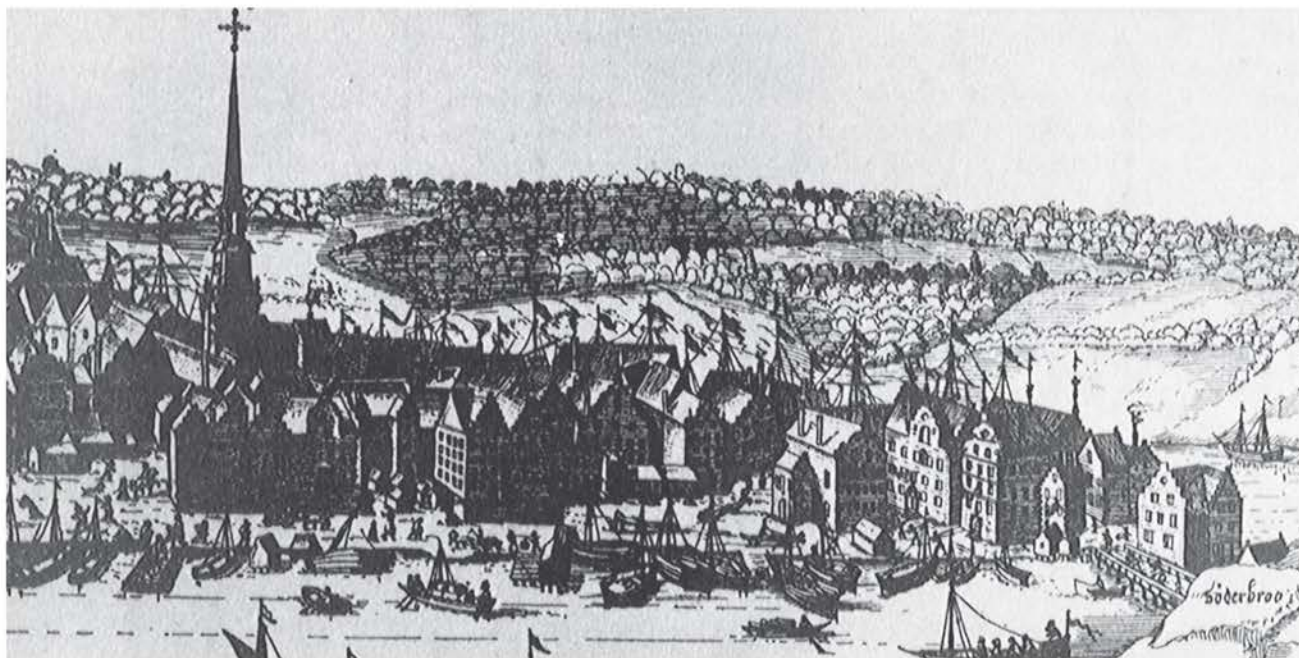
Figur 10. Om sättet att med piska bearbeta kalken. "til thes han fuctar sig sielf, och blifwer som en tiock gröt". Ur "Beskrifning huru kalk skal tilredas ifrån thes första bränning och til den varder färdig til sitt bruk". Lund 1750. Kungl Biblioteket.

Som tillsatsmedel fungerar sanden inte kemiskt med kalken, så som fallet kan vara vid andra slag av tillsatsmedel. Frågan i vilken grad den ymniga mängd exempel på kalkbruk från 1600- och 1700-talen som innehåller krossad kalksten, krossat murbruk eller kanske endast söndersmulad, torkad kalkdeg är att uppfatta som passiva utdrygnings- och magringsmedel eller om de deltar aktivt i karbonatiseringsprocessen står ännu obesvarad. Kanske kan de tillmätas en fuktbalanserande roll, kanske utgör de någon form av katalysatorer för brukets hårdnande. Vanan att blanda in kalkklumpar i bruket levde i många fall kvar ända in på 1900-talet.

### Olika tillsatsmedel

Alltifrån medeltiden har respekten för de mer eller mindre eviga resterna av den romerska gjutbyggnadskonsten varit kraftigt pådrivande för utvecklingen av ett allt starkare kalkbruk eller bindemedel. Här exemplifierades styrka på ett utmanande sätt – särskilt i jämförelse med det tämligen veka och styrkesvaga kalkbruk som man själv hade tillhands. När vi diskuterar utvecklings- och förändringstendenser i kalkbrukets historia får vi inte glömma att den viktigaste målsättningen ständigt varit att uppnå ökad styrka för det färdiga bruket. Detta krav på styrka har även styrt experimentens uppläggning. Man har däremot aldrig, vare sig under medeltid eller nyare tid, fått tillräckliga erfarenheter av effekterna av mycket starka eller snabbt verkande bindemedel, utan ensidigt och okritiskt favoriserat styrkan som sådan i besvärliga byggnadssituationer. Kalkbruk har normalt uppfattats som svagt och otillräckligt, i synnerhet i fuktig miljö. Detta ger en samlad litteratur genom århundraden talrika belägg för. Följdriktigt har också byggnadernas styrka kommit att bero därav. Att bygga allt större hus gick bra så länge bindemedlets styrka var av underordnad roll.

Den färdiga muren kunde genom sitt veka fogkitt parera de temperatur- och eventuella sättningsrörelser den utsattes för. I synnerhet gällde detta fullmurskonstruktioner med övervägande vertikala laster. Annorlunda betedde sig de skalmurar – ofta av ansenligt tvärsnitt – som påverkades av horisontalkrafter. Här utvecklades mycket tydligare förändringar av plasticitetskaraktär, vanligen beroende på att murens mitre del, den sk kärnan av kalkbruk och sparsten sällan blev helt genomkarbonatiserad, utan medgav en naturlig skjivningszon i sin mittdel. Murbruket i väggens mittzon kan därför mer uppfattas som ett smörjmedel för rörelser mellan ytskalan än som ett fast bindemedel. Otaliga kontreforer har därför rests eller byggts på, där murverk varit på glid undan långsamt horisontellt verkande valvtryck. Så småningom – mot 1800-talets mitt – skulle man i cementet uppnå vad man hela tiden sökt: möjligheten att tillreda ett starkt och även vattenfast bruk. I sinom tid skulle man även komma till insikt om att styrkan kanske inte betyder allt. Men då är vi redan inne i vår egen tids reflexioner. Fram till det tidiga 1800-talet har man därför sökt efter olika tillsatsmedel som kunde ge det vanliga kalkbruket ökad styrka. I synnerhet för mur-



Figur 11. Storstädernas och feodalherrarnas byggnadsverksamhet under tidigt 1600-tal krävde mer kalk för puts och murbruk.

Ur Vogels Stockholmsgravyr, 1740-tal. Nordiska museets bibliotek.

verk och putsskikt i kontakt med vatten och markfukt.

Så småningom växte därför en rikhaltig flora av tillsatsmedel till det vanliga kalkbruket av kalk och sand fram, alltifrån oorganiska material som krossad kalksten, söndersmulat murbruk eller torkad kalkdeg, tegelmjöl, olika skifferarter, lerinblandningar, olika former av aska eller metallsalter fram till den slutgiltiga lösning av styrkeproblemet som cementet gav. Kanske har också en serie ämnen av utpräglat organiskt slag spelat in, som döda kattor och ägg, fisk, blod, urin, öl eller allehanda mjölkprodukter? Det kan som en parentes tilläggas att även våra dagars tillsatsmedel ofta är baserade på äggviteämnen och tensider motsvarande de ovan nämnda medlen.

Den stegrade mängden av nya stenhus, framförallt under 1600-talet, bidrog till att öka efterfrågan på kalk. När den inte räckte tvingades man blanda ut kalken med lera, ett förfarande som man samtidigt trodde skulle ge ett starkare bruk, gärna med hydraulisk effekt, dvs förmåga att hårdna under vatten. Denna effekt uteblev dock men kunde ibland – om än svagt – åstadkommas genom det vanligaste tillsatsmedlet, tegel, krossat eller pulviserat till mjöl. Krossat tegel hade alltsedan Vitruvius tid rekommenderats, i första hand för grundmurning i fuktiga lägen, men sedermera också som tillsats i bruk för utspringande pilastrar, taklistor etc. Här finns många belägg från 16- och 1700-talen.

Skifferar av alunotyp var vanliga i bl a kalkformationerna i Västgötabergsen, på Öland och i Närke, och utnyttjades så småningom även som bränsle (ca 5% oljeinnehåll) i ugnen, varvat mellan lager av krossad kalksten: Det gav inte bara energivinster till resultat utan också ett hydrauliskt, dvs mer eller mindre vat-

tenfast kalkbruk, flitigt utnyttjat vid bland annat mellansvenskt kanalbyggande under 1700- och 1800-talen. Vi bör här inte heller glömma att det under samma tid förekom en relativt stor import av *puzzolanajord* till Sverige från Italien eller av *trass* från Rhendalen via Holland, båda vulkaniska jordarter med starkt hydraulisk verkan och särskilt utnyttjade under romersk tid.

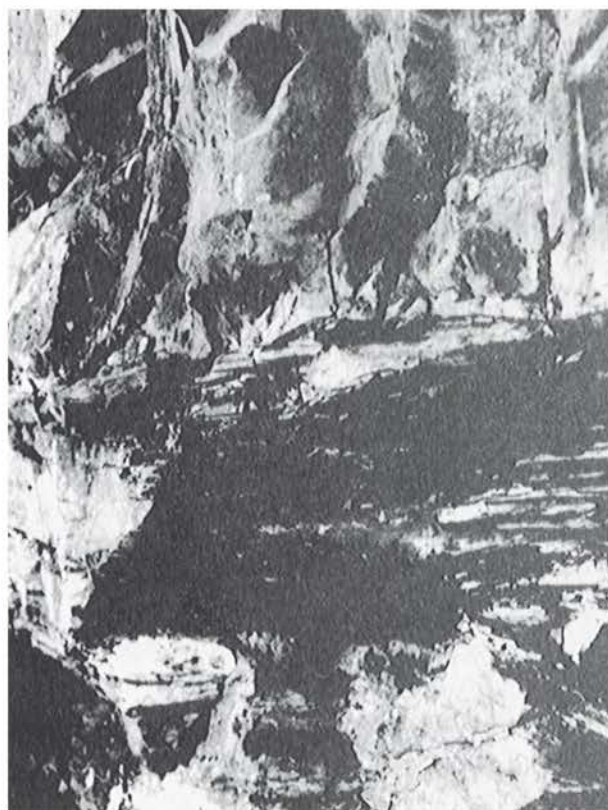
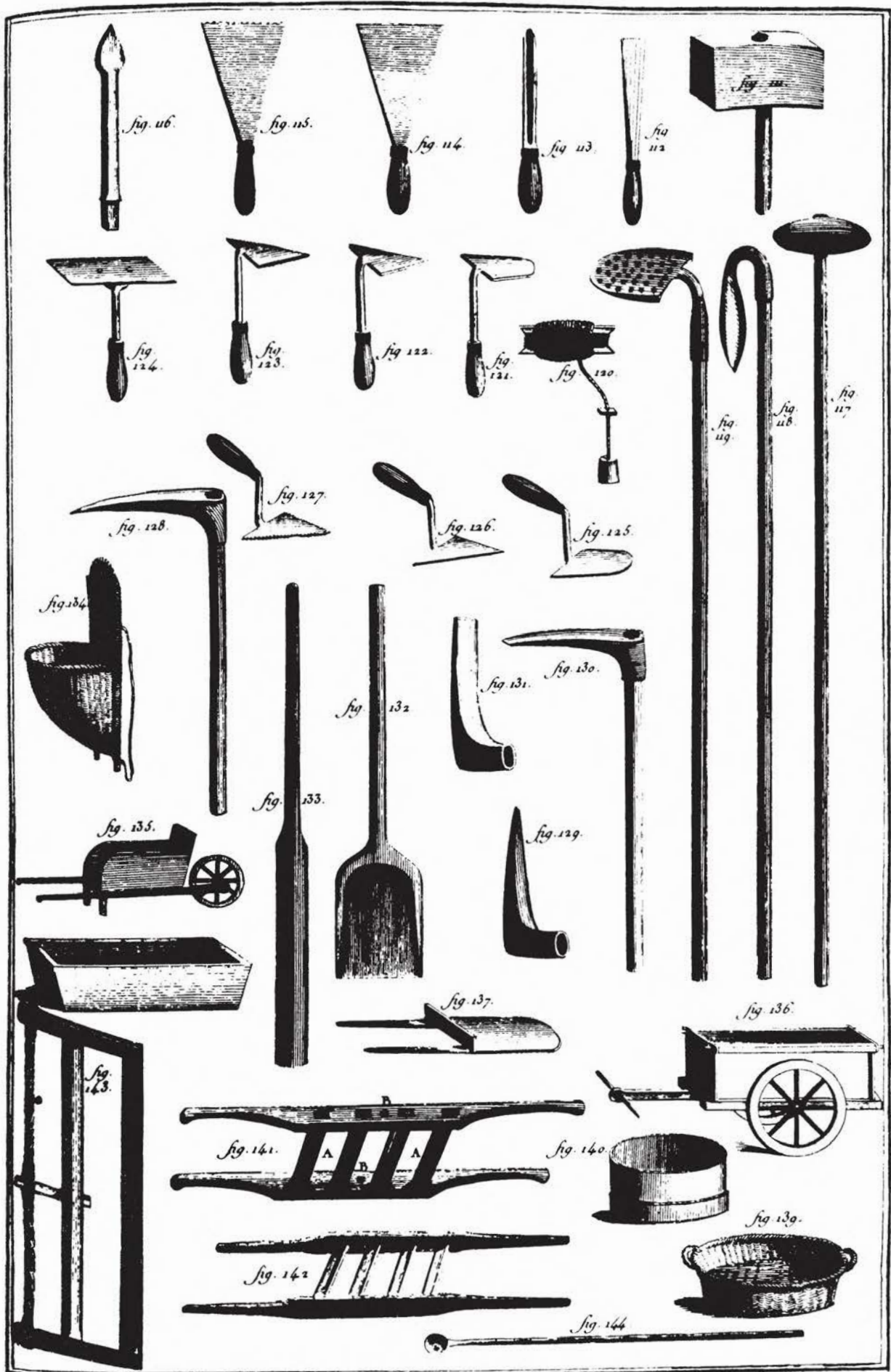


Foto 6. Alunskifferlager insprängt i kalkstensformation.

Foto 1973, Ove Hidemark.



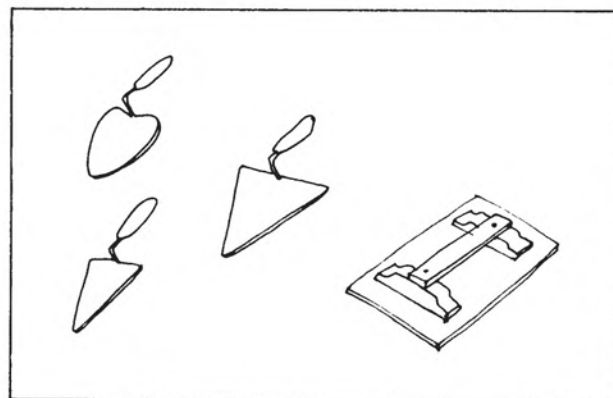
Figur 12. Murarens verktyg.  
 Ur "Recueil de planches, sur les sciences et les arts". Diderots encyklopedia. Paris 1762. Skoklosters bibliotek.

En annan fråga gäller inblandningen av gips i bruket, en normal företeelse i Frankrike och Italien under senare århundraden och vanlig i Sverige under sent 1800-tal. Snabbt fördömd här hemma, men hur ser egentligen resultaten ut i praktiken, nu efter dryga hundra år? Frågan måste trots allt ställas. Klarar sig en gipsbemängd puts tekniskt sett i över hundra år borde den ge även vår egen tid en tankeställare. Dess dåliga rykte hänger kanske mer samman med slarviga byggmästare i 1800-talets mitt som gärna utnyttjade den snabbstelnde gipsen för att ge en förledande perfektion åt fasadgestaltningen.

Men styrka är inte alltid lika med hårdhet utan i lika hög grad en fråga om eftergivlighet, elasticitet eller motståndskraft mot plötsliga fysiska belastningar som exempelvis fukt eller växlande temperatur. På vilket sätt har alla dessa tillsatsmedel *tekniskt sett påverkat* brukets kvalitet? Det berör frågor om *kemiska* föreningar, *olösliga* salter, *karbonatiseringsförlopp*, *porositet* etc. Frågor som fortfarande är obesvarade. Ett viktigt historiskt problem är dessutom, hur samtiden själv såg på effekterna av dessa medel. Hur uppfattade man det man gjorde, i enlighet med sin tids föreställningar, i förhållande till vad man *egentligen* gjorde, i varje fall efter nutida tolkningsmodeller? I dagsläget har vi mycket få svar att ge på dessa frågor.

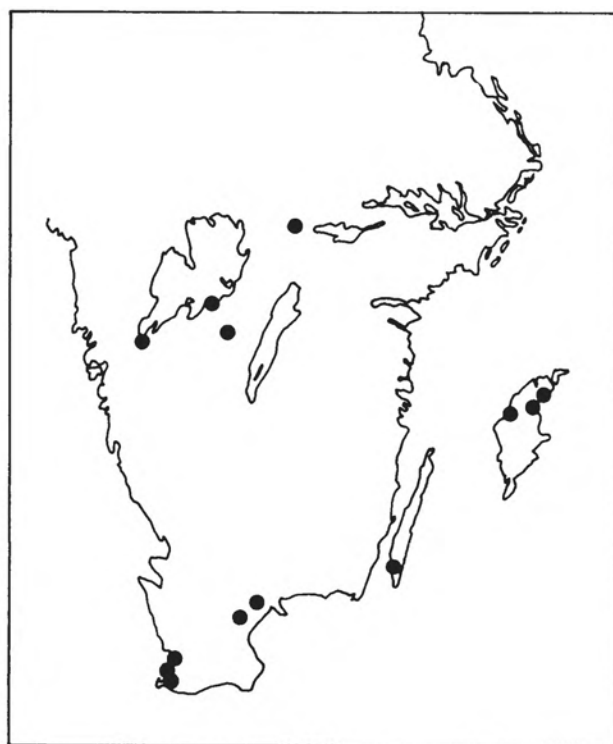
### Putsningsverktyg och utförande

Efter kalkbränning och tillredning av bruket följer olika, men för det slutliga resultatet avgörande sätt att applicera det på sin avsedda plats. Även här känner vi de äldre teknikerna dåligt. I likhet med bränning och tillredning borde även dessa vara underkastade variationer av regional och tidsmässig art, kanske till och med i högre grad än övriga processled, då spridningen på kompetens i utförandet sannolikt ökade i detta led. Att bränna kalk krävde hög yrkesskicklighet, att bereda bruket likaså. Helt givet krävde också själva putsandet skicklighet, men dels var här flera personer inblandade vid själva utförandet, dels var varje hantverkare eller murare på sin plats uppe på ställningen hänvisad till sitt eget omdöme om lämpligaste tekniska förfarande. I varje fall vittnar många i senare tid studerade äldre putsningar om att metodik och utförande ibland skiftat från bomlag till bomlag, beroende på olika murarlags sätt att bedöma situationer. Ytterligare orsaker till att metodiken varierat är naturligtvis det växlande underlaget, ibland trä, ibland sten, men kanske oftast tegel. Vi kan också följa hur utformningen av putsytan växlat i relation till tillgängliga verktyg, och hur dessa varierar med tiden. Normalt består verktygen ännu idag av olika typer av slevar, till utseendet i stort oförändrade sedan antiken. Men det är inte bara verktygens utseende som är intressant, utan i högre grad sättet att använda verktygen, konsten att applicera kalkbruket. Förr pressades och trycktes bruket fast mot underlaget, segt, klistrigt och pastalikt till konsistensen, fjärran från vår egen tids blöta, vattenrika putsbruk som slås, kastas eller sprutas på. Vad betydde detta för kvaliteten? Återigen står vi svarslösa.



Figur 13. Olika verktyg för putsning. Slevarna av uråldrig tradition medan rivbrädan sannolikt hör det sena 1700-talet till.

Medeltidens och renässansens putsytor är ofta glättade med ett stålverktyg, inte bara slevstrukna i största allmänhet utan aktivt tillplattade och ytmässigt bearbetade med olika specialverktyg. Utifrån nutida forskningsläge har vi därför anledning att fråga oss vad som exempelvis händer med brukets porositet och förmåga till fukttransport vid en sådan behandling av ytan. Sannolikt går denna glättningstradition att söka långt tillbaka i tiden, kanske till antiken, men den överges utan känd anledning under 1700-talet. Ändrar sig verktygen eller ändrar sig uppfattningen om putsens utseende eller dess tekniska kvalitet? Putsen blir under detta århundrade tydligt grövre och sandigare i ytan. Vi vet dessvärre inte varför. Samtidigt, eller kanske något senare uppträder rivbrädan, som medger ökade krav på ytplanhet. Det är särskilt



Figur 14. Lokalisering av svenska cementfabriker etablerade mellan 1880 och 1932.

viktigt att studera denna traditionsbrytning. Den rymmer sannolikt många olika konsekvenser av teknisk eller arbetsekonomisk art. Kanske hänger den nya tekniken samman med en motsvarande förändring av kalkbrukets vatteninnehåll. Med rivbrädan uppträder gärna ett lösare och vattenrikare bruk. Det glättade bruket kunde i gengäld göras kalkrikare och samtidigt vattenfattigare. Det kunde pressas på med hårdare medel än vad det lösare bruket medgav.

Man kan fråga sig om exempelvis prisbildningen på kalk drev fram ett kalkfattigare bruk eller ändrades bränningsprinciperna och verktygen av andra skäl under 1700-talet? Vi rör här vid utförandemetoder och orsakssammanhang som i hög grad är aktuella för vår egen tids experimenterande.

För vår egen tid är det karaktäristiskt att de tidigare mångskiftande regionala variationerna nästan helt försvunnit och ersatts av en rikstäckande standardnorm. De ytterst få variationer som vi idag utvecklar kan hänföras till de fåtaliga experiment som gjorts för att hitta tillbaka till äldre tekniker. Dagens standardbruk är magert (1:4–5) och blött, dessutom normalt applicerat på en cementrik grundning. Detta senare är snarast att se som ett okritiskt lån från bekymren att putsa lättbetongväggar. Där är en cementgrundning möjligen relevant men man måste fråga sig vilken nytta den gör på en tegelmur eller ett annat väl sugan-

de underlag? Huvudsakligen uppfattas idag cementen som en säkerhet mot dålig vidhäftning vid underlaget, ett problem som sagt mer gäller lättbetong som underlag än gamla murstommar. Sentida normer för att standardisera sammansättningen av puts har samtidigt dämpat lusten att pröva nya vägar, en utveckling som i sin tur lett till minskad insikt om kalkbrukets egenskaper och om gränserna för dess tillämplighet. Karaktäristiskt är dessutom att i Sveriges två mest utpräglade regioner för cementtillverkning – Skåne och Gotland – har motviljan för rent kalkbruk varit störst. Kanske kan vi här skönja ett kulturhistoriskt, hantverkspsykologiskt sammanhang, där en regionalt sett överdominant tillverkningsindustri fått alltför stor genomslagskraft och tidigt trängt undan en äldre hantverkstradition.

Säkerhetsmarginalerna för kalkputs har alltid varit i det närmaste obefintliga, men tillsammans med en gradvis bristande insikt om hantverkets betydelse blir situationen snabbt *mycket* sämre. I detta läge har vi all anledning att söka oss tillbaka och försöka förstå de principer och verkningssätt som varit utmärkande för äldre kalkbruksteknik. De viktiga satsningar som i senare tid gjorts för att återupprepa äldre putsteknik representerar trevande men ytterst värdefulla försök under 1960–70-talen att penetrera grunderna för äldre putsteknik. Det gäller för medeltidskyrkornas del främst Gotland och för profana byggnader exempel-



Foto 7. *Slevdragen puts.*  
Foto 1981, Jan Lisinski.

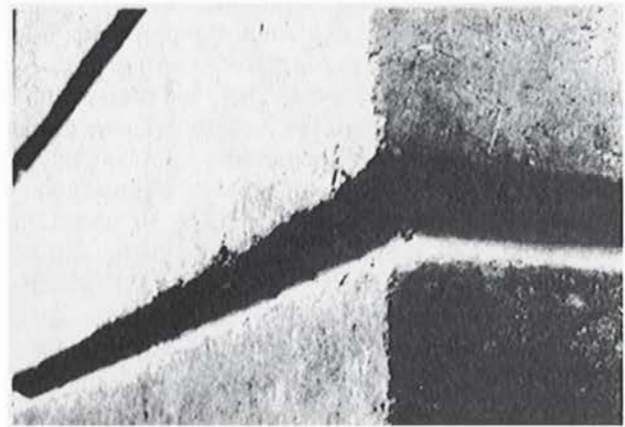


Foto 8. *Glättad puts.*  
Foto 1976, Ove Hidemark.

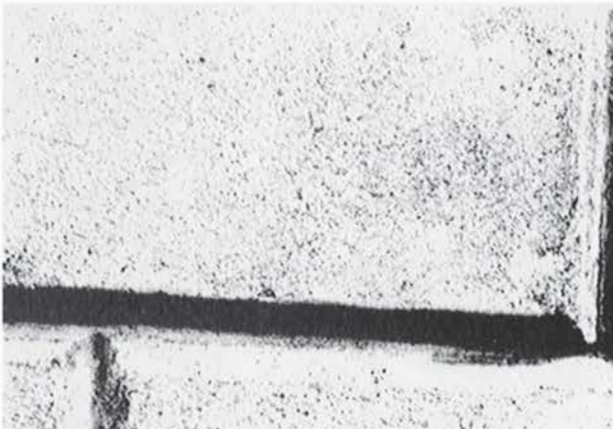


Foto 9. *Brädriven puts.*  
Foto 1981, Jan Lisinski.

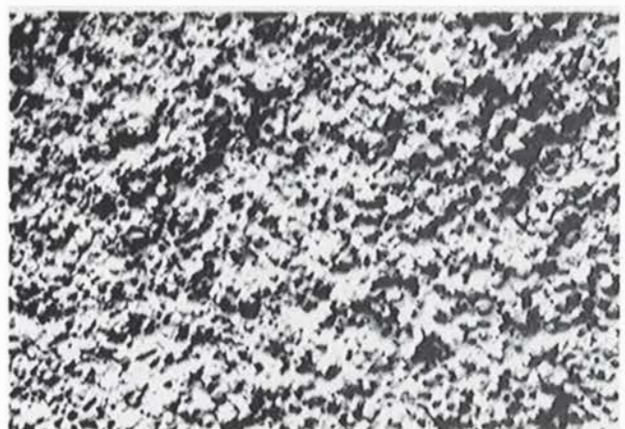


Foto 10. *Spritputs.*  
Foto 1981, Jan Lisinski.

vis arbeten med en typiskt tvåskiktad puts av renässanstyp som på Skoklosters slott. En del fall har lyckats bättre, andra sämre, men vi vet fortfarande inte om resultaten beror på bra eller dåliga utgångsmaterial, lämpliga eller olämpliga proportioner eller riktigt eller fel utförande vid putsningen, bra eller dålig väderlek etc. En utgångspunkt för alla dessa försök har dock varit äldre anvisningar om materialsammansättningen och inbördes proportioner. Även när det gäller ytstrukturen har man, för att i kulturhistorisk mening ge rätt hantverkskaraktär, försökt att efterlikna de äldre förebilderna. Ur restaureringssynpunkt är dessa försök ytterst väsentliga. Kan vi inte återupprätta och förstå det hantverk som utgör grunden för den äldre bebyggelsens utformning, kan

vi inte heller klara det underhåll som byggnaderna framdeles kräver. Samtidigt riskerar vi att förlora den autenticitet som vi önskar möta i varje gammalt hus: att komma nära ett äldre hantverkligt utförande, att känna närvaron av de genuina materialsammansättningarna och av det åldrande och slitage som hör dessa äldre material till. Allt detta sammantaget ger en djupare dimension åt vår upplevelseförmåga, i sista hand av vår egen historia.

Att här behövs noggrannare undersökningar, tekniska såväl som historiska om rimligt ställda förutsättningar för bl a klimat-, material-, åldrande- och utförandetekniska frågor står klart. Frågan är närmast hur vi försöker möta dessa krav.

## FORSKNINGSMÅLSÄTTNING OCH ARBETSMETODIK

Tänk oss en situation där vi mellan våra fingrar håller en liten, ur murverket just framlockad putsbruksbit, vrider och vänder på den och med växande nyfikenhet önskar veta något om dess härkomst och sammansättning. Med fingrarna uppfattar vi lätt fragmentets konsistens, fast eller smulig, med ögonen ser vi dess färgskiftningar och konstaterar i grova drag en ungefärlig fördelning av bindemedel och magringsmedel. Några fasta kalkkorn lyser fram, kanske också en rosa ton av tegelmjöl, men i vilka proportioner och med vilka syften? Kring detta putsfragment vill vi teckna ett landskap som omfattar både hant-

verkstradition och materialursprung. I kunskapssökande syfte skulle vi vilja ställa en rad frågor om tid och plats för dess tillkomst, om nivån på det hantverksskunnande den representerar, är kunskapen inlånad eller lokalt framvuxen, vilken bearbetningsteknik utgör den exempel på, vilka skiftande ursprung representerar den materialtekniskt och hur har dessa material så småningom hamnat på tillverkningsplatsen? Vi anar oss kanske till putsfragmentets ungefärliga ålder och vi gissar rätt hyggligt på dess sammansättning, men längre kommer vi för närvarande inte, närmast av den enkla anledningen att så få sådana



Foto 11. Foto 1984, Jan Lisinski.

studier gjorts. En väsentlig orsak är troligen att kalkbruk aldrig varit något viktigt, aldrig något som man mer än undantagsvis studerat ur teknisk synvinkel, utan bara haft tillgång till – ett lika trivialt som ofosfikerat hjälpmedel i husbyggandet. För att på allvar kunna förstå svensk kalkbrukshistoria måste dessa primära förutsättningar ge rimliga svar, till en början kanske bara i skissform. Därefter skulle vi kunna vidga vårt kunskapssökande och ställa frågor om exempelvis var i byggnaden det lossbrutna kalkbrukstycket suttit, eller om man tillgripit olika sätt att tillreda sitt bruk beroende på dess uppgift i byggnaden: för utvändigt eller invändigt syfte, för sockelnivå eller för taklistens kraftiga uthäng.

Hur skulle då ett försök att komma åt kalkbrukets historiska utveckling, dess materialberoende och dess hantverkliga varianter kunna läggas upp? Målsättningen är i första hand att förstå hantverkstraditionens regionala och tidsmässiga förändringar och samtidigt se detta i relation till en skissartad materialgeografi.

Ur det föregående kan därför en rad forskningsuppgifter preciseras. I första hand gäller detta:

- regionala och tidsmässiga variationer avseende förekomst, brytning och förädling av råvaran, specifikt för Sverige, Östersjöområdet och kanske i viss mån även Danmark. Detta innebär samtidigt en preliminär inventering av kända kalkugnslägen i Sverige.
- gängse transportsystem för tunga material som kalksten, bränd eller släckt kalk inom olika regioner under olika tider.

## DET TILLGÄNGLIGA KÄLLMATERIALET

### Litteratur som berör materialfrågorna

En systematisk geologisk kartering av Sveriges kalkstensförekomster finns i olika redovisningar alltifrån 1800-talets mitt. Dessa kartor med tillhörande beskrivningar utgör ett viktigt utgångsmaterial för överblick och tolkning. I detta sammanhang utgör dock materialspridningen bara den yttre förutsättningen. Den avgörande frågan gäller *var* man har brutit kalksten och därefter sålt den till bränning, eller bränt den själv. Här finns en relativt begränsad litteratur att tillgå, svårfunnen och ofta gömd i artikelform. Särskilt har Gotlands och Skånes kalkhistoria analyserats under senare decennier, jämför Way-Mattiesen, Å Sjöberg och L Bjerning. För norra Västergötland finns F Brodows översikt. Dessutom finns i tillgänglig industristatistik, försäkringshandlingar mm möjligheter till extra insikt om enskilda företags verksamheter. Ofta begränsas informationen i detta sammanhang av statistiska skäl till större företag med över 10 personer anställda och berör dessutom relativt sen tid. För tidigare perioder måste vi lita till annan information. Här framstår bevarade räkenskaper och speciella byggnadsundersökningar som särskilt viktiga, då de kan ge exempel på såväl frekventa spridningsområden som utnyttjade naturtillgångar. I

- analys av olika processteg vid tillredning och bearbetning av kalk, regionalt och tidsmässigt studerade.
- kalkbrukets skiftande sammansättning främst som teknisk traditionsbildning med lokala variationer från medeltid till nutid.
- applikationen på murverket, variationer i utförande och verktygens roll i regional och tidsmässig belysning.
- åldrandeegenskaper enligt samtida och nutida kriterier.
- reparationsmöjligheterna förr, nu och i framtiden.

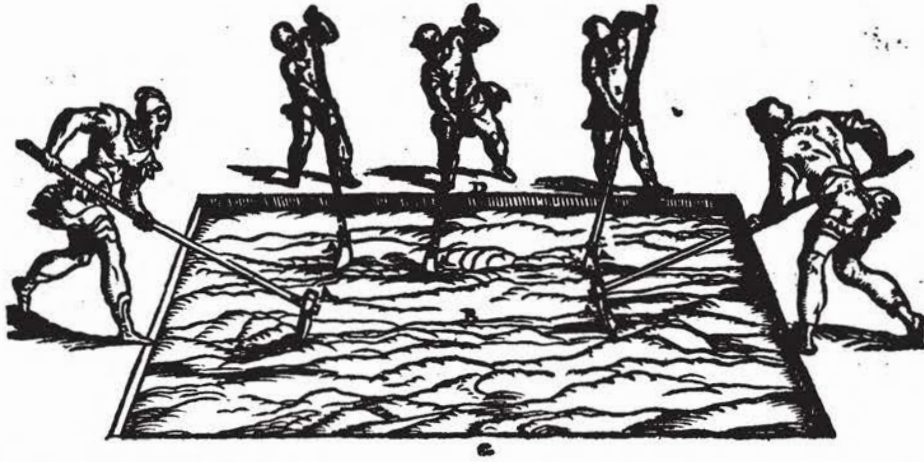
En lämplig arbetsmetodik för att få några svar på ovanstående frågor kunde vara att med hjälp av tillgänglig modern och äldre litteratur ställa samman utdrag som berör materialaspekter, kalkbrukstillredning och putsningsmetoder. Nästa uppgift gäller att ur detta sannolikt överväldigande underlag sortera fram vad som är forskningsmässigt bearbetbart. En sammanställning av ett hanterligt antal textutdrag med vidhängande textkritik och probleminriktade kommentarer kunde vara en lämplig början. Studien delar sig, som tidigare konstaterats, dels i en specifik materialdel, dels i en mer byggnadshistoriskt inriktad del. Den förra knyts till litteratur av natur- samt näringsgeografiskt slag, medan den senare utgår från den äldre litteratur som berör samtida hantverksmetoder och byggnadsteknik. Därefter kommer som en tredje del en analys av de speciella faktorer som från en teknisk och kulturhistorisk synvinkel skulle kunna förklara olika sammansättningar och kvalitetsutfall i äldre putsteknik.

huvudsak är dock materialet kopplat till geologisk och geografisk litteratur. Någon speciell studie över kalkbrytning för byggnadsändamål i Sverige under historisk tid och som representerar en större överblick finns inte. En hjälp på vägen får vi i Lundegårdhs "Nyttosten i Sverige", men annars, liksom för stora delar av hantverket, är den historiska bakgrunden mycket litet känd och en forskningsinsats – om än bara kunskapssammanställande – vore av största betydelse.

### Litteratur som berör hantverket

Äldre byggnadsteknisk litteratur som berör hantverk är sparsam, men samtidigt i många stycken utnyttjad för studier av rent teknisk art. Även om byggnadshantverk oftast omger sig med en solid tystnad då det gäller anvisningar till utomstående om tillvägagångssätt mm, finns tursamt nog, från och med renässansen en hel del rekommendationer om putsning och kalkbruk nedtecknade. Puts och bindemedel har alltid varit osäkra i tekniskt avseende och kanske därför gett extra anledning till kommentarer. Av dessa kan många leda oss vidare. Denna litteratur låter sig med fördel analyseras, såväl från regionala som tidsmässiga utgångspunkter och utgör därigenom en viktig



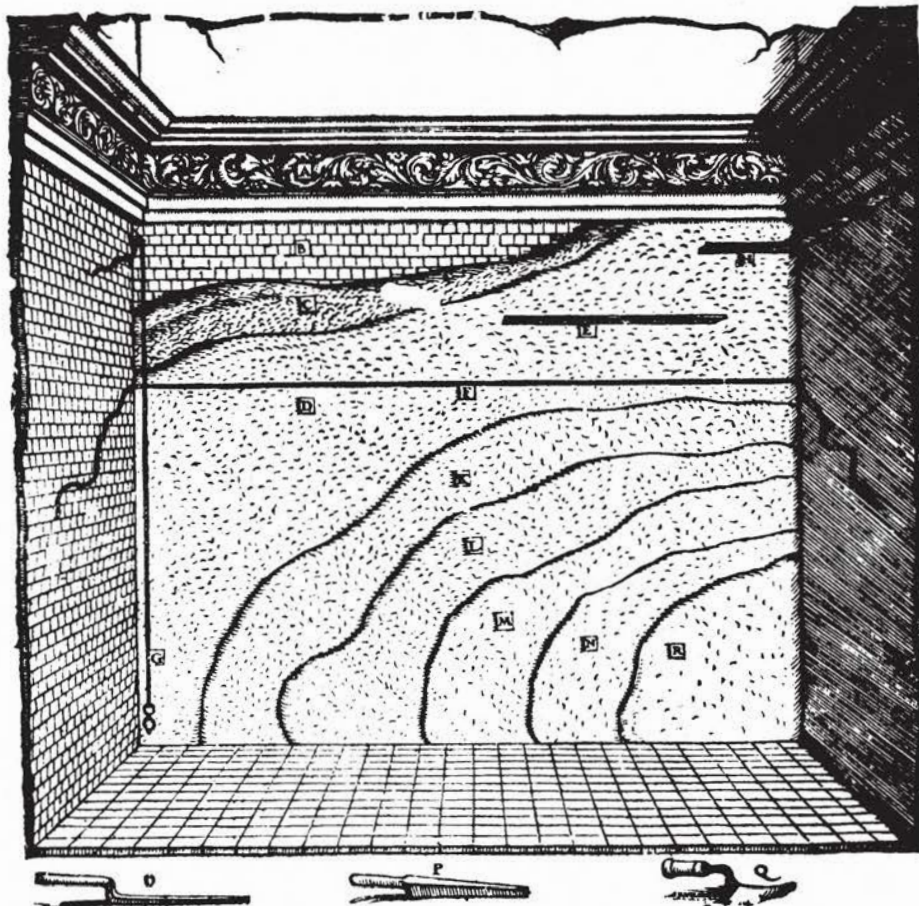


Figur 15. Kalkbrukstillredning.  
Ur "I dieci Libri d'Architettura", G.A. Rusconi, Venetia 1660. Kungl Biblioteket.

kunskapskälla. Utöver ren materialanalys är detta kanske den enda tillgängliga källan för att nå kontakt med hantverksteknik i äldre tid.

Den litteratur som här avses är i många stycken svåröverskådlig. Den äldre litteraturen återgår vanligen i sin grunduppläggnings på 1400- to m 1500-talens översättningar av Vitruvius och ger därmed, i vanlig ordning, en mängd likartade och återkommande standardråd. Vitruvius rekommendationer, kanske också vissa av Plinius' och Cato's motsvarande kommentarer, utgör dock ryggraden i en kommande månghundraårig europeisk tradition av arkitekturtraktater med vidhängande hantverkliga anvisningar, exempelvis

Alberti, Palladio, Vignola, de l'Orme, d'Aviler, Goldmann etc. Men det är först genom upplagornas mångfald eller när under hand nya författare, verksamma inom olika regioner som Frankrike, Tyskland eller England ger luft åt sina *egna* erfarenheter, som enskilda, lokalt betingade avvikelser från det tidigare ofta stereotypa schemat blir tydbara. Genom denna långa diskussion genom tiden, avtecknar sig också en växande insikt om vanliga fel och förtjänster knutna till olika materialkonstellationer eller konstruktioner. Sammantagen ger denna litteratur, vid sidan av teoretiska smakdoktriner och proportionssystem en konkret bild av den byggnadstekniska utvecklingen och av skiftande material samt hantverksförutsättningar inom respektive länder.



Figur 16. Uppbyggnad av putsskikt. Ur "I dieci Libri d'Architettura", G.A. Rusconi, Venetia 1660. Kungl Biblioteket.

## Das VI. Capitel. Vom Sand und Kalk.

### Inhalt.

§. 1. Kalk-Führen von ferne mislich/von der Nähe bequem. §. 2. Zweyerley Arten Sandes. Regeln von dessen Probirung/Verbrauch/Untersuchung. §. 3. Gegrabener Sand. Die beste Art. Verbrauch. Der Puteolanische. §. 4. Regeln vom Fluß- und Meer-Sand. Von dem unter den Wasser-Fällen. Fluß-Sand. Vom Durchrenterten. §. 5. Von des Kalks-Arten. §. 6. Bereitung. §. 7. Ablöschung/Verbrauch.

#### §. 1.

**S**il ohne Sand und Kalk die Steine und Ziegel nicht vereinbart und befestiget werden können/ so gibts dem Bau einen großen Vortheil / und wird dabey viel Zeit/ Müh und Unkosten erspahret/ wann man sic in der Nähe haben kan. Sonderlich ist's mit den weissten Kalk-Führen sehr mislich / gestalten der Kalk auf solchen in der dürre unterwegs verstaubet/ bey einfallende Regen aber zerfließt und wol gar allerdings die Wägen verderbet. Ein sonderbares Kleinod aber ist's zu achten/ wann man an dem Ort / da man etwas nahhafftes zu bauen gedencket/gute Kalk-Steine aus den Bergen brechen/ oder auf dem Felde und aus dem Wasser sammeln kan / daraus man zu guter Gelegenheit ein Jahr oder 2. vorher Kalk brechen / und dessen zur Genüge im Vor-rath schaffen kan.

§. 2. Von dem Sande/ der unter den Kalk gerühret wird / ist dieser Unterschied zu merken: daß dessen zweyerley Arten seyn / einer der aus der Erden aus Gruben gegraben wird: der andere so am Gestade der Flüsse oder Bäche gefunden oder vom Wasser zusammen geführt wird/ und daher der Fluß-Sand heißet.

Was insgesamt von beeden Arten zu wissen/ das geben nachfolgende Bemerkungen.

(1.) Welcher Sand in der Hand gerieben rauschet und knirschet; und auf ein weiß Tuch geworffen/ keine Flecken hinterläßt: oder in ein Wasser gerühret / daß selbe nicht sonderlich trübe macht/ der taugt wol.

(2.) Der Sand soll nicht allzulang an der Luft gelegen seyn.

(3.) Zu reinem Gemäuer soll man reinen Sand nehmen/darunter keine Erde vermischet ist.

(4.) Zu rauhem Gemäuer erwähle Sand nach Belegenheit.

(5.) Zum decken gehöret räscher und gröblicher.

(6.) Zum innwendigen Bewurff und Bestechen nimm von der schlechtern und glatten Gattung.

(7.) Der weisse Sand wird für den schlimmsten gehalten.

(8.) Doch ist nöthig/daß man an jedem Ort die Art und Beschaffenheit des Sandes wol untersuche/ und sich nach selbiger wol zurichten wisse.

§. 3. Belangend den gegrabenen Sand insonderheit / so ist folgender Unterricht zu behalten. (1.) Von demselben hat der röthliche und Gold-Farbe und vor- aus der Lichespielende und funckende / so aber rar ist/ den Vorzug. Dem folget der graue / und diesem der schwärzliche.

(2.) Wann er eben aus der Sand-Gruben kommt/ ist er zu Mauern und Gewölbern dienlich. Ligt er aber ir-gend lang im Wetter/wird er matt und Erdenhaff / und wächst davon das Gemäuer gern aus.

(3.) Dergleichen frischgegrabener Sand aber ist

hingegen nicht gut zu tünchen / weil der damit gemischte Kalk nicht ohne kleine Risse an der Wand ertrocknen mag.

(4.) Merckwürdig ist hierbey aus dem Plinio, Vitruvio, und andern Authoren anzuführen / daß der in dem Puteolanischen Hügel bey Bajis und in der Gegend des Feuer-Bergs Vesuvius gegrabene sehr zarte Sand oder viel mehr Sand-Staub (auf Italinisch Puzzuola,) wann er mit Kalk angemacht wird / unter dem Wasser so stark hält/ als die beste Kütte/ ja als der bewehrteste Stein/ und so nothwendig ist er auch im Trocknen/ massen die mit dergleichen Zeug zusammengefügte Säulen/ im Fall sie umstürzen / sich nicht zerfallen / sondern bleiben in einem Stück durchaus unerschellet. Die Mauern davon (dergleichen nicht wenig in Rom) trocken schleunig aus/ also daß die damit gemauerte neue Gebäud / unverzüglich und sonder Gefahr der Gesundheit mögen bezogen werden.

§. 4. Von dem Fluß- oder Meer-Sande ist dieses zu sagen.

(1.) Denselben zu bessern sind gestossene / und durchgeseibte gebrannte Ziegel-Brüner und deren gar nahe der dritte Theil mit zu vermengen.

(2.) Dem Meer-Sand muß die Salzigkeit in und mit süßem Wasser abgeseibet und abgewaschen werden: welche sonst den Lünch schundig macht.

(3.) Der Fluß-Sand ist gut zu tünchen und auswendigen Bewurff des Gemäuers. Zimmer aber/Gewölber und Mauern schwingen davon/ näßeln und lauffen häßlich an. Und dieses ist auch die hauptsächlichliche Ursach / daß manches Gemach wie lüfftig und wolgelegen es sonst ist/ nichts desto minder / nie ohne Näßung/ Schweiß und Schmutz/ zu malen bey nasser Witterung/seyn kan. Daher es weiter auch ungesund/ und unbrauchbar/ um willen alles/ was darinn ist/ schimlich und unsauber wird. Wie wol dieses auch andere Ursachen haben kan.

(4.) Der Sand so unter den Wasser-Fällen ausgenommen wird/ist gut/ als der dadurch bereit abgeschleimmet / und gewaschen worden.

(5.) Der Fluß-Sand/welcher an manchen Orten aus feinen erhabenen Gruben durch das wilde Wasser heraus geschleppt wird/ und an niedern Plätzen Hauffenweis liggend bleibt/ist so wol besagter Ursach halber/ nemlich weil er durchs Flößen abgewaschen / gereinigt und geseiget worden / als seiner eigenen Güte halben / doppelt wol zu gebrauchen / der wird zu Hauffen geschlagen und so bald er etwas abgetrocknet/zum Brauch verführt.

(6.) In Ermangelung der Sand-Gruben und wo des Fluß-Sandes kein Überfluß ist/mag man den am Ufer der Flüsse huffig befindlichen Stein- oder Riß-Sand durch die Reuter schlagen.

§. 5. Was vom Kalk zu wissen nöthig / bestehet in dessen Art/Bereitung und Gebrauch. Die unterschiedliche Arten werden in nachfolgende Anmerkungen gessasset.

1. Der aus dem Gebirge gebrochene Kalk-Stein/so er trocken ist und gern bricht / auch von innen Feinen verborgenen Zusatz bey sich führet / und nach erlittenen Brand sich verkleinert hat / ist besser als die zusamgeklautte.

2. Der beste Kalk wird aus den härtesten dichten Steinen/besonders aus denen schönen weissen / die ohne

En annan sorts litteratur representerar den som koncentrerar sig på *hantverket* – i detta sammanhang på konsten att putsa och mura. Från äldre tid finns enstaka specialverk som behandlar putstekniska utförande-frågor på ett mer ingående sätt. Bland de tidigaste författarna kan nämnas Cennini från 1400-talet och Rusconi från 1500-talet. Båda diskuterar brukstillverkning och putsning från en detaljnivå som kan ge nutiden nya infallsvinklar. Cennini ger bl a antydningar om den osläckta kalkens företräden, medan Rusconi mer inriktar sig på applikationsproblemen. Motsvarande hantverkliga kommentarer om putsning och brukstillredning finns dessutom att läsa i marginalen till många av de räkenskaper och byggnadsföreskrifter som utvecklats i samband med större och av sin samtid väldokumenterade byggnadsföretag. Naturligtvis ger även Diderots och d' Alemberts stora franska encyklopedi över olika hantverk från 1700-talets mitt viktig information.

Det blygsamma material av liknande slag som till äventyrs finns nedtecknat i svenska urkunder – den tidigaste är Peder Månssons anteckningar från 1550-talet – återgår till största delen på en mellaneuropeisk hantverkstradition. Vi måste på nytt komma ihåg att svensk kalkbruksteknik inte utgår från inhemska innovationer utan i hög grad beror av en från utlandet importerad kunskap. Trots de magra svenska bidragen finns det ändå anledning att försöka systematisera de hantverkstekniska uppgifter som finns i tryckt form eller som utdrag ur byggnadsräkenskaper. Dessutom vore det intressant att ställa detta i relation till den information som står att finna i ett rikhaltigare utländskt material. Det rör sig då närmast om en tredje litteraturtyp, om böcker i skilda ämnen alltifrån de mer specifikt tekniskt inriktade utländska eller svenska *byggnadslärorna* från 1700- och 1800-talen till den mer allmänt hållna, men i detaljerna ofta mycket konkreta *oekonomialitteraturen*, ibland kallad Haus-Vater-litteratur, från sent 1500-tal till tidigt 1700-tal. Som exempel kan nämnas Florinus, Hohberg m fl. Denna litteratur bör snarast uppfattas som en slags hushållshandböcker för unga adelsmän. drabbade av plötsliga byggnadsbekymmer i erövrade eller ärvda godsdomäner. Överallt fanns det behov av en mängd byggnader, nästan alltid med krav på utvändig puts för att dölja den råa, enkla stommen av trä eller tegel. Med en bra lärobok i handen kunde en dåtida byggherre ge genomtänkta förhållningsorder i viktiga byggnadstekniska frågor.

Den äldsta litteraturen inom ämnet är vanligen normativ, dvs man skriver i princip så som man själv vill att läsaren skall göra, kanske mindre ofta om hur man normalt brukar gå tillväga. Framställningen blir därmed en tillrättalagd information, men återgår rimligen på samtida praxis. Att berätta hur man vanligen brukar göra, i rent deskriptiv mening, med alla eventuella felsslut kommenterade, hör till ett senare skede. För puts- och kalkbrukstillredning börjar denna typ av litteratur uppträda först under 1700-talet och det tidiga 1800-talet. Dessa tidiga analyser sysslar primärt



Figur 18. Omslag till "Beskrifning huru kalck skal tilredas ifrån thes första bränning och til den varder färdig til sitt bruk". Lund 1750. Kungl Biblioteket.



## FÖRSÖK

*Med Terra pouzzolana och Cement,*

gjorda af

BENCT QVIST, ANDERSSON,  
Bergmästare och Direct. vid Järn-Manufactur-verken.

§. 1. I bland Terra pouzzolana, sådan som den kommer ifrån Italien och Civita Vecchia, oberedd eller omalen, hvaraf en hel kista, igenom Herr Hof-Mariskalken och Riddaren JENNINGS försorg och kostnad, blifvit anskaffad, äro följande förändringar utfökte, hvilka gemenligen fås uti klumpar af olika storlek, ifrån Aggs til Hassel-nötters, och där under.

N:o 1. Röddrun, alt igenom pipug som en Pimpsten eller Svamp, med inblandade hvita körtlar, större och mindre, liknande til alla delar opac Quarts, men utan skinande yta, samt stundom med synbara delar af hvit Skimmer och små

Figur 19. Om "Försök Med Terra pouzzolana och Cement" utförda av bergmästare Benct Qvist Andersson. Ur "Kungl Svenska vetenskapsakademiens handlingar, vol 33. Stockholm 1772. Kungl Biblioteket.

198 1770. Jul. Aug. Sept.

mjöl, ficktas och ändteligen uti et stort tråg med vatten upblandas och knådas til en tåmmeligen hård deg, förrän något däråf tilredes. Häråf tilverkas äfven i Italien de få kallade Copi eller stora krukor, ifrån et til 12 ankars innehåll, hvaruti Vin och Olja förvaras.

19. Skårflar och Muflar tilredas til Docimastiska behof af Lera och brändt Tegel-mjöl. De fastaste Chemiske Luta eller beslag göras ån af Bolus, Tegel-mjöl och Färnissa, ån af osläckt Kalk, Colcothar Vitrioli väl edulcorerad och Lin-olja, ån ock af Hammar-slugg, Lera och Blod.

#### Särskildta Försök.

1. At närmare uplysa beskaffenheten af fasta Murbruk och Ciment-arter, har jag anställt öfver 100 Försök, af hvilka 82 härhos uppgifvas.

Alla proven gjordes i form af aflånga små cuber, 1 tum tjocka och 4 tum långa: måsta delen af desse compositioner tilreddes i början af Martii månad 1760. Hindrad af andra görömmål, lät jag dem sedan stå i en kammare at torka, til den 10 Julii 1767, då de försöktes til deras hårdhet och förhållande i vatten. Tijo minuters tid lågo alla proven i vatten, hvar-efter anmärktes, om de upblöttes eller aldeles uplöstes däruti, som ock huru mycket vatten på förenämde tid hvar och en Ciment-art at- traherade.

Vid hvar och et prof anföres först des blanning och sammanfätning samt des vikt; sedan des hårdhet och fasthet, innan det lades i vatnet, och sist des förhållande i vatnet.

1. Kalk-

Figur 20. Om "Rön och Försök Med Murbruk och Ciment-arter" utförda av Pehr Adrian Gadd, kemiprofessor i Åbo. Ur Kungl Svenska vetenskapsakademiens handlingar, vol 31. Stockholm 1770. Kungl Biblioteket.

med materialfrågor men försöker samtidigt tolka observerade fakta i begynnande kemiska termer. Dåliga eller bra egenskaper i putsens uppbyggnad och materialsammansättning kopplas gärna till frågor om olika salters löslighet eller olika grundämnen "märkliga" förmåga att skapa ett starkt bruk, men det handlar också om frågor som rör brukets applikation eller om de belastningar som förorsakas av ett besvärligt klimat.

Självklart var de flesta av dessa böcker i första hand skrivna för en bildad beställarklass, men gradvis sedermera det tryckta vetandet ned även till hantverkets miljö. Särskilt under slutet av 1700-talet knyts nya experimentella erfarenheter till de tidigare kunskaperna. Reflexioner kring kemiska förlopp blir vanliga i den tid då kemin växer fram som en ny och viktig vetenskap. Ett väsentligt och mycket konkret inriktat utvecklingsarbete skedde ofta på ett lågmält plan bland godsägare, industriidkare eller inom civil och militär bygnadsverksamhet. Erfarenheterna av vitt-

rade murverk och upplöst puts och de lämpliga motmedlen kunde därför kondenseras till särskilda rapporter, gärna knutna till någon vetenskaplig akademis regelmässigt publicerade handlingar. Så småningom biträder även andra samhällsgrupper forskningen. Inte minst universiteten samt de stora, nationalekonomiskt viktiga bergsintressena påskyndar utvecklingen av den kemiska analysen, vilket bland annat leder fram till upptäckten av de olösliga kiselsyror och de vattenlösliga kalciumkarbonaterna. I detta skede grundläggs i en serie vetenskapliga artiklar, uppsatser eller brevväxlingar den moderna tolkningen av vad som egentligen sker när kalkbruk binder, inte minst med alla de tillsatsmedel som möjligen bidrog till styrkan. Det kan här räcka med att peka på sådana svenska förgrundsfigurer i kalkbruksforskningens historia som B Quist Andersson, J J Berzelius, G E Pasch, S Rinman eller P A Gadd, samtliga forskare inom kalkbruksteorin under sent 1700-tal och tidigt 1800-tal. Den svenska vetenskapsakademiens handlingar är här ett viktigt verktyg för denna forskning. Kanske bör man också i detta sammanhang nämna intresset för alunskifferkalkens hydrauliska effekter, en forskning som var nära kopplad till 1700-talets stora sluss- och kanalprojekt. Det handlar då inte i första hand om att utnyttja den oljehaltiga skiffren som ett möjligt bränsle, utan mer om alunskifferns effekter på kalkbrukets vattenbeständighet. Till slut kom under 1800-talets första årtionden upptäckten av det egentliga cementets tillverkningshemligheter genom Aspödens och Johnssons insatser i England, snabbt uppföljda på svensk mark bl a genom Fahnehjelmss undersökningar. Men då är vi samtidigt fram-

UPGIFTER I LITHOLOGIEN,  
At Rätt kunna känna och Pröfva  
**KALKAKTIGE STENARTER.**

UNDER  
Nuvarande RECTORIS MAGNIFICI,  
Plantage DIRECTUREN i Finland, Chem. PROFESSÖREN samt  
LEDAMOTEN af Kungl. Sveriges Vet. Academiens,  
**HERR PEHR ADRIAN GADDS**  
INSEENDE,  
VID KONGL. LÄROSÄTET i Åbo,  
Och  
Uti öfre Lärorummet  
Urgine och Föreläsade  
Den 17. December 1768.  
af  
Philosophie CANDIDATEN  
**GABRIEL G. ASPEGREN,**  
OSTERÅGEMNINGE.  
ÅBO, Tryckt hos JOH. C. FRENCKELL.

Figur 21. "Uppgifter i Lithologien. At Rätt kunna känna och Pröfva Kalkaktige Stenarter". Framlagd i Åbo 1768 av filosofie kandidaten G. G. Aspegren för professor Pehr Adrian Gadd. Kungl Biblioteket.

me vid en av de grundläggande orsakerna till uppbrottet från rent kalkbruk och den förändring av materialbilden som kommit att dominera långt in i vårt eget sekel.

Denna långa kamp för att åstadkomma ett starkt bindemedel, och den diskussion som förts emot alltför svaga material i stressade lägen, den finns under 1700-talet kontinuerligt belagd i separata vetenskapliga handlingar. Under 1800-talet flyttades dessa resonemang till de tekniska *tidskrifterna*, medan resul-

tatet av 1900-talets forskning ofta kommit att spridas som normföreskrifter, ofta utanför en allmän diskussion.

Sammantaget finns således en utländsk och en inhemsk litteratur som *hitintills* aldrig ställts samman och än mindre faktamässigt analyserats och utsatts för inbördes jämförelser. De vidlyftiga diskussioner som under några hundra år förts om kalkbrukets brister och förtjänster måste återkallas om vi vill försöka förstå den problematik som hör vår egen tid till.

## SAMMANFATTANDE KARAKTÄRISERING AV FORSKNINGSBEHOVET

I anslutande artikel av Ingmar Holmström beskrivs en serie tekniskt inriktade, metodiska studier över kalkbrukets verkningssätt, sedda ur kemisk, fysikalisk och konstruktiv synvinkel. Putsen är här relaterad till olika belastningssituationer. Dessa analyser är ytterst viktiga för förståelsen av kalkbrukets tekniska begränsningar eller möjligheter. Utan denna kunskap är det omöjligt att nå vidare. Men *lika* väsentligt är att denna kunskap kopplas till ett *historiskt material*, tekniskt som litterärt.

Vi vet att man under hand prövat många olika metoder för att framställa och använda kalkbruk, och vi vet att mycket av det utförda arbetet gått förlorat, samtidigt som så mycket fortfarande finns kvar. För en byggnadsarkeolog är välbevarade putsskikt av flera århundradens ålder närmast en vardagsupplevelse. Alla dessa exempel utgör därmed en viktig kommentar till kalkputsens möjliga livslängd – om villkoren är gynnsamma. Men så länge vi inte, i teknisk och historisk mening, förstår hur den äldre kalkputsen fungerar, har vi svårt att definiera kravbilden på vår egen tids puts.

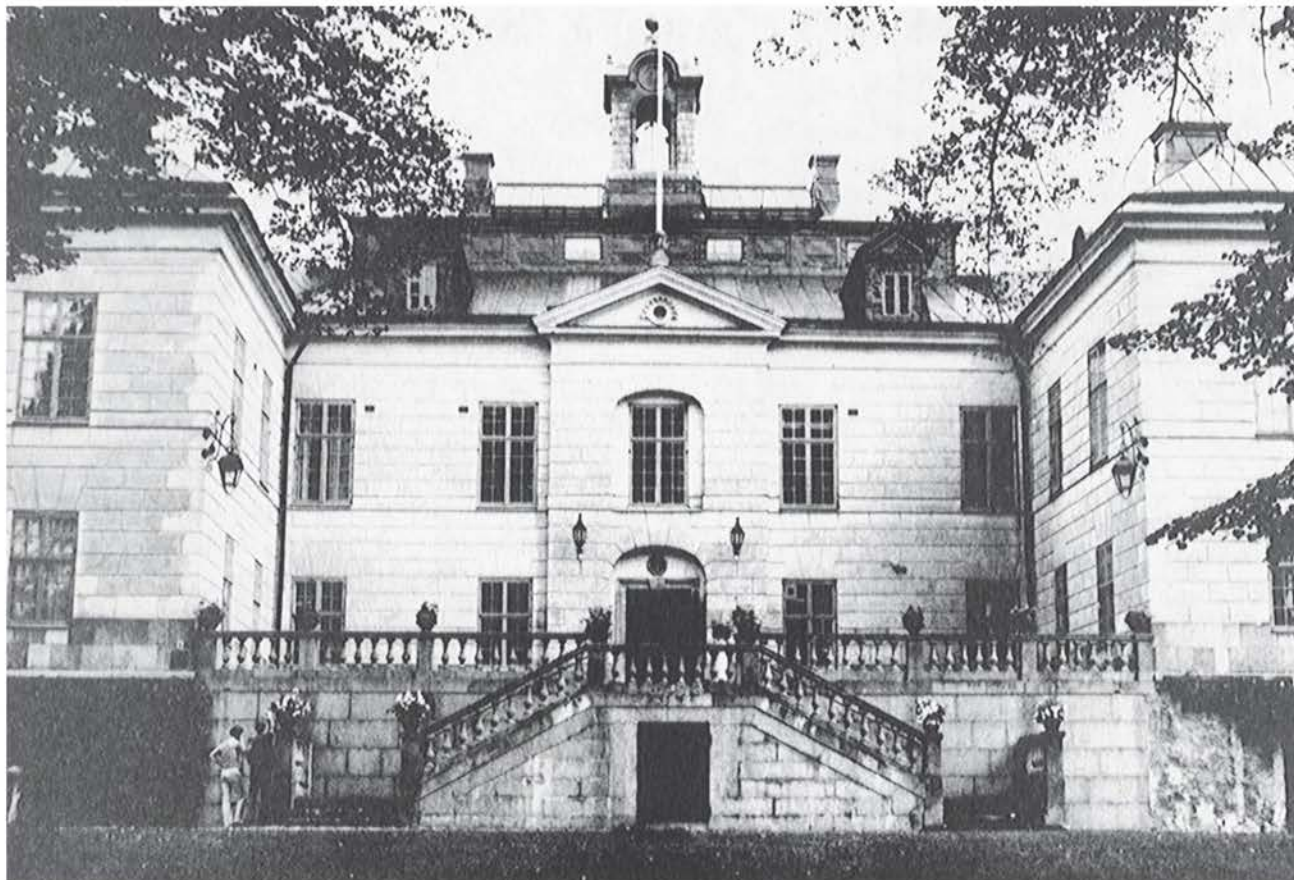
I stort torde de byggnadsfysikaliska betingelserna vara desamma i dag som i äldre tid. De gamla putsernas sammansättning och verkningssätt utgör därmed ett aktuellt studiematerial, trots alla mer eller mindre dramatiska kommentarer om luftförsurning, nedsmutsning mm. Dessa risker är naturligtvis uppenbara, men kanske berör de i första hand vår egen tids bindemedelsfattiga puts? En magrare puts än den som i dag rekommenderas, sett ur andelen kalk i relation till ballastmängd, har aldrig tidigare förekommit. Om detta faktum vittnar nästan all äldre litteratur och gjorda putsanalyser. Här skyntar återigen behovet av en studie av tidigare generationers teknik för putstillredning och putsapplikation.

Att analysera äldre puts eller kalkbruk är dessvärre kombinerat med påtagliga svårigheter. De ingående materialkomponenterna kan till nöds redas ut, medan hantverkstekniken och de av samtiden gjorda bedömningarna av gränserna för hållbarhet eller styrka är mer svåråtkomliga. Ett ingående studium av de historiska förutsättningarna kan i gengäld ge viktiga och intressanta aspekter som skulle kunna innebära nya möjligheter till fördjupning av de tekniska studierna. De uppgifter som förekommer i äldre byggnadsteknisk litteratur borde kunna bidra med nya ledtrådar i en teknisk analys, på samma sätt som nya tekniska aspekter kan ge hjälp att förklara en rad historiska tolkningsproblem. Det handlar här i högsta grad om en kunskapsmässig växelverkan.

En studie av ovan skisserat slag utgör ett *första* steg till en översikt och en kommenterad sammanfattning av tillgänglig kunskap inom ämnesområdet, dels så som den allmänt sett avtecknar sig i äldre litteratur, dels som exempel på historiskt betingade kombinationer av specifika geografiska och kulturella förutsättningar. I första hand borde en *sammanställning av tillgängliga litteraturkommentarer* komma till stånd. Studierna kan utföras som ett lagarbete där arkitekter, naturvetare, kulturhistoriker och arkeologer samverkar för att tyda och tolka uppgifter från olika tider. Parallellt borde även en *geografisk analys av det forna materiallandskapet* inklusive en översiktlig *inventering av kända kalkugnar* skisseras, kanske närmast med hjälp från kultur- och naturgeografiskt håll. Erövringen av det historiska materialet måste gå stegvis fram. Samma sak gäller även den nödvändiga kopplingen till och analysen av rent tekniska frågor. Utan denna månghövdade kunskapsbakgrund har vi svårt att förstå kalkbrukets historia i Sverige och ännu svårare att tolka de olika tekniska översättningsförsök som vi dagligen i olika sammanhang med varierande resultat utvecklar.

**Ingmar Holmström**

## **KALKPUTS, DAGENS TEKNISKA KUNSKAPER OCH FORSKNINGSBEHOV**



*Foto 12. Stenimiterande fasad i kalkputs. Näsby slott i Näsbypark, Stockholms län.  
Foto 1980, Jan Lisinski.*

### **PUTSENS UPPGIFT**

På historiska byggnader var putsens främsta uppgift att ge fasaderna ett önskat utseende, ty vi har sällan haft råd att utföra våra byggnader helt i enlighet med modet inom den kontinentala stenarkitekturen. Vi har tvingats göra imitationer i inhemska billigare material. Huggen gulaktig sandsten i Frankrike blev ljusgul puts här hemma eller t o m gulmålat trä. Grå sten blev grå puts osv. Putsen lämpar sig väl för imitationer. Den är lätt formbar, ganska billig, kan ges önskad form, struktur och färg samt är fogfri till skillnad mot trä. Brandmotståndet är också bättre, vilket utnyttjades i städerna, där även många trähus putsades. En annan uppgift, även om den inte klart uttalades var att ge väggen ett skydd. Förutom bättre brandskydd fick

stommen, antingen den var murad eller av trä ett visst skydd mot nedblötning. Denna fuktskyddande egenskap har särskilt varit väsentlig för livslängden hos väggar murade med dåligt bränt tegel. Utan ett skyddande putslager skulle många av dessa frusit sönder. I vissa fall har putsen frusit ner då och då men teglet förblivit oskadat tills det blottats (offerputs).

Efterhand har denna skyddande uppgift hos putsen fått en alltmer styrande roll. Man försöker nu medvetet välja putstyper som skall skydda bakomvarande konstruktioner mot fukt. Metoderna och teorierna har dock växlat och gör så än.

## ANTIKVARISKA FÖRUTSÄTTNINGAR – TEKNISKA KONSEKVENSER

På kulturhistoriskt värdefulla byggnader ställer man ytterligare krav utöver att putsen skall vara vacker och ge skydd. Lagtexten talar om att "bevara egenarten i en gången tids byggnadsskick". Det talas också om att vården skall skötas på ett sådant sätt att byggnadens patina inte förstörs utan att upplevelsen av historisk byggnad finns kvar. Skyddet för dessa värdefulla byggnader är dessutom inte tidsbegränsat, de skall i princip bevaras för all framtid. (1) (2) (3) (4)

Detta innebär att man vid arbeten med historiska byggnader skall tillämpa några enkla grundprinciper vilka i sin tur har tekniska konsekvenser:

1. *Respekt för originalet* är ett antikvariskt krav och innebär
  - 1a) minimala ingrepp
  - 1b) den historiska upplevelsen skall förbli korrekt
  - 1c) använd i första hand originalmaterial för lagning etc
  - 1d) ersättningsmaterial skall vara lika originalmaterialet
  - 1e) nya material får inte skada originalet
  - 1f) alla ingrepp och ny teknik skall vara reversibel
  - 1g) man skall kunna skilja original från kopia
2. *Mycket lång livslängd* är ett mer tekniskt betonat krav och innebär
  - 2a) tidsdimensioner på hundratals år i stället för de brukliga tiotalen
  - 2b) upprepat underhåll
  - 2c) undvik att ändra en fungerande konstruktion
  - 2d) använd material, och komponenter med kända egenskaper och känt åldrande
  - 2e) använd reversibel teknik
  - 2f) dokumentera och motivera alla ingrepp

Självklart innebär lång livslängd också att man inte får använda material som kan skada byggnaden, då förkortas ju livslängden.

Både respekten för originalet och den långa livslängden leder som synes till regler som till stora delar råkar sammanfalla. Användningen av originalmaterial och ursprunglig teknik kan alltså motiveras ur både antikvarisk och teknisk synpunkt.

Reversibilitet betyder att det skall vara möjligt att återvända till utgångspunkten. I princip betyder det att materialet/komponenten

- inte skadar underlaget/omgivande material
- kan avlägsnas utan att skada underlaget/omgivande material.

Då det gäller målad fasadputs betyder ovanstående regler att om det varit kalkfärgad slätskurad kalkputs på en fasad skall man i första hand försöka bevara så mycket som möjligt av originalputsen. Om och när putsen behöver repareras skall man använda kalkputs. Var den slätskurad ska man slätskura igen och var den kalkfärgad ska man använda kalkfärg igen.

Måste man av någon anledning byta till annat material, tex en puts med cementinblandning skall dess egenskaper vara så lika den ursprungliga kalkputsen som möjligt både vad gäller mekanisk styrka, fukt-egenskaper, åldrande och utseende. Dessutom skall den nya putsen ovillkorligen kunna tas bort utan att underlaget skadas.

Eftersom kalkfärgad kalkputs dominerade nyproduktionen ända fram till slutet av andra världskriget är detta den dominerande materialkombinationen på kulturhistoriskt värdefull bebyggelse. Att renovera med kalkputs och kalkfärg är också det naturligaste med hänvisning till ovanstående principer. Nyproduktionens putsmaterial och fasadsfärger har starkt avvikande egenskaper jämfört med de kalkbaserade. Framförallt har de högre hållfasthet, så hög att bl a vidhäftningen gör att underlaget skadas då de renoveras. De går helt enkelt inte att avlägsna utan att skada. Fuktegenskaperna skiljer sig i många fall radikalt liksom sättet att åldras. Man kan därför inte annat än i undantagsfall använda nyproduktionens material vid renovering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader, i princip endast i de fall där detta värde är litet.

Problemet är samtidigt att kalkbaserade material har använts så lite under en följd av år att de dels försvunnit helt eller delvis ur marknaden dels att kunskapen om deras rätta användning också försvunnit. Vi har fått ett traditionsbrott, en kunskapslucka.

Putsmaterialet och hantverkstekniken är sammanfattningsvis en del av byggnaden och av dess kultur-

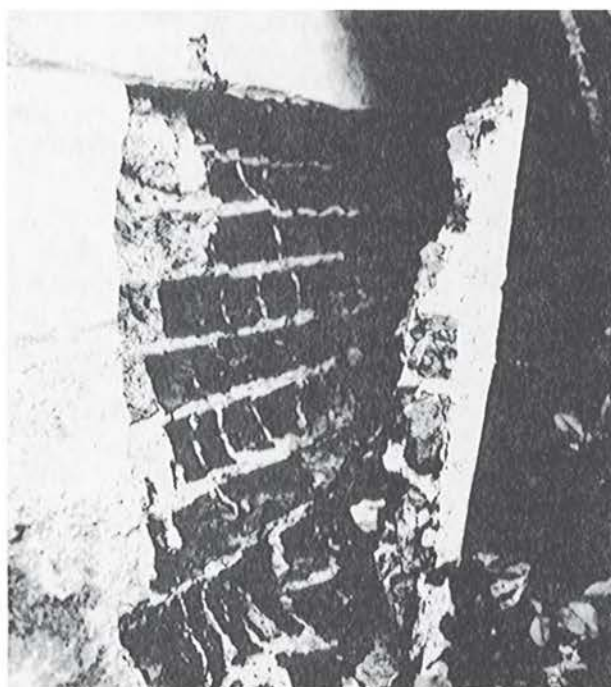


Foto 13. Sockelparti ilagat med starkt cementhaltigt KC-bruk. Bruket är starkare än teglet, som vid frostsprängning klyvts på mitten. Foto 1982. Lars-Göran Löfström.

historiska värde. Att byta till ett helt nytt material innebär att man minskar byggnadens autenticitet, äkthet, jämförbart med att byta form, färg och funktion.

I princip skall man alltså sträva efter att inte röra någonting, och *om* man gör det, göra så lite som

möjligt och med ursprungliga material och teknik. *Om* man tvingas byta material eller teknik skall denna vara väl känd, inte ge oönskade biverkningar och dessutom skall de nya materialen kunna avlägsnas utan att skada. Det är alltså mycket starka skäl som talar för att ursprungliga putsmaterial och ursprunglig teknik skall användas.

## LIVSLÄNGD – UPPREPAT UNDERHÅLL

Även om lagskyddade byggnader i princip skall ha evig livslängd är detta inte praktiskt möjligt vad gäller de enskilda delarna. Puts och färg åldras, vittrar och förstörs av olika påfrestningar och måste till slut förnyas. Detta kontinuerliga åldrande har man fått leva med.

Begreppet livslängd är inte entydigt, inte heller teknisk livslängd. I mycket är livslängden en bedömningsfråga där olika värderingar spelar stor roll. Värderingarna varierar dock från tid till annan och från person till person.

När en fasadputs fallit ner helt är alla överens om att det var slutpunkten för dess livslängd. Om tio kvadratmeter fallit ner är man mera tveksam, ännu mer tveksam om det gäller bara en kvadratmeter eller endast ytskiktet på en begränsad yta. Samma problem gäller färgen. Är livslängden ute när ytan inte längre ser fullt fräsch ut? Hur långt skall den tillåtas åldras, förändras innan färgens liv kan sägas vara slut?

Allmänt sett kan man nog påstå att vi i Sverige har mycket högt ställda krav på perfekt utseende jämfört med många andra länder. Vi tolererar inte åldrat utseende. Tendensen tycks också vara att kraven höjts med tiden. Toleransen mot skavanker var större förr.

Putsens livslängd är inte bara beroende av utseende och skador på ytan. Man kan också tala om skyddsfunktionens livslängd. När har t ex färgen eller putsen upphört att skydda väggen? Är vittrad puts ett hot mot husets goda bestånd? Inte heller på dessa frågor finns ett entydigt svar. De enkätsvar som redovisas i skriften "Kalkputs 1" bygger ju i grunden på sådana bedömningar trots att man försökt att formulera frågorna så att man skulle få möjligast objektiva värderingsfria svar.

Arkivstudier har uppdragat att i stort sett varje generation underhållit putsen på sin gamla kyrka, och målningens arbeten därpå ofta mer än en gång. Det innebär att putsarbeten, oftast lagningar, gjorts kanske vart 15–20 år, kalkning kanske vart 10–15 år. Med erfarenhet från fastighetsförvaltning i Stockholm, främst under tiden mellan världskriget, har Knut Bildmark (5) (6) (7) i sin byggforskningsrapport givit följande sannolika livslängder:

Puts av kalkbruk, kalkfärgad	30 år
D:o vattnivning och kalkavfärgning	20 år
Slamning med kalkbruk, kalkfärgad	30 år
D:o lagning och komplettering	15 år
Puts av hydrauliskt bruk, skrapad	50 år
D:o översyn, lagning	25 år

Med vårt allt surare regnvatten måste man räkna med något kortare perioder nu, särskilt vad det gäller kalkmålning på utsatta fasadytor. Samtidigt måste man ha klart för sig att det finns välbevarad ursprunglig fasadputs från tidig medeltid liksom det finns kalkmålad fasader som ser hyggliga ut ännu efter mer än hundra år, i städerna ännu efter 50–75 år. Livslängden hos traditionell kalkputs kan alltså variera beroende på främst hur utsatt den är för klimatpåfrestningar, för kalkningens del dessutom luftföroreningar. Det bör dock vara rimligt att putsen skall hålla minst 20 år förutom mindre lagningar. Kalkmålning på en kalkputsad yta bör hålla sig hyggligt fräsch minst 7–15 år, på hårt utsatta ytor såsom torn och liknande liksom i starkt förorenad miljö dock kortare tid. Danska försök visar ibland livslängder på ned till 3 år för kalkfärgat murverk (8).

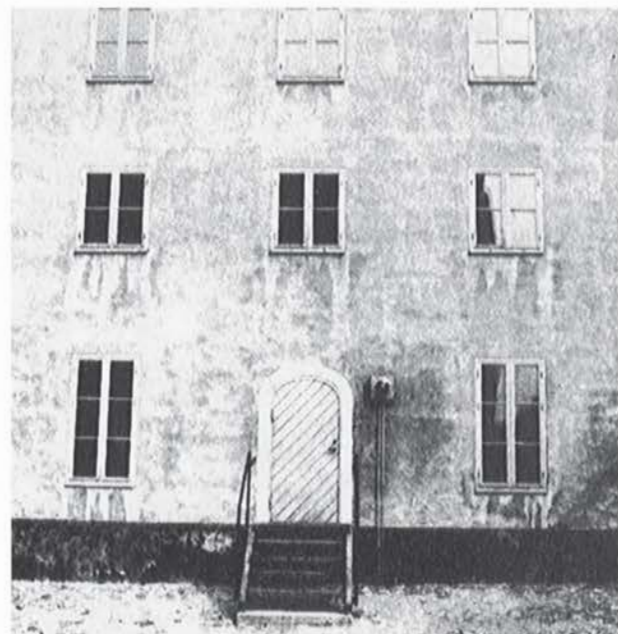


Foto 14. *I Sverige är kraven på perfekt utseende mycket högt ställda jämfört med i många andra länder. Kan vi acceptera en åldrad putsyta som denna från citadellet i Landskrona? Foto 1981, Jan Lisinski.*



Livslängden är av samma orsak olika för putsen på t ex en kyrka. Tornets mest utsatta delar kanske brukar skadas efter 5–10 år medan resten klarar sig kanske tre, fyra, fem gånger längre tid och man fortfarande har flera hundra år gammal puts på långhusets norrfasad.

Man skall också ha klart för sig att skador på färg och framför allt på puts ofta är tecken på fysikalisk eller kemisk obalans i hela konstruktionen. Variationer i putsens kvalitet och egenskaper är endast en av de faktorer som påverkar putsens livslängd. Klimatet är en annan faktor, underlagets egenskaper en ytterligare och byggnadens användning en fjärde för att nämna de vanligaste.

Ofta är det t ex så att putsen på ett visst hörn eller ett visst område alltid fått skadad puts tidigare än övriga ytor.

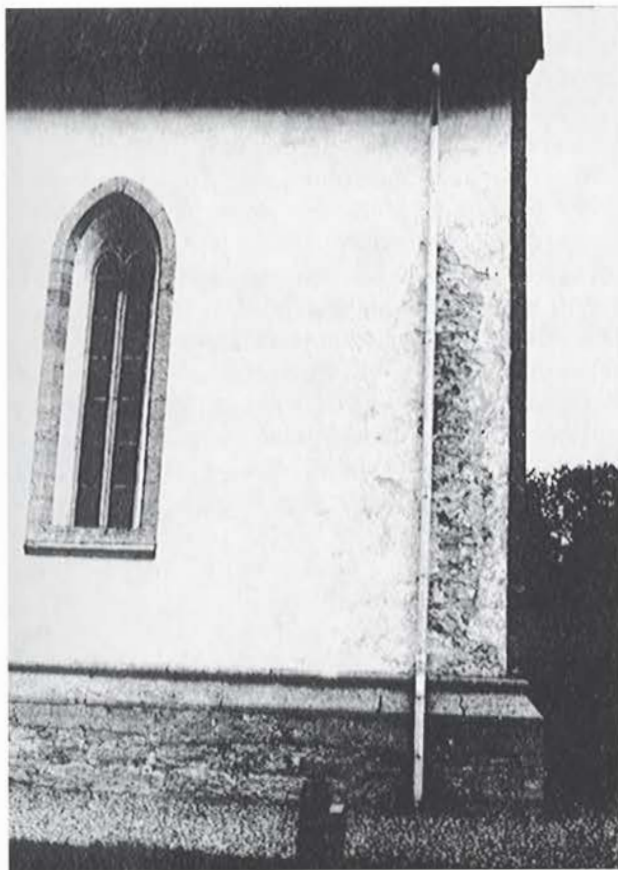


Foto 15. Putsen på Garda kyrka på Gotland har skadats av ett läckande stuprör. Felaktig vattenavledning är en vanlig orsak till många puts-skador.

Foto 1981. Jan Lisinski.

Inte sällan skadas putsen av läckande tak, takrännor, stuprör och annan felaktig vattenavledning. Sådan påfrestning klarar ingen puts och inget murverk. Skadan är alltså i princip oberoende av putskvaliteten. Om murverket suger fukt från marken, innehåller lösliga salter etc kommer putsen och/eller murverket ofelbart att snabbt skadas.

## Upprepat underhåll

Eftersom kulturhistoriskt skyddade byggnader i princip skall ges obegränsad livslängd innebär underhållsperioder om 10–50 år ett upprepat underhåll; redan på hundra år innebär det 2–10 underhåll. (4)

Man har i alla tider godtagit ett kontinuerligt underhåll bestående av lagning, bättring, ommålning, omputsning. Fram till i vår tid har man gjort detta med traditionella dvs gamla material och teknik. Problemet med skador av ändrat materialval etc har därför knappast funnits utan har följt med den nya tekniken som introducerades efter andra världskriget. Eftersom de flesta byggskadorna trots allt är långsamma processer har man inte förrän i sen tid kunnat observera problemen och därmed dra lärdom av dem.

Man har alltid strävat efter så lite underhåll som möjligt men samtidigt fått erfarenhet av hur underhållet skall skötas. Det var ganska enkelt att lära sig hantera de få material man hade tillgång till, man hade generationers erfarenhet. Med mängden nya material som uppkommit efter andra världskriget har vi inte kunnat lita till erfarenheten utan fått nöja oss med teorier och förhoppningar. Det har med tiden visat sig att teorierna ofta var ofullständiga och förhoppningarna alltför optimistiska. Med många nya putser och färger har vi fått skador och därmed nya underhållsproblem på de historiska byggnaderna. Oftast är dessa skador svårare att bota genom att de nya materialen är starkare, hårdare, tätare och har bättre vidhäftning än de gamla, traditionella.

Det är alltså väsentligt att både puts och färg kan förnyas utan att underlaget och omgivningen skadas. För både puts och färg är vidhäftningen till underlaget avgörande. Traditionell kalkputs och kalkfärg innebär här inga problem eftersom de kan avlägsnas utan att underlaget skadas. Starkt cementhaltig puts kan däremot inte avlägsnas utan att muren skadas. Likaså kan cementhaltig färg, silikatfärg eller organisk färg inte avlägsnas från en putsyta utan att denna skadas. Att kunna avlägsna det gamla skiktet är nödvändigt eftersom det av tekniska skäl inte går att lägga skikt på skikt i all oändlighet.

Färg vars bindemedel är baserat på cement, silikat (vattenglas), eller organiska ämnen (oljor, alkyder, plaster) kan inte övermålas med kalkfärg. Eftersom de inte kan avlägsnas innebär ett enda avsteg också att kalkfärg för all framtid är utestängd från den putsytan. Enda möjligheten att återgå till kalkfärg är att helt avlägsna det organiska bindemedlet från putsytan. Det kan man oftast inte göra utan att förstöra putsytan, vanligen genom att hugga ner hela putsen. Cementfärg och silikatfärg kan ofta avlägsnas med lätt blästring. Svag kalkputs tål dock ofta inte blästring.

Kalkputs direkt på underlaget går alltid att avlägsna utan att underlaget skadas, eftersom putsen är det svagare av de två, oavsett underlag. Kalkcementputsens hållfasthet vad gäller dragning, tryck och vid-

häftning varierar i huvudsak med cementmängden. Ju högre andel cement desto större styrka. Sedan slutet av 50-talet har man i regel putsat i två till tre skikt med olika cementhalt för varje skikt. Grundningsskiktet har varit nästan rent cementbruk samt följande skikt successivt cementfattigare (grundning KC 10/90/350 dvs KC 1:4:15, grovputs KC 35/65/550 dvs KC 1:1:8 och ytputs KC 50/50/650 dvs KC 2:1:12). Sådan puts kan möjligen avlägnas helt från granit utan att stenytan skadas nämnvärt, däremot skadas fogarna mer eller mindre djupt. Dagens normala treskiktsputs uppfyller alltså inte kravet på att inte skada vid avlägsnande.

För de fabrikstillverkade kalkputserna föreskrivs

## DIMENSIONERING AV FASADPUTS

Flertalet byggnadsdelar kan man i dag dimensionera. Man kan genom beräkningar förutsäga hur konstruktionen kommer att fungera om en viss materialkvalitet används och man har en given belastning. Detta är inte möjligt vad gäller fasadputs. Man måste här lita på erfarenhet. Orsaken är att vi saknar vissa väsentliga data både på belastning och på ingående material. Dessutom är inte alla processer kända. Det kommer alltså att krävas mycket forskning och utredning innan vi kan förutsäga hur en viss puts kommer att uppföra sig på en given byggnad. Främst är det fukt-påfrestningarna (nedblötning, krympning mm) som är otillräckligt kända men dessutom vet man alltför lite om hur kombinationer av olika material fungerar, liksom om hur arbetsmetoder, underlagets egenskaper, klimatet vid utförandet mm påverkar egenskaperna hos putsen eller färgen. Vi saknar också metoder att mäta egenskaperna hos den färdiga produkten: hur den målade eller omålade putsen slutligen blev. Vad fick den för styrka, för porositet etc?

Vi är dock inte helt utan kunskap. Vi vet en hel del om både materialen och om olika processer, dock inte tillräckligt för att dimensionera. Vi har också en hel del praktiska erfarenheter. Problemet är att kunna tolka dessa rätt. De detaljerade kunskaperna är dessutom starkt personbundna, främst de praktiska erfarenheterna. Fasadputs för nyproduktionen styrs för övrigt främst av rekommendationerna i HusAMA 72 (20) och en del utredningar såsom Saretoks "Ytskikt på betongytor, murytor och liknande" (21) och standardverk såsom "Bruk, murning, putsning" (22).

### Belastning

Belastningen på en fasadputs består i huvudsak av klimatiska påfrestningar. Tryck och stötar av tex åverkan har föga eller ingen betydelse. Aggressiv atmosfär t ex svavelhaltigt regn har sannolikt betydelse för den långsiktiga hållfastheten hos putsen, men för färgens beständighet har det större betydelse. Det finns där ett klart samband mellan vittringen av karbonathaltig färg och mängden svavelsurt regn som träffat ytan.

ibland ett "cementsvagt grundningsbruk", (KC 35/65/400 dvs KC 1:1:6), särskilt för tegelmurar. Det är dock ytterst tveksamt om en sådan grundning kan avlägsnas utan att rejält skada både tegel och fog.

Dagens vanliga kommersiella utbud av putser går således normalt inte att avlägsna från det putsunderlag (tegel) som vanligast förekommer på historiska byggnader, vilket enligt grundsatserna är ett villkor.

Varje skikt skall alltså vara svagare än sitt underlag för att kunna underhållas upprepade gånger. Gamla putsmaterial uppfyller detta krav, flertalet moderna material uppfyller det inte, åtminstone inte på det sätt de hittills använts.

Klimatpåfrestningar är ett sammansatt begrepp med oklar innebörd. Vind, regn, värme, kyla förekommer ju i många kombinationer. Vissa klimatfaktorer registreras regelbundet av vädertjänsten men de är få, och inte särskilt relevanta för påfrestningen på putsfasader. Dessutom kan det lokala klimatet skilja sig från det generella, förutom att förhållandena varierar starkt både mellan närliggande byggnader och inte minst på en och samma byggnad. Byggnadsdelar som sticker upp eller skjuter ut ur omgivningen får t ex betydligt mer regn än de andra. Det gäller både i stor skala (landskapet) och liten (fasaden). En utstickande detalj på ett kyrktorn är mycket hårdare påfrestat än tornfasaderna generellt. Tornet är i sin tur betydligt hårdare utsatt än byggnadens lägre delar. Putsens livslängd är därför kortare på en kyrkas torn än på dess långhus om putskvaliteten är lika.

Relevanta klimatdata är således svåra att få. Sedan ett antal år har kombinationen slagregn och frysning ansetts vara dimensionerande för fasadputser. Stor mängd slagregn och många fryspunktpassager har varit ett kriterium, stor mängd slagregn i direkt anslutning till frysperiod ett annat. Dessa uppfattningar ligger till grund för rekommendationerna i HusAMA sedan många år. (20)

Den geografiska fördelning av skador som redovisas i inventeringen i "Kalkputs 1" stämmer inte med denna "klassiska" uppfattning om hårt klimat.

Växlande temperatur på fasadytan är *en* viktig påfrestning, regnets urlakande verkan en annan och regnets försurning ytterligare en faktor. Temperaturväxlingar, urlakning och försurning samverkar på ett olyckligt sätt i nedbrytningen av karbonathaltiga material såsom kalkputs, cementputs, betong, kalksten, marmor, kalkbunden sandsten m fl.

De flesta och de snabbaste temperaturväxlingarna i putsen beror på strålning: solinstrålning på dagen, utstrålning på natten. Temperaturen avtar snabbt från ytan och inåt för att bli nära konstant endast

några få centimeter in i väggen (9). Temperaturskillnaderna har därmed en tendens att medföra motsvarande olika tryck- och dragspänningar i putsen och dess underlag. Spänningarna är alltså normalt störst i ytan och avtar inåt vilket ger en tendens till avspjälkning. Ojäma rörelser i underlaget påfrestar också putsen. Orsaken kan vara sättningar och konstruktionsbetingade rörelser i stommen samt temperaturrörelser. Den kritiska punkten är oftast fogar och materialbyten. Murar av stora naturstenar får rörelser i fogarna bl a av temperaturändringar varför putsen där blir extra påfrestad. Sugningen i fog respektive sten är oftast olika vilket kan ge olika vidhäftning och olika fuktförhållanden.

Hög vattenhalt i putsen samt frostsador beror bara till en del av belastningen utifrån (regn, köldgrader etc). De är resultatet av ett samspel – eller snarare brist på samspel – mellan klimatbelastningen utifrån, putsens egenskaper, murens egenskaper och klimatet på insidan av väggen. Man anser allmänt tex att kallmurar är mer utsatta för frostsador än murar som är värmda på insidan. Utan tvekan bidrar uppvärmningen till uttorkningen av murverket, en process som sker både utåt och inåt. I de mycket tjocka massiva murverken som är karaktäristiska för gamla byggnader, bl a kyrkor, är det dock osäkert vilken praktisk inverkan uppvärmningen har för putsens vattenhalt. De för regn mest utsatta delarna, torn och gavelspetsar, är nästan alltid ouppvärmade. Likaså får husens hörn mer regn än de släta fasadytorna samtidigt som de får mindre värme än fasaden i övrigt (stor kyl yteryta jämfört med innerytan).

Många hårt klimatbelastade delar av de gamla byggnader som omfattas av den i "Kalkputs 1" redovisade inventeringen, har alltså inte den lilla uttorkningshjälp putsen kan få av värme inifrån.

Sammanfattningsvis kan man säga att det är det yttre klimatet, kombinationen av olika klimatfaktorer som normalt bryter ner fasadputsen och dess färg. Vind, regn, solvärme och kyla är sannolikt de viktigaste faktorerna. Man vet dock inte vilken betydelse de olika faktorerna har och inte heller deras verkliga mängd, storlek, på den enskilda byggnaden. Man vet dock av erfarenhet att de byggnader och fasadytor som är utsatta för starka vindar är särskilt utsatta. Vinden styr även regnet. Likaså är fasadytor som värms av solen (syd-väst) vanligen mer utsatta än övriga.

### Materialegenskaper

Den idealiska putsen ska vara följsam mot underlagets rörelser, vara seg och eftergivlig, inte bygga upp spänningar i ytskiktet på grund av varierande temperatur och fukthalt, ha god vidhäftning men samtidigt kunna avlägsnas från underlaget utan att skada detta.

Putsen ska därför ha successivt avtagande styrka mot ytan, där det inre skiktet närmast murverket ska vara något svagare än murstenarna och fogbruket. Styrkan ska vara avpassad så att putsen klarar påfre-

ningarna av klimat mm utan att skadas och att den inte heller skadar underlaget. Putsen och dess färgskikt ska också skydda murverket från nedblötning. Inte minst ska putsen och dess färgskikt ha ett tilltalande utseende och kräva minimum av underhåll. På kulturhistoriska byggnader ska dessutom utseendet och huvudsakliga tekniska egenskaper överensstämma med kalkmålad kalkputs, och medge upprepat underhåll. Kalkmålad kalkputs tycks i huvudsak ha uppfyllt alla dessa krav ända långt in i vårt sekel, men har inte alltid gjort det på senare år. Varför?

Kalkmålad kalkputs har i nyproduktionen sedan andra världskriget helt ersatts med genomfärgad kalkcementputs, till en mindre del även av ett tjockt målningsskikt direkt på underlaget främst då på lättbetong. Dessa tjocka målningsskikt, ibland kallade tunnputser, liksom andra målningmaterial vid renovering har oftast varit baserat på organiska bindemedel.



Foto 16. Flagad organisk färg på puts. Villa i Stockholmsförort.  
Foto 1982, Einar Brydolf.

Organisk färg är av flera skäl olämplig som ersättning för kalkfärg på kulturhistoriska byggnader. Argumenten för kalkfärg finns redovisade i skriften "Kalkfärg på fasad" (10). Främsta skälet är att sedan man en gång målat putsfasaden med organisk färg är det omöjligt att återgå till kalkfärg. Likaså försvåras framtida underhåll och risken för lokala fuktskador ökar.

Cementhaltig puts får andra egenskaper än puts med enbart kalk som bindemedel. Cementet gör putsen hårdare och ökar hållfastheten mot dragning, böjning och skjuvning. Även elasticitetsmodulen ändras. Också porstrukturen ändras, vilket påverkar fukt-egenskaper och luftgenomsläpplighet. Porerna blir generellt mindre vilket ökar sugkraften men minskar transportkapaciteten. Putsen blir "tätare". Skillnaderna ökar med ökad cementhalt. (Samtidigt har luftporhalten stor betydelse. Ett KC 75/25/850 med hög

lufthalt kan vara öppnare än t ex K 1:3 utan luftporer.) Ett byte från kalkputs till cementhaltig puts innebär därmed normalt att fasadens och därmed hela väggens fuktegenskaper ändras. Exempel finns på att fuktskador uppstått efter ett byte, bla på skånekyrkor.

Modern fasadputs har alltså väsentligt annorlunda egenskaper än traditionell kalkputs, vilket gör att man varken av tekniska eller antikvariska skäl bör använda den på tidigare kalkputsade byggnader.

Att den cementhaltiga putsen trängt undan kalkputsen inom nyproduktionen beror givetvis på att den har en del klara fördelar. Putsens hårdnande blir mindre beroende av väderlek och sakkunnig hantering. Putsningssäsongen blir alltså längre utan att hållfastheten äventyras. Putsens styrka kan också ökas genom ökad cementblandning. Det innebär att man bla kan bygga upp en puts av flera skikt med olika funktion: Ett starkt cementhaltigt grundningsskikt säkrar vidhäftningen och ger följande skikt minskad sugning på porösa underlag. Ett stockningsskikt, grovputs, fyller ut ojämnheter och förbereder för det sista skiktet, ytputsen. Grovputsen ges mindre cementhalt än grundningen men högre än ytputsen. Putsen blir på så sätt successivt svagare utåt vilket är till stor fördel för hållbarheten. Med de cementhalter som idag är vanliga blir dock putsen för stark och får för god vidhäftning mot underlaget. Putsen är helt enkelt omöjlig att avlägsna utan att underlaget skadas allvarligt. Det är som nämnts oacceptabelt på en historisk byggnad. Putsen är också så pass mycket hårdare, starkare och mer fuktät än kalkputs att skador har uppstått på svaga underlag, främst gammalt tegel. Cementblandningen i putsen gör också att kalkfärg får dålig beständighet. Man tvingas därför även över till andra färgtyper. Orsaken till att cementhaltig puts visat sig ge kalkfärgen sämre beständighet är oklar. Kanske är det den sämre sugningen, kanske är det ämnen i cementet.

Den cementhaltiga putsens säkrare hårdnande är dock en obestridlig fördel. Orsaken är att cementet hårdnar genom vattenupptagning medan kalken hårdnar genom reaktion med luftens koldioxid. Det senare är en betydligt känsligare och långsammare process som fordrar sommarvärme och rätt fukthalt för att sluthårdnandet skall ske inom rimlig tid. Behandlar man en nygjord kalkputs på samma sätt som en cementhaltig puts sluthårdnar den kanske aldrig. Kalkputsen bara torkar, liksom en lera torkar, och hållfastheten blir mycket låg. Det kan alltså mycket lätt bli dålig kvalitet på putsen om muraren och arbetsledaren inte är van vid kalkputs.

Problemet är att vi inte har några siffervärden på den gamla kalkputsens tekniska egenskaper såsom mekanisk styrka, elasticitet eller porositet. Vi saknar dessutom tillförlitliga siffervärden på motsvarande egenskaper hos såväl nutida kalkputs som andra nutida putser.

Vi vet att det är samspelet mellan putsen och dess underlag murverket som dels avgör putsens slutliga egenskaper, dels avgör hur hela konstruktionen fungerar mekaniskt och fukttekniskt. Underlagets sugning t ex påverkar både putsens mekaniska styrka och dess porositet, dvs även dess fukttekniska egenskaper. Vi saknar tillräcklig kunskap om detta i dag för att kunna dimensionera puts.

På grundval av erfarenhet kan en del av dessa faktorer uppskattas, liksom deras ungefärliga betydelse. Vissa utföranden kan på så sätt anges som felaktiga eller olämpliga, andra som sannolikt lämpliga. På nyproduktion kan man ange säkra utföranden i dag. En treskiktspus av gängse uppbyggnad baserad på kalkcementbruk med tillsats av luftporbildande medel och med skrapad yta eller spritputsyta är ett säkert alternativ om den är korrekt utförd. Ur fuktteknisk synpunkt är omålad puts ett säkrare alternativ än målad. Avfärgning med färg med samma bindemedel som putsen ändrar inte fuktförhållandena. Ett sådant skikt fungerar till och med som ett visst skydd för putsen, genom att det agerar som offerskikt. Huvudregeln är således kalkfärg på kalkputs, KC-färg på KC-puts.

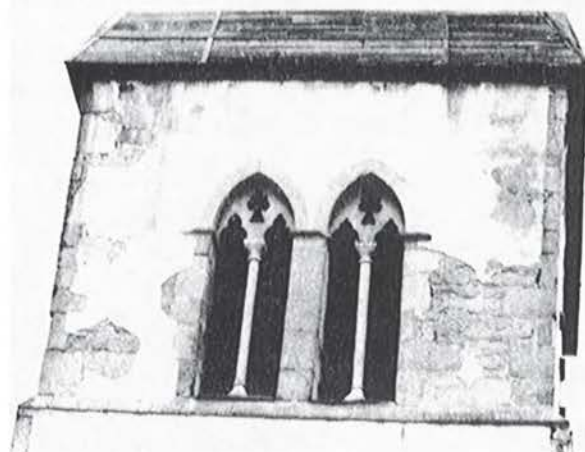


Foto 17. Puts på kyrktorn i klimatpåfrestat läge. Eke kyrka på Gotland.  
Foto 1981, Jan Lisinski.

De fabrikstillverkade kalkputserna har sällan misslyckats, särskilt om de utförts med de undre skikten av hydrauliskt bruk. Puts av platsblandat rent luftkalkbruk har haft ett osäkrare utfall. I klimatskyddade lägen har det sällan varit misslyckanden. Där skador uppstått har de kunnat hänföras till utförandefel eller exceptionella belastningar såsom trasiga stuprör. I klimatpåfrestade lägen har därmed ren kalkputs inte sällan misslyckats. Även där kan man ofta peka på rena utförandefel men ibland är orsaken oklar. Putsen har helt enkelt haft olämpliga egenskaper i förhållande till belastningen. Den mekaniska styrkan och porstrukturen har inte samspelat på optimalt sätt med underlaget och med klimatbelastningen.

Säkerhetsmarginalerna för rent kalkbruk är alltså ännu otillräckliga för utsatta lägen. Å andra sidan kan man inte utan vidare där övergå till kalkcementputs

som i nyproduktionen. Dels går denna inte att avlägsna vid renovering, vilket är ett huvudkrav, dels vet man inte hur murens fuktbalans påverkas.

Putsens mekaniska styrka (dragning, böjdragning, tryck, skjuvning), elasticitet (E-modul), vidhäftning och porstruktur är huvudfaktorerna och skall samspela på ett optimalt sätt, dels inbördes, dels med underlag och aktuellt klimat. Vi saknar data för detta, eller ens gränsvärden.

I det följande redovisas olika faktorer mera ingående.

### Arbetsutförande

Med ett visst utgångsmaterial kan man på ett hus med en viss klimatbelastning få olika resultat genom att utföra arbetet på olika sätt. Det gäller alltifrån framställningen av bindemedlet, hanteringen av detta, hanteringen av sanden, blandningen av bruket, putsningsmetoden och slutligen putsens efterbehandling. Sannolikt är det i arbetsutförandet de största kunskapsbristerna finns idag och där felen begås vid kalkputsning.

Vi vet ytterst lite om äldre tiders arbetsutförande. Hantverkstraditionen är bruten vad gäller kalkputs och litteraturen ger otillräcklig ledning. En av orsakerna till detta är att hantverksskunnande svårligen låter sig beskrivas i skrift, en annan att de hantverksskunniga inte varit skrivkunniga och vice versa.

## PUTSMATERIAL FÖRR OCH NU

Såsom framgår av det historiska avsnittet har man förr i hög grad varit hänvisad till lokala material. Transporter var relativt sett betydligt dyrare förr. Sten, tegellera och sand hämtades om möjligt på arbetsplatsen eller i dess närhet. I vårt kalkfattiga land var det mer sällan kalken fanns i närheten. Även i kalkstensområden kunde man dock behöva transportera kalken. Kalkstenens egenskaper varierar i hög grad. Hårdhet, porositet, kalkhalt, typ av föroreningar mm avgör om kalkstenen är lätt eller svår att bränna, om slutprodukten går att använda för putsbruk osv. I Katthammarsvik på Gotland hade man en bra hamn, skog och kalksten så långt ögat såg. Man utrustade hamnen, byggde stora ugnar intill bara för att finna att kalkstenen inte dög för bränning. Man måste transportera kalkstenen från Östergarn, en kalksten med liknande utseende. Äldre män kan i ett och samma kalkbrott peka ut sten för bränning av målningsskalk, förputs, grovputs och murning samt sten oduglig för bränning. Dagens fabriksstillverkade kalk bryts i jättebrott där ingen sortering sker varken före eller efter bränningen. Bränningen övervakas med elektronik, släckningen likaså.

Valet av kalksten för bränning, bränningsmetoden och släckningstekniken ger var för sig olika egenskaper hos det färdiga materialet, i kombination med ytterligare egenskaper. Lagring av den släckta kalken och av det färska kalkbruket påverkar också slutprodukten egenskaper.

Tillredningen av kalkbruket kan göras på olika sätt, med olika vattenhalt, med olika blandningsmetoder och olika blandningstider. Detta påverkar såväl konsistens som arbetbarhet, vidhäftning, krympning, porstruktur mm. Tillsatsämnen av olika slag (djurdelar, blod, öl, tegelmjöl, lera, alun osv) ger ytterligare förändrade egenskaper, ofta även vid små mängder. Putsningsmetoden har stor inverkan på slutresultatet. Brukets konsistens, murens sugning, att slå på eller trycka på bruket, påslagets tjocklek, tiden mellan olika påslag, lätt eller intensiv bearbetning av det påslagna bruket, avdragning, slevslätning eller brädskurning och tidpunkten för bearbetningen påverkar slutresultatet i hög grad. Även klimatet före, under och efter putsningen har stor betydelse, särskilt för lufthårdnande kalkbruk. Efterbehandling av den nyputsade ytan med uttorkning, vattning mm påverkar både krympning, vidhäftning och mekanisk styrka hos putsen. Att blanda sand, kalk och vatten i vissa bestämda proportioner och föra det på väggen med någon halvdefinierad putsningsmetod kan alltså ge mycket olika resultat även på en och samma vägg.

Arbetsutförandets inverkan beskrivs närmare i det följande.

Vid bränningen i fältugn har man in i våra dagar valt stenen i brottet, sorterat den brutna stenen, bedömt bränningstemperatur och bränningstid med stöd av erfarenhet, stenens utseende, lågornas utseende, rökens färg mm och sedan sorterat den brända stenen före släckningen, liknande metodik har man haft vid släckningen. En och samma person eller grupp av personer behärskade alltså förr hela processen och kunde påverka den för att få önskat slutresultat: en hårdare puts. Generationers erfarenhet av en och samma materialgrupp gav förutsättning för högsta möjliga kvalitet. Våra dagars specialisering och mekaniserade stordrift kan ge en jämn kvalitet på tex kalk, men säkert inte den högsta tänkbara. Vi kan endast i begränsad omfattning göra specialiserade produkter och får därför i stor utsträckning lita till materialkombinationer och tillsatser.

### Bindemedel

I det följande talas om lufthårdnande kalk till skillnad från hydrauliska bindemedel. De senare hårdnar under vatten, de lufthårdnande fordrar upptorkning och tillförsel av koldioxid från luften.

Lufthårdnande kalk har varit det helt dominerande bindemedlet i puts fram till andra världskriget. I de områden där man har skiffer och kalksten dvs i huvudsak Västergötland och Närke har man länge använt hydraulisk kalk bränd av skiffer och kalksten tillsammans. Sedan 1600-talet har man på kvalificerade objekt då och då laborerat med tillsatser till luftkalkbruket för att få ett säkrare hårdnande, ett hydrauliskt bruk. Det har varit lera, krossat tegel eller aska. Senare har man använt alun, masugnsslagg

mm. Sedan portlandcementet kom i slutet av 1800-talet har detta successivt övertagit rollen av hårdgörande tillsats i kalkputs. Man tycks dock inte ha betraktat lufthårdnande kalk i puts som ett problematiskt material förrän kring andra världskriget. Bruk för andra ändamål, främst murning och fogning har däremot tidigare varit föremål för omfattande förbättringsförsök. Kajer, kanaler, befästningar mm har initierat utvecklingen av hydrauliska bruk tåliga för vatten och med högsta möjliga styrka.

### Kalkbränning

Kalksten + upphettning → bränd kalk + gas

dvs kalciumkarbonat + 700 – 1100°C → kalciumoxid + koldioxid

dvs  $\text{CaCO}_3 + 700 - 1100^\circ\text{C} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

### Kalksläckning

Bränd kalk + vatten → släckt kalk + värme

dvs kalciumoxid + vatten → kalciumhydroxid + värme

dvs

$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{värme}$

### Kalkens hårdnande, karbonatisering

Steg 1

Släckt kalk + vatten + sand → (torkas) → torkad släckt kalk med sand

dvs

Kalciumhydroxid + vatten + ballast → (torkas) → Kalciumhydroxid med ballast

Alltså ingen kemisk reaktion i steg 1. Kalciumhydroxiden är dessutom vattenlöslig.

Steg 2

Släckt kalk (med sand) + koldioxid + lite värme → kalksten (med sand) + fukt

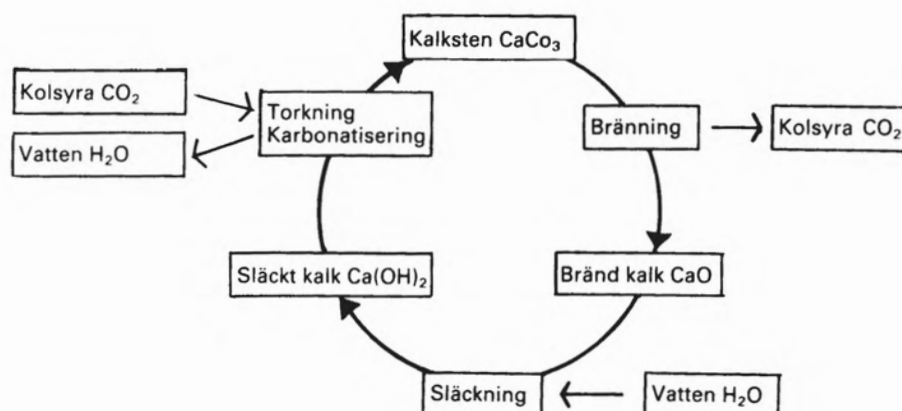
dvs

Kalciumhydroxid (med ballast) + koldioxid → kalciumkarbonat (med ballast) + lite vatten

dvs

$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Genom sluthårdnandet, karbonatiseringen, har man därmed kommit tillbaka till utgångspunkten, en kalksten.



I det följande beskrivs kort tillverkningsprocessen mm för de olika bindemedlen. En bättre beskrivning finns i Giorgio Torracas bok "Porous Building Materials. Materials science for architectural conservations" (18). En utmärkt beskrivning av puzzolanska material dvs hydrauliska komponenter i kalkbruk, betong mm finns kortfattat i Göran Fagerlunds artikel i *Cementa* 1983/2 (19), och mer utförligt i Wolfgang Czerninis bok "Cementkemi för byggare" (26).

*Kalk* som bindemedel får man genom att upphetta kalksten tills den blir glödande vilket sker vid betydligt lägre temperatur än för cement, c:a 700–1100°C. Då försvinner vatten och koldioxid och stenen blir lättare. Den brända kalken är kemiskt kalciumoxid. Bränd kalk reagerar häftigt med vatten, den släcks, och betydande värme utvecklas. Resultatet blir ett pulver eller en deg beroende av mängden vatten vid släckningen. Kemiska benämningen är i båda fallen kalciumhydroxid. Kristallstrukturen blir dock olika beroende av släckningsproceduren. Våtsläckning, dvs med ett överskott av vatten så att en deg eller pasta bildas, ger finkornigare kristaller än torrsläckning. Särskilt utpräglad tycks detta bli om släckningen sker långsamt dvs utan att temperaturen stiger nämn-



Foto 18. Jordsläckt kalk i tunna. Kalken ger ett torrt och gryntigt intryck, men bearbetar man den blir den lättflytande och smidig.  
Foto 1971, Ingmar Holmström.

värt. Sk gravsläckt kalk, dvs bränd kalksten som fått reagera med markfukt och grundvatten liggande i en grav i marker, får alltså mindre och mer utpräglade kristaller än den torrsläckta puderkalken som säljs i papperssäckar. En deg av våtsläckt kalk får därmed en annan konsistens än motsvarande av puderkalk och vatten. Våtsläckta kalken blir smidigare, lättarbetad och får närmast tixotropa egenskaper. Deg av puderkalk och vatten förblir ganska kort i konsistensen även om den lagras länge. Kristallerna tycks inte ändra form nämnvärt. Rimligtvis inverkar kalciumhydroxidens kristallform inte enbart på konsistensen utan även på hur materialet blandar sig med sand mm och på hur snabbt den kemiska processen sker vid sluthårdnandet. Man har också konstaterat att kalkdegens vattenhalt är starkt beroende av kristallernas form och storlek.

*Cement* (portlandcement) får man genom att upphetta mald lerhaltig kalksten eller en blandning av kalksten och lera tills den sintrar, dvs nästan smälter, vid ca 1400°C. De sintrade kornen mals till fint pulver som reagerar ganska intensivt med vatten, och därvid återgår till en konstgjord sten: kalciumaluminiumsilikat. Vid reaktionen med vatten bildas inte kristaller i vanlig mening utan en sk gel. Cementgelen binder samman sandkornen i ett cementbruk till en ganska kompakt massa. I det hårdnade cementbruket finns dock hålrum, ett system av olika stora luftfyllda porer. Porerne har uppstått dels genom att det finns små luftbubblor i det färska bruket, dels genom att överskottsvattnet avdunstar. Cementgelen fyller alltså inte helt utrymmet mellan sandkornen. Luftbubblorna och överskottsvattnet tog också plats. Även cementgelen innehåller porer men dessa är mycket små. Cementbrukets porositet är alltså i första hand beroende av mängden vatten och luftbubblor i det färska hårdnande bruket. Mängden luftbubblor kan påverkas avsevärt med olika tillsatsmedel, luftporbildande medel. Ett vattenöverskott i cementbruket åstadkommer förutom porer även att bruket krymper när vattnet försvinner.

Portlandcementet tillsätts små mängder gips för att reglera bindningstiden. Cementhaltigt bruk innehåller lösliga salter vilket är en nackdel. Detta problem har särskilt studerats vid ICCROM i anslutning till utbildningen i konservering av muralmålningar. Muralmålningarna förstörs med tiden om dessa urlakade salter kan passera ut till ytan. Kanske är fasadkalkningens sämre hållbarhet på KC-puts också ett resultat av samma process.

*Hydraulisk kalk* är ett slags mellanting mellan kalk och cement och kan ligga närmast den ena eller den andra beroende av utgångsmaterialens sammansättning och av bränningstemperaturen. Man kan få svagt hydrauliska egenskaper eller starka.

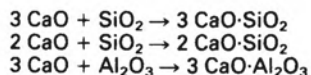
Vanligaste metoden att framställa hydraulisk kalk är att bränna lerhaltig kalksten (liksom för portlandcement) men utan att materialet sintrar, dvs endast till kring 900°C eller något mer. Den brända stenen behöver inte malas, den släcks med vatten på liknande sätt som för luftkalk och faller då sönder som ett pulver eller bildar en pasta beroende av vattenmängden. Till skillnad mot luftkalken fortsätter den hydrauliska kalken att omvandlas kemiskt av det tillsatta vattnet och bildar kalciumaluminiumsilikater förutom kalciumhydroxiden. Gelbildningen är inte lika utpräglad som för portlandcement. Varken styrka eller täthet blir därmed lika hög som portlandcementets. Innehållet av lösliga salter beror av utgångsmaterialet.

Hydraulisk kalk av skiffer och kalk har oftast tillverkats så att den oljehaltiga skiffern använts som bränsle vid kalkbränningen. Den brända skiffern, rödfyren, har sedan inblandats direkt i den brända kalken i samband med släckningen. Oljehaltig skiffer innehåller i vårt land svavelkis, ett utgångsmaterial för alun-

### Hydrauliskt (vattenhårdnande) bruk

#### BINDEMEDEL

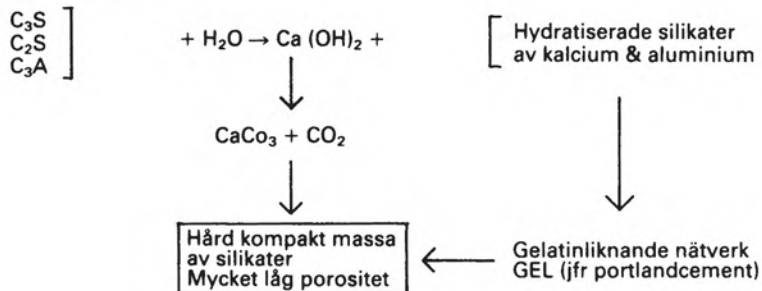
Kalk kan få hydrauliska egenskaper genom kemiska reaktioner med kisel, SiO<sub>2</sub> eller aluminium, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Det kan endast ske antingen vid hög temperatur eller med mycket reaktiva former av kisel eller aluminium.



Förkortas på kemiskt språk:

C<sub>3</sub>S  
C<sub>2</sub>S  
C<sub>3</sub>A

#### HÄRDNANDET



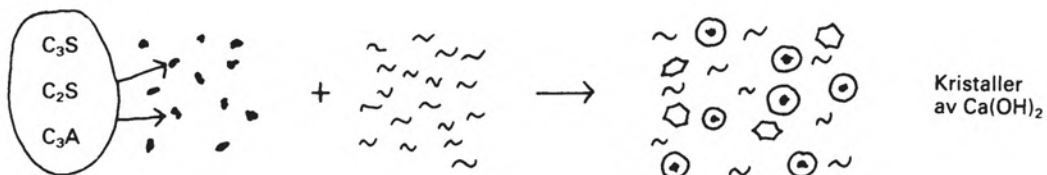
### Portlandscementets hårdnande

C<sub>3</sub>S  
C<sub>2</sub>S  
C<sub>3</sub>A

+ H<sub>2</sub>O →

Ca(OH)<sub>2</sub>  
Släckt kalk (hydratiserat kalcium)  
och  
Silikater & aluminater i gelform

eller bildligt:



#### HYDRATISERING

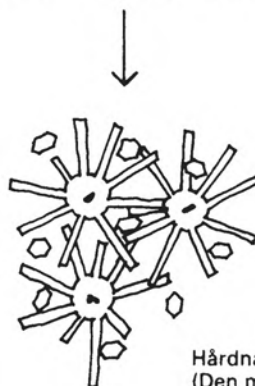


En gel bildas runt partiklarna av C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S, C<sub>3</sub>A

Hydratiserad cementpasta  
(Gelatinliknande konsistens)

#### HÄRDNANDE

"Gelkärnan" sväller och spränger höljet. Ett tätt hårt nätverk bildas



Hårdnad cementpasta  
(Den mjuka gelen har blivit hård som glas)



- tillverkning. Denna hydrauliska kalk "skifferkalk" innehåller därför svavelföreningar. Samma gäller också den hydrauliska kalk man fått genom direkt tillsats av alun, kaliumaluminiumsulfat ( $KAl(SO_4)_2 + 12H_2O$ ). Bruket innehåller lösliga salter och kan angripa portlandcement.

Observera att hydraulisk kalk alltså hårdnar både som portlandcementet med gelbildning och som luft-hårdnande kalk genom karbonatisering dvs reaktion med koldioxid.

Gelbildningen sker relativt snabbt (timmar, dagar) medan karbonatiseringen sker långsamt (veckor, månader). Vid hårdnandet har man därför efter något eller några dygn ett "rymdnät" av gelbildningar i en massa av långsamt karbonatiserande luftkalk. Styrkan av rymdnätet beror givetvis av dess täthet, maskvidden, dvs hur stor andel hydrauliskt reaktiva ämnen man har i förhållande till kalkmängden. Förhållandet är jämförbart med kalk-cementblandningar. Ju mera portlandcement i kalken desto finmaskigare rymdnät av gelbindningar i bindemedelsmassan. Gellerna är dessutom betydligt mer finporösa, "tätare", än kalken. Hydrauliska beståndsdelar ger därför ett tätare och starkare bruk än ett rent lufthårdnande kalkbruk oavsett om dessa beståndsdelar kommer från portlandcement eller "naturligt hydrauliska" komponenter i hydraulisk kalk. Om och på vad sätt egenskaperna skiljer sig mellan hydraulisk kalk och kalk-cementblandningar är mycket ofullständigt utrett för de produkter vi fn har på marknaden.

*Gips* (Kalciumsulfat) har använts som tillsats i kalkbruk för stuckarbeten främst inomhus och som enda material i gjutna dekorationer utom- och inomhus. Genom att upphetta gipssten driver man ut kristallvattnet och får ett vitt pulver som reagerar med vatten och hårdnar. Det finns olika kvaliteter av gips beroende bl a av bränningstemperaturen vilket ger olika tid för hårdnandet, olika värdebeständighet mm. Svavelinnehållet medför att gips påskyndar korrosion av järn och stål. Gips är mer vattenlösligt än kalk.

Kalkhaltiga produkter (kalkbruk, cementbruk, hydrauliskt kalkbruk, kalksten, betong) omvandlas delvis till gips genom påverkan av svavelsurt regn eller svavelföreningar i luften. Kalciumkarbonat blir kalciumsulfat vilket har större volym och som nämnts är mer vattenlösligt. En kalkhaltig puts utsatt för svavelsurt regn blir därför först tätare i ytan för att senare lakas ur. Se även avsnittet "Beständighet mot frätning, salter mm", sid 52.

*Murcement* (typ Gullex) har under 1950- och 60-talen även använts som bindemedel i puts och gör så i vissa trakter än idag. Murcement består av 1/3 cement och 2/3 kalksten mald till dubbla kornfinheten jämfört med cementen mätt som specifik yta. Luftporbildande medel tillsätts. Murcement ger smidigare och mer lättarbetat bruk än cement men styrka och täthet är jämförbart med cementbrukets. Cementa uppger att Gullex i dag utgör c:a 80% av allt bindemedel till Mur-

och Putsbruk och mängder av putsarbete utförs med murcement. Någon förändring i stort har inte skett sedan 1960-talet.

Cementa avråder från användning av Gullex till puts på kulturhistoriska byggnader.

### **Sand, ballast**

Sanden för putsning har oftast varit från platsen. Analyser av äldre bruk visar att detta är fallet och att man oftast strävat efter att ha grövre skarpkantad sand i tjockare skikt, finkornigare i tunna skikt. Gamal litteratur skiljer ofta på sjösand och gropsand varvid den senare anses vara att föredra. Orsaken är oklar. "Gropsand" kan förmodas innehålla mer finkornigt material, filter, och vara fritt från havssalt men ibland innehålla humusämnen.

Putts från 1600-talet och framåt har ibland innehållit krossat tegel.

Från 1920-talet har i sk ädelputser använts ballast med speciell kulör för att ge putsen kulör utan att målas. Man har oftast haft krossat material av keramik, glas, kulört sten osv.

Sedan 1950-talet har putsmaterialindustrin använt vit krossad kalksten, oftast dolomit (magnesiumhaltig kalksten), tillsammans med natursand eller som enda ballast. Syftet har varit att få ljusare putsbruk och ett bruk lättare att infärga med pigment. Samtidigt har det visat sig att inblandning av krossad dolomit påskyndat hårdnandet, speciellt i kalkbruk och därmed givit ett hållbarare slutresultat. Dagens torrbruk på kalkputs innehåller alla krossad dolomit i olika fraktioner.

Sandens kornform påverkar i hög grad arbetbarheten. Skarpkantat material, särskilt krossat sådant, försämrar smidigheten. Bruket blir kort och svårare att riva jämnt.

*Sandens kornfördelning*, sandkurvan, anses numera vara mycket viktig. HusAMA har sedan lång tid noggranna rekommendationer för detta liksom för renheten. Avsikten är att kornfördelningen skall vara så jämn att hålrummet i den packade sanden skall vara så litet som möjligt. Sanden skall bilda ett kompakt skelett som kan limmas ihop av minsta möjliga mängd bindemedel. Därmed ökas tryckhållfastheten. Krympningen vid brukets torkning minskar också ju effektivare stöd sandkornen har av varandra. Är sandkornen skilda från varandra av vatten eller bindemedelpasta ökar risken för krympning. Vid en bindemedelshalt av 1:5 eller magrare har man ett utpräglat sandskelett, vid bruk fetare än 1:3 har sandkornen sällan kontakt med varandra. Bindemedelsrika bruk fungerar därmed i princip mer som en bindemedelpasta med sanden som utfyllnad, utdryingning. Ju fetare bruk desto mindre betydelse har sanden för brukets egenskaper. Avgörande för arbetbarhet, krympning och mekanisk styrka är där bindemedlets egenskaper.

### Tillsatsmedel

Vatten brukar normalt inte räknas som tillsatsmedel men ingår ju alltid. Vattenmängden påverkar i hög grad putsens egenskaper, främst arbetbarheten i det färska bruket men även det hårdnande brukets krympning och vidhäftning samt den hårdnande putsens porstruktur. Vattnets kvalitet har betydelse för putsens kvalitet. Med något enstaka undantag varnas i litteraturen för saltvatten. Man rekommenderar i princip dricksvatten. I våra dagar används uteslutande dricksvatten. Detta innebär bl a en viss klorhalt som möjligen kan ha någon inverkan på kalkbrukets kristallisering och hårdnande.

I dagens fabrikstillverkade putsbruk ingår normalt tillsatsmedel. Det är tillsatser för att förbättra vidhäftning, arbetbarhet och frostbeständighet liksom hårdnande.

I de fabrikstillverkade produkterna är tillsatserna i de flesta fall hemliga. I de fall de deklarerats anges t ex "luftporbildande medel", eller "medel att förbättra smidigheten", vilket i praktiken *kan* vara samma medel men inte behöver vara det. Mängderna tillsatsmedel är i allmänhet mycket små, så små att de är praktiskt nästan omöjliga att tillsätta på arbetsplatsen.

*Luftporbildande medel* ingår i praktiskt taget alla dagens fabrikstillverkade putsbruk. Det är organiska skumbildande medel som tillsätts i mycket små mängder. Kemiska sammansättningen varierar. Avsikten är att fördela en stor mängd små luftbubblor i det färska bruket som där fungerar som glidmedel och förbättrar smidigheten, arbetbarheten. Luftbubblorna gör att vattenhalten kan minskas vilket minskar spänningarna och sänker E-modulen. I den hårdnande putsen bildar hålet efter bubblorna stora porer som förbättrar frostbeständigheten. Stor halt av luftbubblor påverkar även den mekaniska styrkan, bruket börjar likna lättbetong. I lufthårdnande kalkbruk underlättas sluthårdnandet, karbonatiseringen, genom att luftens koldioxid lättare kan tränga in på djupet.

*Konsistensförbättrande* tillsatser är numera oftast skumbildare enligt ovan. Under 1950-talet användes också cellulosederivat, dvs ungefär tapetklister.

## TILLREDNING OCH PUTSNING FÖRR OCH NU

### Bränning

Om bränningen förr vet man allt mindre ju äldre tekniken var. Den medeltida kalkbränningen gjordes troligen i milor, dvs man varvade bränsle och kalksten i en grop eller låg ugn. Bränslet var säkerligen oftast ved men kan i oljeskifferområdena varit skiffer. Kalkbränning i mila har fortsatt för husbehov långt in på 1900-talet på t ex Fårö. Beroende på om man låter den brända kalkstenen falla sönder (=börja släckas av fukten i luften) i milan eller plockar ur stenen innan fär

*Vidhäftningsförbättrande* medel har ibland förekommit, särskilt för en del år sedan. Det var ofta plastdispersioner.

*Antifrysmedel* kan ha använts i enstaka fall, särskilt tidigare. Det var förr ofta t-sprit, vilket till skillnad från dagens antifrysmedel inte kan kombineras med luftporbildande medel. Eftersom puts hårdnar dåligt vid låg temperatur är antifrysmedel onödigt. Man skall inte putsa vid risk för frost, särskilt inte med kalkputs.

*Dolomitkross* ersätter som ovan nämnts numera en del av sanden i vissa av dagens torrbruk. Dolomiten (kalciummagnesiumkarbonat) ger ett snabbare och säkrare hårdnande, särskilt i kalkbruk. Orsaken till detta är inte fullt klarlagd. Kanske bildar de nybrutna kristallytorna grodden för kalciumhydroxidens kristalltillväxt och dess omvandling till kalciumkarbonat.

*Gamla tiders tillsatsmedel* har varit av olika slag. Det har dels varit organiska tillsatser såsom fisk, djurdelar, öl, vin, ägg osv, dels oorganiska såsom lera, krossat tegel, alun, vedaska, masugnslagg osv.

Syftet är ibland klart uttalat, men oftast oklart. De nämnda oorganiska ämnena har ansetts ge hydrauliska egenskaper, dvs förmåga att hårdna även under vatten. Det är dock inte säkert att man fick önskad effekt av t ex krossat tegel. Teglet skall ha speciella egenskaper för att kunna ge de silikatbindningar man eftersträvar. Det är ytterst osannolikt att lera kan ha gett hydrauliska egenskaper. Tydligt har lera i stället fungerat som utdryggsmedel och den förbättrar smidigheten mycket effektivt. Om det har varit medvetet eller ett misslyckande vet man inte ännu.

De organiska tillsatsmedlens verkliga funktion är oklar. Tillsats av gelatin och limämnen kan fungera som skumbildare, likaså öl, men knappast vin. Enligt skrifter och muntligt tradition tillsattes fisk, djurdelar och liknande redan vid kalkens släckning, då de upplöstes helt. Kanske förändrade detta både konsistens och slutlig porositet hos putsen. Djurdelar innehåller bl a äggviteämnen, vilket även är utgångsmaterialet i några av dagens tillsatsmedel.

man en inblandning av förbränningsrester (aska, kol, vid skiffer rödfyr) i kalken eller ren kalk.

Bränningstiden och bränningstemperaturen samt kalkstenens egenskaper avgör hur den brända och sedermera släckta kalkens egenskaper blir. Lång tids bränning (kring en vecka) vid relativt låg temperatur lär ge en amorf kalk som ger en porösare kalkputs som karbonatiserar lättare. (11) (12)

AMS kalkugn på Gotland drives på samma sätt som den drivits under hela 1900-talet, troligen längre tillbaka. Kalksten med obetydlig halt av föroreningar och med bitsockerliknande brottyta bränns i enkel fältugn under tre dygn. Ugnen rymmer 14 ton råsten och eldas med ved underifrån. Stenen sorteras före och efter bränningen för att undvika föroreningar och obränd respektive överbränd sten. Bränningen avslutas när all sten är rödglödande och röken är ofärgad.

Pulverkalken som finns på marknaden bränns i roterugn eller schaktugn (energishålare). Krossad kalksten från mycket stora brott förs osorterad in i ugnen och upphettas. Under efterkrigstiden skedde bränningar med olja, men nu har man återgått till kol. Olja och kol ger viss svavelhalt i kalken.

### Släckning

Dagens fabriksstillverkade kalk släcks direkt efter bränningen maskinellt. Man avpassar vattenmängden så att den blir nära den teoretiska och resultatet därmed ett torrt pulver, kalciumhydroxid. Släckningen sker därmed vid hög temperatur vilket kan påverka kristallform mm. Efter släckningen vindsiktas kalken och de grövre kornen mals. I sk teknisk kalk är de grövre partiklarna (i huvudsak föroreningar, obrända respektive överbrända partiklar) bortsorterade, i byggnadskalk har de tidigare inblandats efter att ha malts.

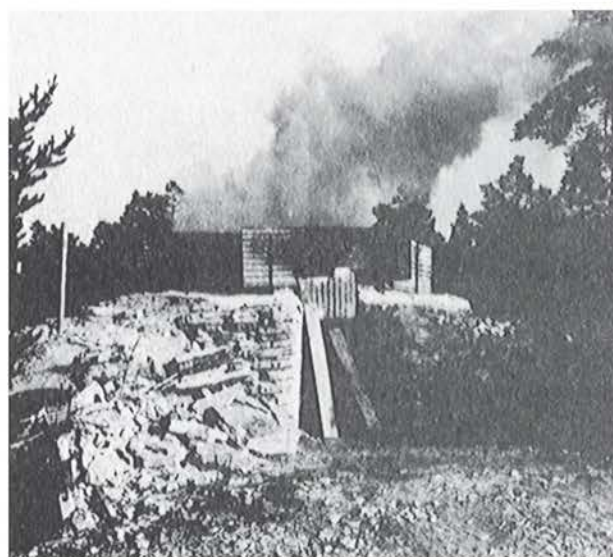


Foto 19. Kalkugnen i Hejnum på Gotland.  
Foto 1983, Jan Lisinski.

AMS Gotlandskalk släcks som standard med överskott av vatten i ett stort plåtkar. Den brända kalkstenen tippas i vattnet, faller sönder under värmeutveckling, rörs ut till en välling och silas ner i markgravar c:a 2×2 m och till 1,5 m djup. Marken består av sand och sidorna är brädklädda. I gravarna avgår ett överskott av vatten och kalkdegen får djupa torksprickor. Vattenhalten påverkas sedan inte nämnvärt av lagringstiden 0,5–10 år. Efter att ha transporterats i slut-



Foto 20. Släckning av bränd kalksten som tippats i ett stort plåtkar med vatten. AMS arbetsplats vid Visby.  
Foto 1983, Jan Lisinski.

na tunnor avskiljer sig c:a 5–10% fritt vatten ur kalkdegen p g a skakningar och vibrationer.

En viss mängd av Gotlandskalken har släckts av jordfuktighet och regn. Den brända kalkstenen har då utan särskilt vattentillskott fyllts i graven. Det tar lång tid innan även de inre delarna av kalkmassan släckts och fått pastaform. Vattenhalten i denna gravsläckta kalk är lägre än i den våtsläckta. Kalken ser torr och grynig ut, liknande färsk ostmassa (Keso), men blir smidig vid bearbetning. Inget fritt vatten avskiljs när kalkdegen transporteras som fallet är för den våtsläckta.

I litteraturen talas ibland om långa släcknings- och lagringstider. Minst 7 års lagring eller dödsstraff är ett populärt påstående. Eventuellt kan det röra sig just om gravsläckning enligt ovan. Med för kort lagringstid har vattnet inte hunnit tränga in i kalkmassans inre. De yttre delarna bildar nämligen ganska snart en tätande mantel av kalkdeg. Vid lång lagringstid hinner också svårsläckta partiklar omvandlas. Om kalkstenen överbränns eller innehåller föroreningar av sand bildas nämligen lätt ett sintrat glasliknande skikt kring små klumpar av bränd kalk. Det tätande ytterskalet kan göra att klumpen förblir osläckt ända tills den ingår i putsen. Då kan dess inre släckas och utvidga sig så kraftigt att en kraterformad s k kalkblåsa eller kalksprängning uppstår i putsen.

Mindre mängder av Gotlandskalken har också släckts genom s k stukasläckning. Den brända kalkstenen har då täckts med putssand varefter vatten långsamt tillsatts genom sanden. Sandlagret har tätats successivt varefter kalken har utvidgats. När släckningen har avslutats har sanden oftast inblandats i kalkmassan direkt. Stukasläckt kalk har gett bruk med den lägsta vattenhalten och därmed gett möjlighet till fetare blandningar än de andra släckningsmetoderna.

Släckningsmetoderna långt tillbaka i tiden är tämligen okända. I byggnadslitteraturen från 1700-talet och framåt talas både om lagring och gravsläckning men också om omedelbar användning av bruket efter släckningen. Man talar också om att blanda osläckt kalk och sand samt tillsätta vattnet så sent att bruket var varmt vid användningen. Medeltida kalkgravar med användbar kalkdeg har man funnit vid flera kyrkor på Gotland. Om kalken var avsedd för murning, putsning eller avfärgning går inte att avgöra. Gravarnas sidor var klädda med kalkstenshällar vilket tyder på upprepad användning.

På uppdrag av SIB undersöktes 1971 olika slags släckt kalk i svepelektronmikroskop (13). Man fann då att den våtsläckta Gotlandskalken hade mindre partiklar än torrsläckt handelskalk. Den våtsläckta kalkens partiklar hade formen av stänglar eller tunna skivor medan den torrsläckta hade formen av odefinierade klumpar. Lagringstiden tycktes inte påverka detta.

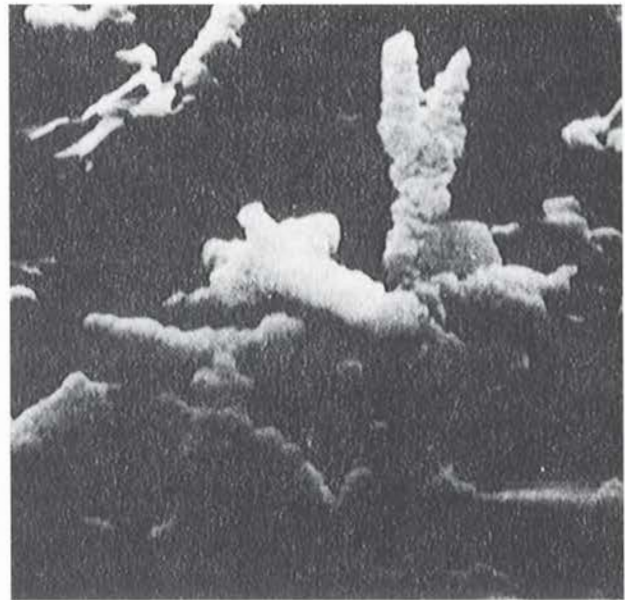


Foto 21. Elektronmikrofoto av våtsläckt kalk från Hejnum. 21 000× förstoring. Kristallformationerna i våtsläckt kalk kan variera mycket. Det är vanligt att de är nålformade eller tunna "fiskfjällsliknande" skivor. Foto ur Hagconsult AB:s arbetsrapport till SIB 1971 (13).

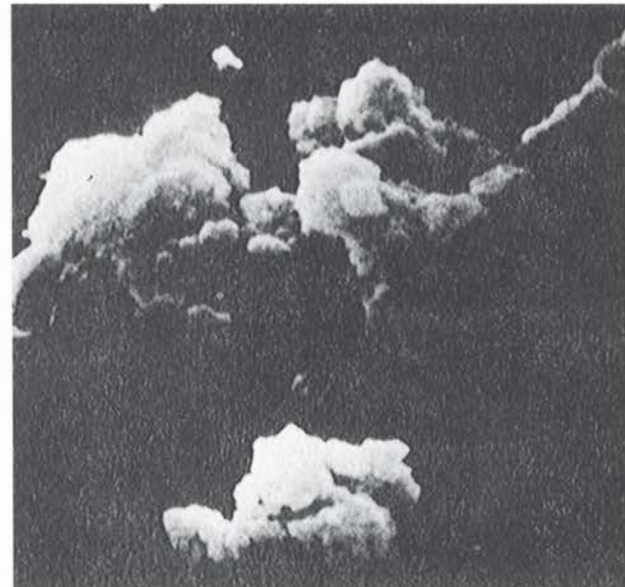


Foto 22. Elektronmikrofoto av torrsläckt kalk från Oaxen. Partiklarnas utseende kan variera inom vida gränser. Torrsläckt kalk har generellt sett betydligt större partiklar än våtsläckt mer som "klumpar". Foto ur Hagconsult AB:s arbetsrapport till SIB 1971 (13).

Deg av våtsläckt kalk är mycket smidig och har närmast tixotropa egenskaper, dvs blir lätttrörligare, nästan vätskeliknande vid omrörning eller skakning för att i vila ganska snart återgå till pastaform. Deg av torrsläckt kalk och vatten förblev kort i konsistensen även efter lång tids lagring och hade inga tixotropa egenskaper. (Putsförsök på Kalmar slott 1965, Arbetsrapport till Byggnadsstyrelsen.)

### Tillredning av bruk

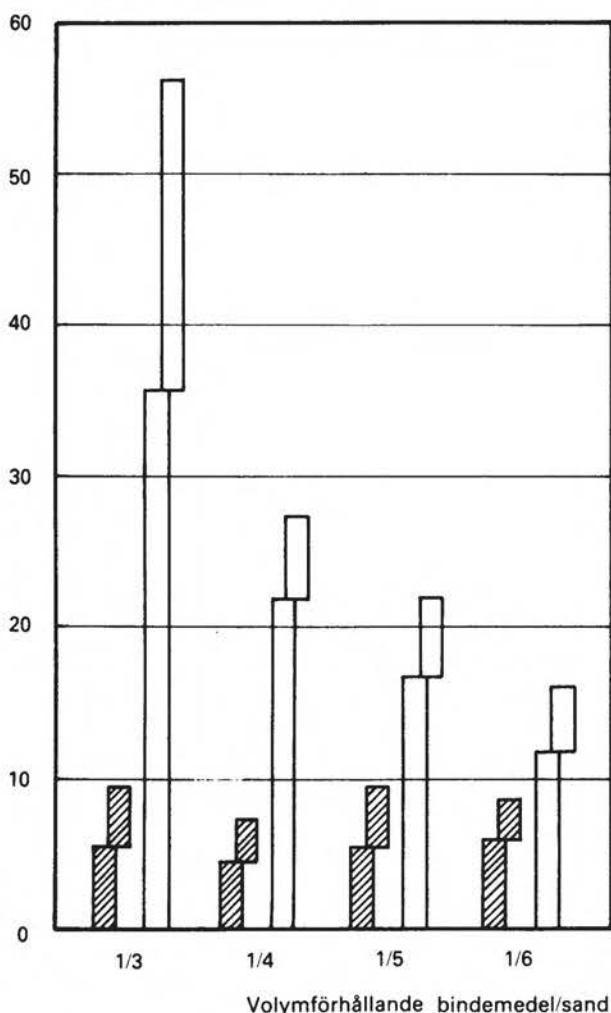
Dagens brukstillverkning görs med maskinblandare, långsamgående eller snabbgående. Allmänt sett är de fabrikstillverkade torrbruken dominerande. Alla ingredienser utom vattnet kommer färdigt i en påse. Blandningstiden är ett antal minuter sedan är bruket färdigt att användas.

Vid restaurering blandas ofta bruket på platsen i frifallsblandare eller motströmsblandare. Proportioneringen görs oftast med volymmått men borde göras efter vikt. Volymproportionering fordrar under alla förhållanden vägning för att få korrekta volymmått som utgångspunkt.

Förr gjordes proportioneringen alltid i volymmått.

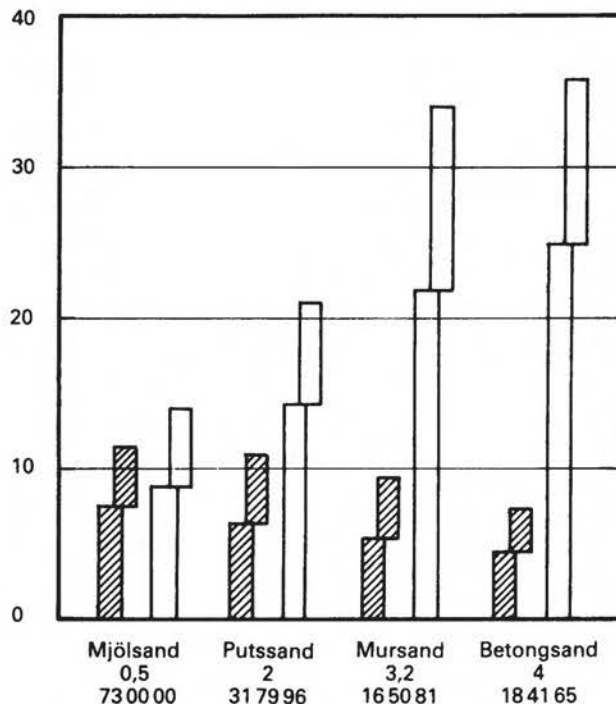
Vid tillredning av kalkbruk före andra världskriget proportionerades man efter andra metoder. Man ut-

Tryckhållfasthet kg/cm<sup>2</sup>



Figur 22. Tryckhållfastheten hos prover av kalkbruk (fyllda staplar) och kalkcementbruk (ofyllda staplar) i förhållande till volymförhållandet bindemedelsand efter 28 och 120 dygns lagringstid. Ökningen i hållfasthet från 28 till 120 dygn har markerats med en förskjutning av staplarna. I kalkcementbruket var viktförhållandet 1:2 mellan kalk och cement. Efter Hinderson 1958 (14).

Tryckhållfasthet kg/cm<sup>2</sup>



Figur 23. Tryckhållfastheten hos prover av kalkbruk 1:8 (fyllda staplar) och kalkcementbruk 1:2:16 (ofyllda staplar) efter 28 och 120 dygns lagringstid. Ökningen i hållfasthet från 28 till 120 dygn har markerats med en förskjutning av staplarna. Sandgraderingen har som synes betydligt större betydelse hos kalkcementbruket, och en förändring av graderingen har motsatt verkan för de båda bruken. Efter Hinderson 1958 (14).

gick från en kalkvälling av viss konsistens och tillsatte sand tills man fick en lämplig arbetbarhet. Proportionerna kunde därför variera med kalkvällingens egenskaper och sandens. Hinderson (14) har dock visat att kalkbruk är ganska okänsligt för proportionerna mellan kalk och sand liksom för sandens kornfördelning. Tryckhållfastheten blev vid hans försök relativt konstant för det rena kalkbruket men varierade kraftigt för det cementhaltiga bruket.

Maskinell bruksblandning introducerades i början av 1900-talet men handblandning förekom parallellt. Sven Nycander, nydanare inom putstekniken, introducerade aktivatorn under 1930-talet, en maskin med vingar av plattstål som piskade bruket. Nycander hänvisade till den äldre litteraturen där det stod att bruket skulle piskas väl. Gamla tidens piskning var dock inte så intensiv. Brukspiskan, brukslagan, såg ut ungefär som en smal ishockeyklubba där den nedre delen var av järn och skaftet av trä. Järndelen hade ungefär rektangulärt tvärsnitt med en plan bottenyta 10–15 mm bred. Höjden var 20–50 mm. Slår man med slagan i en relativt styv bruksmassa blir det en kraftig vågrörelse. Ofta gjordes järnets tvärsnitt något tunnare uppåt så att slagan gick lättare att lyfta. Redskapet är perfekt för att arbeta in sand i kalkdeg utan att tillsätta extra vatten. Det medeltida styva, klistriga bruket skulle kunna ha blandats med brukslagor.

Samtida bilder visar dock att man haft bruksrakor, ett redskap som ser ut ungefär som en bethacka. Bruksrakor har åtminstone under 18- och 1900-talet använts för blandning av kalkbruk gjort på kalkvälling dvs utspädd kalkdeg. I en brukslave har man silat ner kalkvällingen från en högre liggande släckningslave. Man tillsatte sand och rörde in denna i kalkvällingen. Det ger relativt magert bruk som är lättflytande och lämpar sig att slå på. Bruk på utspädd kalkdeg kan göras betydligt fetare. Blandning K1:2,5 på våtsläckt kalkdeg har använts på vissa Gotlandskyrkor. Med gravsläckt eller stukasläckt kalkdeg har man kunnat göra ännu fetare bruk, K1:1 och to m K2:1 utan att bruket krympt för mycket.

Vid putsförsöken på Kalmar slott 1965 försökte man åstadkomma en puts K4:1 lika originalputs. Det lyckades aldrig, men K2:1 och K1:1 provades. Brukslaga jämfördes där med motströmsblandare typ Sandby. Det tog mer än tio gånger längre tid att få motsvarande blandning med slaga jämfört med maskinen. Konsistensen hos bruket mättes med MO-mätare för bruk. Ju längre blandningstid man hade desto segare och klistrigare blev dessa feta bruk. Vidhäftningen och arbetbarheten blev mycket bra men krympningen ökade med blandningstiden. Bruket blev som sandspackel och ännu segare. Det kunde omöjligt slås på väggen med slev. En gammal murare på Gotland talade om att man förr talade om "hängbruk, sittbruk och liggbruk". Hängbruk var kalkbruk så segt att en stor klick hängde i taket. Ramlade den ner men fäste på väggen var det "sittbruk". Föll bruket ner från väggen var det "liggbruk" och fick ligga eftersom det var oanvändbart.

Blandningen av bruket har alltid angivits som viktig och också mycket arbetskrävande. Metoderna har växlat bl a beroende på vilka proportioner man önskat på bruket. Fast kalkdeg och fett bruk kräver annan typ av blandning än magert bruk gjort på kalkvälling. Torrbruk kräver helt andra blandningsmetoder än kalkdeg plus sand.

Lufthårdnande kalkbruk kan till skillnad mot hydrauliska bruk lagras i princip hur länge som helst så länge det inte torkar. Lagrat bruk som gjorts upp är oftast smidigare än nytillverkat. Orsaken är oklar.

### Putsning

Dagens puts påförs oftast med spruta. Antingen låter man den sprutade ytan vara eller bearbetar man den med de traditionella handverktygen skåniska, rivbräde eller slev. Detta fordrar lättflytande bruk med god sammanhållning. Bruket blir magert. Att slå på putsbruk med slev kräver också ett tämligen lättflytande bruk. Framför allt får bruket inte vara klistrigt. Slevslaget bruk kan därför inte vara för fett.

Feta, klistriga bruk måste tryckas på eller bredas ut som spackelmassa.

De medeltida putserna var feta. Utseendet visar



Figur 24. Bild från medeltiden som visar en munk i arbete. Bruket har han på en bricka i ena handen och mursleven i den andra. Ur "Das Hausbusch der Mendelschen Zwölfbrüderstiftung zu Nürnberg", München 1965.

också att de var smidiga och klistriga som spackel. Sådant bruk kan därför inte slås på. På samtida bilder visar man följdriktigt hur muraren har bruket på en bricka i ena handen och slev i den andra. Bevarad medeltida puts visar också att ytan slätades till med slev. Mursleven såg fö ut som våra dagars slev, möjligen något mindre. Den medeltida putsen tycks inte varit gjord i flera påslag. Å andra sidan var puts-tjockleken inte så stor, ofta 5–20 mm om underlaget var ojämnt. Som underlag för dekorativ kalkmålning förekom dock tunt kalkrikt ytskikt, på underliggande något magrare puts (jfr Vitruvius' skrifter).

Någon gång kring 1600-talet börjar brädskurade putsytter uppträda. De är dock inte på långa vägar så plana som i dag. Dagens exakta ytor, hörn och vinklar kommer från 1800-talets slut när det maskinmässigt exakta ansågs överlägset handens lite mjukare former. Fett klistrigt bruk kan inte brädscuras. Brädsurning har därför rimligen samband med ett magrare, troligen också mer lättflytande bruk. 1700-talets och 1800-talets puts utfördes i flera påslag där de undre hade grövre ballast och ibland också var magrare än ytskiktet. Normalblandningen var oftast K1:3.

Särskilt grundningsbruk användes inte förr. Första påslaget gjordes tillräckligt bindemedelsrikt och med

sådan konsistens att man ändå fick god vidhäftning. Våra dagars cementrika lättflytande grundningsbruk kom i slutet av 1950-talet och var följden av vidhäftningsproblem på lättbetong och på slätgjuten betong.

### Putssäsongen

Efter andra världskriget strävade man efter att bygga året runt och inte enbart på sommarhalvåret. Även putsning av fasader gör man i dag större delen av året. Det *kan* gå med cementhaltiga bruk och särskild uppvärmning. Cement binder även vid låga temperatu-

rer. Kalk däremot kräver varmt väder och man putsade förr följaktligen endast på sommaren. Putsningen kräver att putsen torkar upp och blir arbetbar inom rimlig tid. Är underlagets sugning dålig fordras torrt och ganska varmt väder. Viktigaste skälet till varmt putsningsväder är dock att luftkalkbrukets sluthårdnande fordrar värme. Beroende på omständigheterna kan sluthårdnandet ta mellan tre veckor och flera månader. Inomhus hade man åtminstone under 1900-talets första del koksgrutor för att kalkputsen skulle hårdna säkrare. Koksgrutorna både värmde och avgav koldioxid och koloxid.

## PUTSENS HÅRDNANDE

Principen för putsens hårdnande är helt beroende av bindemedlet. Man kan skilja på två huvudgrupper: lufthårdnande och hydrauliskt. Lufthårdnande bruk måste vara upptorkade innan de kan sluthårdna. Hydrauliska bruk kan hårdna fuktiga, t o m hårdna under vatten.

Ren kalk är lufthårdnande. Cement är urtypen för det hydrauliska, gips likaså.

Hydraulisk kalk och blandningar av kalk och cement ligger någonstans mitt emellan, dock närmare cementet.

Dagens byggtekniker och murare är upplärda på cementprodukter och deras hårdnande. Man vet att cementhaltiga produkter inte får frysa under hårdnandet, att det går fortare i värme och att de måste hållas fuktiga länge under hårdnandet. Det är därför lätt att tro att kalkputs skall behandlas på liknande sätt. Tyvärr är det inte så. Kalkputs hårdnar aldrig om den hålls blöt, särskilt inte om det samtidigt är lite kyligt.

Genom att blanda kalciumhydroxid och vatten (dvs puderkalk + vatten, eller kalkdeg) med sand får man lufthårdnande kalkbruk. Till skillnad mot cement hårdnar inte kalken så länge den är blöt. (Man har funnit kalkdeg i medeltida kalkgravar i marken som hållits fuktig och därmed aldrig hårdnat). Luftkalkbruket hårdnar i två steg. Först försvinner över-skottsvattnet genom att sugas upp av murbruket eller avdunsta. Bruket har torkat som vilken lera som helst. Denna hårda massa av sandkorn sammankittade av kalciumhydroxidkristaller innehåller hålrum, ett sammanhängande system av porer. Hålrummen har uppstått, liksom i cementbruket, av luftbubblor som inneslutits i det färskaste bruket samt av vatten som försvunnit. Porvolymen är alltså beroende av det färskaste brukets luftporhalt och vattenhalt.

Porstrukturen, dvs fördelningen mellan stora och små porer samt hur dessa är sammanbundna beror sannolikt av både luftporernas storlek, och av kalkumkristallernas form. Porstrukturen avgör bl a det

hårdnade brukets fuktegenskaper, luftgenomsläpplighet och mekaniska styrka. Porstrukturen påverkas så vitt man vet av luftporhalten, proportionen mellan bindemedel och sand, av sandens form och korngradering, av kalkens egenskaper (bl a kristallform), av underlagets sugning, av uttorkningens hastighet, av temperaturen när kristallerna växer till osv.

Nästa steg i hårdnandet är när den torkade massan av kalciumhydroxid och sand reagerar kemiskt med koldioxid. Då omvandlas bindemedlet till kalciumkarbonat dvs kalksten. Man har då kommit åter till ursprungsprodukten, fått en konstgjord kalksten. Jämför "Putsmaterial förr och nu", Bindemedel.

För att sluthårdnandet skall ske fordras dels hygglig temperatur, dels tillgång på koldioxid som lösts i vatten. Kemiska processer av denna typ avstannar praktiskt taget helt när det blir kallt, ju varmare alltså dess bättre (inom rimliga gränser!). Man skulle kunna tänka sig att det vore en fördel också om putsen var rejält fuktig eftersom koldioxiden skall vara löst i vatten, men då händer ingenting. Orsaken är att man utnyttjar den koldioxid som finns i luften. Det är alltså väsentligt att porerna är så öppna som möjligt för att luften och dess koldioxid skall hitta in i bruket och reagera kemiskt. Är porerna helt eller delvis fyllda med vatten kommer inte koldioxiden in på djupet och sluthårdnandet kommer inte längre än i ytskiktet.

För att kalkputs skall sluthårdna, karbonatisera, även på djupet, fordras alltså att putsen är porös, att porerna är öppna (och inte täppta med vattendroppar) och slutligen att det är varmt.

Under gynnsamma omständigheter kan sluthårdnandet ta cirka två veckor men tar oftast betydligt längre tid och är starkt beroende av putsskiktets tjocklek.

Hinderson (14) visar i sin undersökning att den hastighet varmed karbonatiseringen sker tycks ha stor betydelse för sluthållfastheten. För provkroppar tillverkade av samma bruksblandning (K 1:8) blev hållfastheten mer än dubbelt så hög vid hastig som vid långsam karbonatisering. Den hastigare karbonatisering-

en åstadkoms genom förhöjd koldioxidhalt i luften. Samtliga prover var vid provtryckningen genomkarbonatiserade.

Undersökningar som gjorts på Statens Tekniska Forskningscentral (VTT) i Finland (11) nyligen tyder på att kalkbrukets hårdnande kanske sker i tre steg: först upptorkning, sedan karbonatisering av det hårdnade bruket och sist omkristallisation av det tidigare karbonatet. Under karbonatiseringsskedet hade kristallerna i huvudsak en långsträckt form och bildade ett ganska sprött skelett tillsammans med sandkornen. Under inverkan av vatten förändrades sedan kristallerna och blev alltmer samlade och kompakta till formen. Detta resulterade också i att det tidigare spröda skelettet blev kraftigare. Fenomenet antogs vara förklaringen till att lagring av nytillverkade bruksprover i hög luftfuktighet (90%) gav högre sluthållfasthet än de som lagrats i lägre fukthalt (70%). Det var samtidigt stor skillnad på hur provstyckena tillverkats. Ovannämnda förhållande gällde endast om provstyckena gjorts på sugande underlag, tegelskiva med filterpapper. På icke sugande underlag, glas med filterpapper, blev styrkeförhållandet det motsatta men också totalt sett lägre. Underlagets sugning påverkade alltså i hög grad brukets porstruktur. God sugning gav högre porvolym och en öppnare porstruktur än dåligt sugande underlag. Proven gjorda på underlag av glasplattor hade sprickor i avdunstningsytan vilket antogs vara orsaken till den lägre mekaniska styrkan. Samtliga prover var karbonatiserade vid hållfasthetsförsöken. Porstrukturen påverkas alltså av ämnen som ändrar vattnets ytspänning.

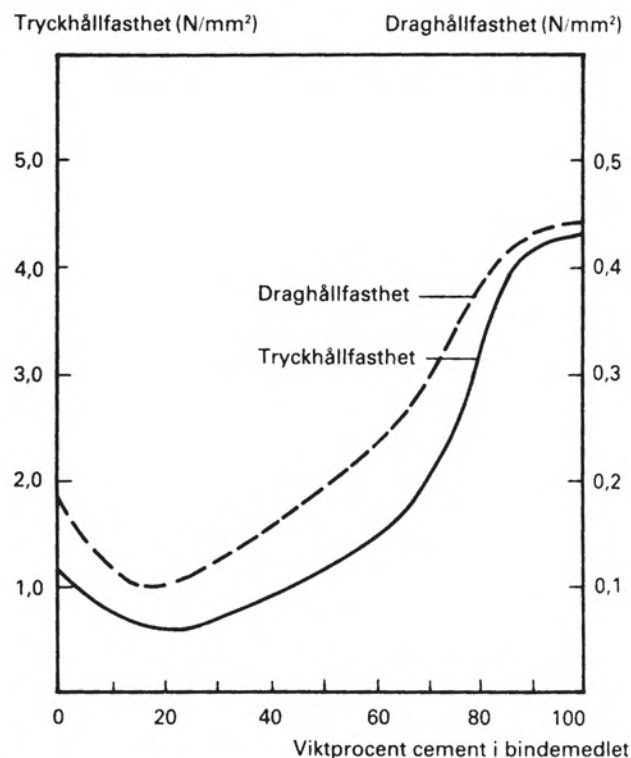
Om det skulle vara så att hårdnandet hos kalkbruket sker i tre steg enligt ovan skulle detta betyda att efterbehandlingen av putsen är viktig både under karbonatiseringen och efter denna. Efterbehandlingstiden blir därmed längre. Förhållandet skulle också tala för att en efterbehandling i form av omväxlande fullständig uttorkning och ordentlig genomfuktning skulle vara gynnsam inte bara för karbonatiseringen utan även för karbonatets stabilisering. I praktiken har man nått goda resultat med nämnda växelutorkning.

Karbonatisering kan inte ske varken om det är för torrt eller för fuktigt. Kalciumhydroxiden  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  måste gå via vattenfas för att omvandlas till kalciumkarbonat  $\text{CaCO}_3$ , dvs kalksten.

Cement hårdnar med hjälp av vatten. Kiselföreningar bildar en gel som reagerar ganska våldsamt med kalcium- och aluminiumföreningarna. Cementgelen är ganska kompakt till skillnad från kalkens nätliknande kristallbindningar. Cementgelen ger därför tillsammans med sanden en tätare massa än kalk och sand. I ett kalkbruk är det både bindemedlets porer och andra porer som svarar för genomsläppligheten. I ett cementbruk är bindemedlet i stort sett tätt och det är andra porer som svarar för brukets genomsläpplighet. Det betyder att bindemedelsrika cementbruk är tätare än magra. Bindemedelsrika kalkbruk kan vara lika genomsläppliga som magra. Kalkbruk

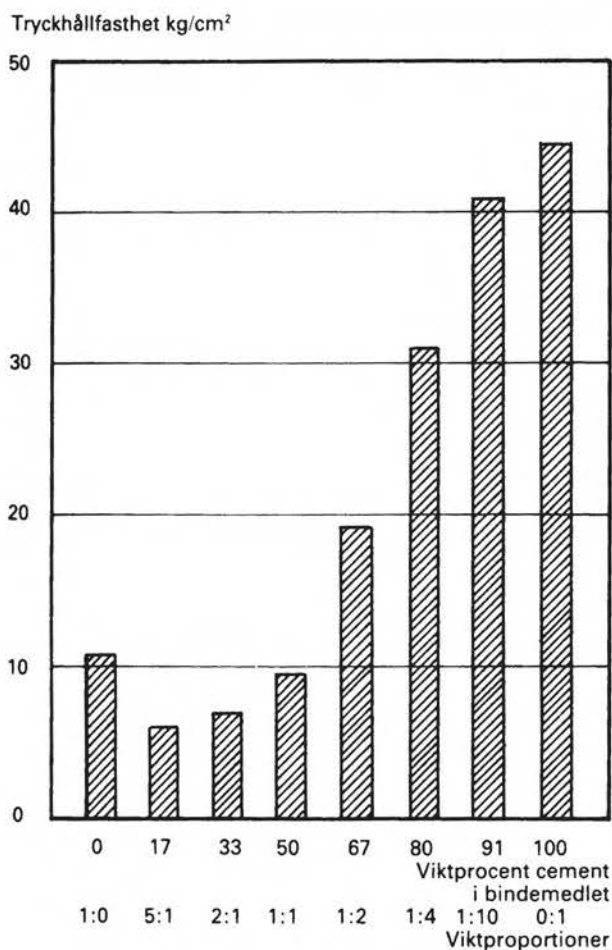
är alltid porösare och har grövre porer än cementbruk.

Blandningar av kalk och cement hårdnar som kalk och cement men påverkar också varandra. Främst påverkar cementet kalkens sluthårdnande. Genom cementets behov av hög fukthalt under dess hårdnande blir fukthalten då för hög för att kalken skall sluthårdna. När cementet hårdnat och fukthalten blivit lämplig för kalkens hårdnande försvårar cementets tätare cementgel att luftens koldioxid kommer in i brukets porer och reagerar med kalciumhydroxiden. Genom cementinblandningen har bruket fått större andel fina porer, svårforcerade för luften. Cementets andel får alltså inte vara för liten för då kompenseras inte kalkdelens minskade styrka. Hindersons (14) försök visar att man måste ha 50 viktprocent cement (= KC 2:1) för att motsvara hållfastheten hos rent kalkbruk. Cementa m fl anger betydligt lägre cementhalt liksom att all tillsats av cement, alltså även i små mängder, ger ökad styrka åt kalkbruket. Resultatet är starkt beroende av hur proven utförs, främst hur proven efterbehandlats dvs hur cementet respektive kalken har kunnat sluthårdna. Standardprovet är konstruerat för cement och lagras därför i mycket fuktig luft. Provstyckena gjuts också i icke sugande formar av stål. Att kalken skall sluthårdna där är ganska osannolikt. Det kan därför lätt hända att man provar ett bruk som består av hårdnad cement och släckt kalk som bindemedel. Samma sak kan givetvis hända i verkligheten, dvs att det är för fuktigt, kanske även för kallt, för att kalken skall ha sluthårdnat. Hållfastheten beror också i hög grad på hur hydroxid-



Figur 25. Exempel på cementhaltens betydelse för hållfastheten efter två månaders lagringstid i 40% RF och 17°C. Efter Sandin 1983 (15).





Figur 26. Tryckhållfastheten efter två månaders lagring för åtta brukssorter med ökande andel cement i bindemedlet. Proportionen bildemedel-sand var 1:4. Efter Hinderson 1958 (14).

bildningen sker. Dessa kristallers form och storlek torde ha stor betydelse även för karbonatiseringen.

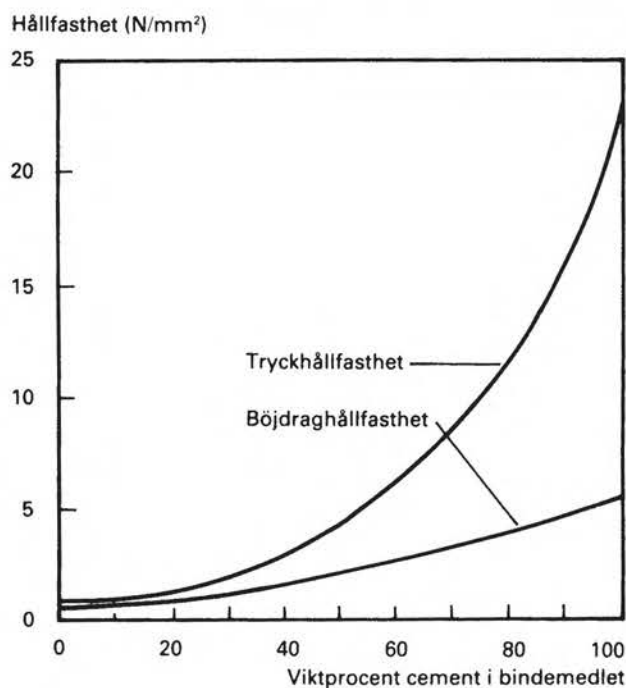
Kalkbrukets sluthårdnande är alltså en känslig process. Risken är uppenbar att kalkputs endast sluthårdnar, karbonatiserar, på ytan medan dess inre består av kalciumhydroxidkristaller, dvs släckt kalk, som binder ihop sanden. Kalciumhydroxid är ett svagt bindemedel och dessutom vattenlösligt.

Som tur är kan man kontrollera om kalkputsens sluthårdnat eller ej och därmed få ledning för efterbehandling.

I princip kan det vara tre "fel" på klimatet om kalkbruket inte hårdnar:

- för kallt
- för blött
- för torrt.

Att det skulle varit för torrt för en fasadputs att karbonatisera är minst sannolikt. Endast vid direkt solsken på en fasad sommartid kan det blir för torrt. Fasadputsens skall därför skuggas under sluthårdnandet. Luftfuktigheten är annars fullt tillräcklig för att det skall finnas så många vattenmolekyler i putsens porer



Figur 27. Exempel på cementshaltens betydelse för hållfastheten efter 3 månaders lagring i 70% RF. Efter Sandin 1983 (15). Observera skillnaden jämfört med figur 25, beroende främst på andra lagringsbetingelser (fukthalt, luftcirkulation, koldioxidhalt m.m). Provningsmetod konstruerad för betong.

att luftens koldioxid kan lösa sig och reagera med kalciumhydroxiden till kalciumkarbonat. Såsom framgick av kemiska formeln bildas också vatten vid reaktionen. Är det för torrt kan man vattna.

Risken är betydligt större att putsen varit för blöt. Det fordras inte särskilt hög fuktighet för att porernas trängsta delar blir täppta med vattenproppar så att luftens koldioxid inte kan komma in. Då händer givetvis ingenting. Misstänker man att hårdnandet inte skett på grund av för hög fuktighet måste man torka ut putsen. Intäckning och uppvärmning är den sista utvägen.

Är det för kallt händer det heller ingenting även om fukthalten skulle vara lämplig. Kemiska reaktioner av denna typ kräver värme. En tumregel säger att reaktionshastigheten fördubblas när temperaturen ökar 10°C. Botemedlet är först och främst att putsa tidigt på sommaren så att det är varmt och gott väder under sluthårdnandet. Absolut sista utvägen är att klä in och värma. Man måste då observera att uppvärmningen måste pågå under hela sluthårdnandeprocessen för putsen, dvs ytterligare en tid efter det att man konstaterat att karbonatiseringen avslutats även i botten.

Hydraulisk kalk hårdnar i princip som kalk + cement. Den hydrauliska delen av bindemedlet lär dock inte ge en lika tät massa som portlandcement. Hårdnat hydrauliskt kalkbruk uppges beträffande egenskaper likna kalkbrukets egenskaper mer än kalkcementbru-

kets. Detta kan dock knappast gälla de starkt hydrauliska kalkprodukterna. Hårdnandet i hydrauliskt kalkbruk är betydligt säkrare än i lufthårdnande kalk. Man garanteras en viss minsta hårdhet av den hydrauliska andelen i bindemedlet. Kalkandelen måste dock också sluthårdna, karbonatisera, för att putsen skall vara färdig, annars är en del av putsens bindemedel fortfarande vattenlösligt.

Porstrukturen hos lufthårdnande kalkputs är synnerligen viktig för putsens sluthårdnande. Sannolikt har kalkens kristallstruktur också stor betydelse: finkornigt eller grovkornigt, amorf eller kristallinskt.

Kalkens kristallstruktur vet vi för lite om idag för att kunna styra.

Porositeten kan man påverka bl a genom luftporbil-

dande medel och genom underlagets sugning. Hög lufthalt i bruket underlättar sluthårdnandet. Samtidigt ökar putsens frostbeständighet.

Putsens skiktjocklek har betydelse för sluthårdnandet. Fler tunna skikt som tillåts sluthårdna innan nästa förs på skulle ge ett säkrare resultat men tar lång tid att genomföra.

En slät putsyta blir lättare tät, dvs får gärna mindre porer, än en grövre yta. Det är alltså större risk att en puts med slät yta sluthårdnat långsammare än en grövre.

Att måla kalkputsen innan den sluthårdnat innebär risk för försening av hårdnandet. Speciellt gäller detta organisk färg som direkt stoppar karbonatiseringen. Även kalkfärg kan minska porositeten i putsytan.

## PUTSENS EGENSKAPER

Fasadputsens egenskaper kan beskrivas med många parametrar. Funktionen är också beroende av underlagets egenskaper. Putsens olika egenskaper skall samverka optimalt inbördes och med underlagets förutom att det hela skall stämma med klimatbelastningen. Alla faktorer är inte kända, eller otillräckligt kända. Sammantaget betyder det dels att putsens lämpliga egenskaper är svåra att beskriva, dels att det inte finns *en* enda lösning, *en* enda universalputs som passar i alla sammanhang. Eftersom man som nämnts inte kan dimensionera puts är det i princip säkrare att imitera den ursprungliga putsen om den har fungerat.

För att beskriva putsen brukar man tala om mekaniska egenskaper och om fuktegenskaper. De är beroende av varandra och påverkar varandra. Mest undersökta är de mekaniska egenskaperna. Fuktegenskaper är ofullständigt kända, både transportmekaniserna i en sammansatt konstruktion (färgskikt – putsskikt – underlag) och de enskilda materialens egenskaper. Frostbeständigheten är en typisk kombination av mekaniska och fukttekniska egenskaper. Beständigheten mot frätning av sur atmosfär är beroende av bl a kalkhalten.

### Mekaniska egenskaper

Man vet, och är överens om, att ur mekanisk synpunkt ett putsskikt skall vara uppbyggt så att det blir successivt svagare utåt, ha god sammanhållning och ha god vidhäftning mot underlaget men inte vara starkare än detta. Putsen skall också vara så eftergivlig som möjligt för att inte bygga upp spänningar inom putsskiktet eller mot underlaget. Spänningar som kan orsakas antingen av rörelser i putsskiktet eller i dess underlag.

Man är också överens om att dessa grundläggande mekaniska egenskaper i huvudsak uppfylls av en treskiktspots (grundning + utstockning + ytputs) baserad på kalk och cement, dvs den typ av puts som varit vanlig sedan slutet av 1950-talet. Även tvåskiktspots (grundning + ytputs) av samma material uppfyller oftast samma krav.

Man är samtidigt överens om att åtminstone grundningen, oftast även stockningen, är starkare än de flesta underlag vilket är ett principiellt fel. I nyproduktionen har detta dock hittills medfört skador endast då skillnaden varit avsevärd. Då det gäller kulturhistoriskt värdefulla byggnader är denna överstyrka hos putsen oacceptabel eftersom det innebär att putsen inte kan avlägsnas utan att underlaget skadas.

På kulturhistoriska byggnader (och varför inte även på andra?) skulle man önska sig en puts med treskiktspotsens egenskaper (successivt avtagande styrka utåt) men på en så låg styrkenivå att putsen även är svagare än underlaget.

Ren kalkputs uppfyller detta senare krav – att vara svagare än underlaget – men mera sällan kravet att vara successivt svagare utåt. Luftkalkbrukets egenskap att sluthårdna utifrån och inåt medför ofta motsatta egenskaper – svagare mot botten – vilket lätt leder till vidhäftningsbrott eller skiktning och så småningom nedfall av ytskiktet eller av putsen som helhet. Ett säkrare sluthårdnande skulle eliminera detta – en process man tycks ha behärskat främst under medeltiden.

I föregående avsnitt har beskrivits olika förhållanden som påverkar putsens mekaniska egenskaper. Som nämnts är det bindemedlets egenskaper, sandens

Material	E (GPa)	tryck $\sigma_{br}$ (MPa)	tryck $\epsilon_{br}$ (%)	drag $\sigma_{br}$ (MPa)	drag $\epsilon_{br}$ (%)
Trä, i fiber- riktning	10-13	30-60	5-10	80-150	2-3
Betong	20-35	10-70	0,2-0,5	2-5	0,01-0,02
Lättbetong	1-3	1-7	0,2-0,5	0,2-1	-
Tegel	1-30	10-80	-	1-10	-
KC-puts	5-20	2-20	0,2-0,4	-	0,02-0,04
C-puts	20-30	20-25	0,2-0,4	-	0,02-0,04
K-puts	3-4	1-15	0,2-0,4	-	0,02-0,04
Plast	0,001-25	-	-	5-100	1-500

Figur 28. Hållfasthets- och deformationsegenskaper hos några vanliga material. Efter Sandin 1983 (15).

tillsatsmedlens, kanske även vattnets. Mängderna inbördes påverkar slutresultatet i hög grad liksom blandningssätt, putsningsmetod, underlagets egenskaper och klimatet både före, under och efter.

Man har under årens lopp gjort en hel del undersökningar av bruk. Mest har det gällt cementhaltiga bruk och de mekaniska egenskaperna hos dessa. Störst intresse har givits tryckhållfastheten. Egentligen är den inte särskilt intressant i sig, fasadputs behöver varken vara skottsäker eller bära huset. Man har dock kvalitetsgraderat puts med hänsyn till dess tryckhållfasthet; ju högre siffervärde desto högre kvalitet. Strängt taget är hög tryckhållfasthet oönskad, rent av olämplig. Man skulle hellre önska sig ganska låg tryckhållfasthet men hög vidhäftning och elasticitet. Dels är dock tryckhållfastheten jämförelsevis lätt att mäta med gängse laboratorieutrustning dels finns det ett samband mellan de olika mekaniska egenskaperna.

Såsom nämnts har nästan inga mätningar gjorts av de mekaniska egenskaperna hos putsen såsom den blev på väggen. Man har hittills bara en enda mätmetod som kan tillämpas på färdiga putser: Hindersons vidhäftningsprov. Man gör ett cirkelformat sågsknitt genom putsen, limmar fast en metallplatta och drar loss putsstycket samtidigt som man mäter kraften. Alla andra standardiserade metoder kräver laborietillverkade provkroppar. Dimensionerna på dessa (170×25×25 mm) är avpassade för betongprovning och är så stora att de inte ryms inom en normal putstjocklek. Tillverkningen av provkropparna skiljer sig också på avgörande punkter från hur en puts blir till. Standardmetodernas provkroppar efterbehandlas dessutom på ett sätt som lämpar sig för betong och är direkt olämpligt för kalkputs. Det är därför svårt att tolka de provningsresultat som publicerats och det är inte förvånande att resultaten inte riktigt stämmer inbördes eller med de erfarenheter man har av putser i praktiken. Trots alla dessa reservationer ger provningsresultaten ändå besked om viktiga samband och är till stor hjälp om man förstår att tolka dem. Den mest mångsidiga undersökningen hittills om kalkbruk jämfört med kalkcementbruk som publicerats gjordes av Hinderson under 1950-talet (14). En av de stora förtjänsterna med hans arbete var att han studerade även kalkbrukets hård-

nande samt hur provningsmetoden påverkade resultatet. Han fann att allt som kan underlätta kalkbrukets karbonatisering ökar dess hållfasthet. Det bör observeras att nuvarande luftporbildande tillsatser inte fanns då Hinderson gjorde sina försök. För att illustrera problematiken redovisas några resultat från Hindersons undersökningar jämfört med några andra.

Cementhaltens inverkan på hållfastheten framgår av fig 25 och 26 samt 33. Proportionen mellan bindemedel och putsand är 1:4 volymdelar. I det första fallet rör det sig om laborietillverkade gjutna provkroppar med höjd × diameter 50×50 mm. Formarna är icke sugande. Proverna förvarades i +17°C och 40% relativ fuktighet. Provkroppar gjorda på sugande underlag har senare visat sig ge betydligt högre hållfasthet, särskilt för kalkbruk (11). Observera att hållfastheten minskar vid små cementandelar.

Motsvarande bruksblandningar påförda som puts i ett påslag på underlag av betong gjuten mot hyvlat trä. Förvaring lika ovan.

Som jämförelse visas de värden Cementa anger för sina produkter. Laborieprov enligt standard. (Gjutna prismor förvarade i 90% fuktighet).

Blandningar av Cementa Kalkbruk och Cementa Puts- och Murbruk C.

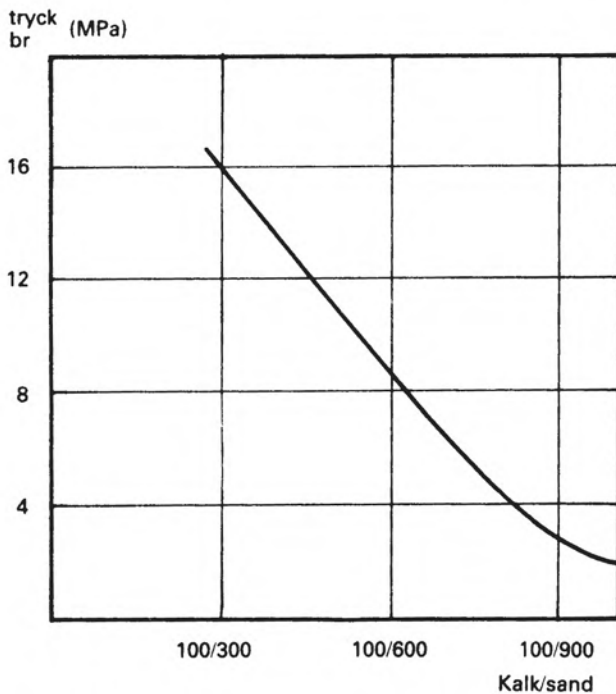
Cementa Kalkbruk Viktdel	Puts- och Murbruk C Viktdel	Samman-sättning Kalk/Cement KC	Sand-mängd per 100 vikt-delar binde-medel	Vikt% cement av total bruks-mängd	Förväntad hållfasthet $\sigma_{28d}$ MPA
1	0	100/0	1050	0	1,0-1,5
3	1	88/12	950	1,2	1,5
2	1	83/17	915	1,6	1,5-2,0
1	1	75/25	850	2,6	2,5
1	2	67/33	800	3,7	3,5-4,0
1	3	63/37	750	4,4	4,0-4,5
0	1	50/50	650	6,7	5,0

Figur 29. Blandningar av torrbruk. Efter "Cementas handbok för byggare" 1982 (16).

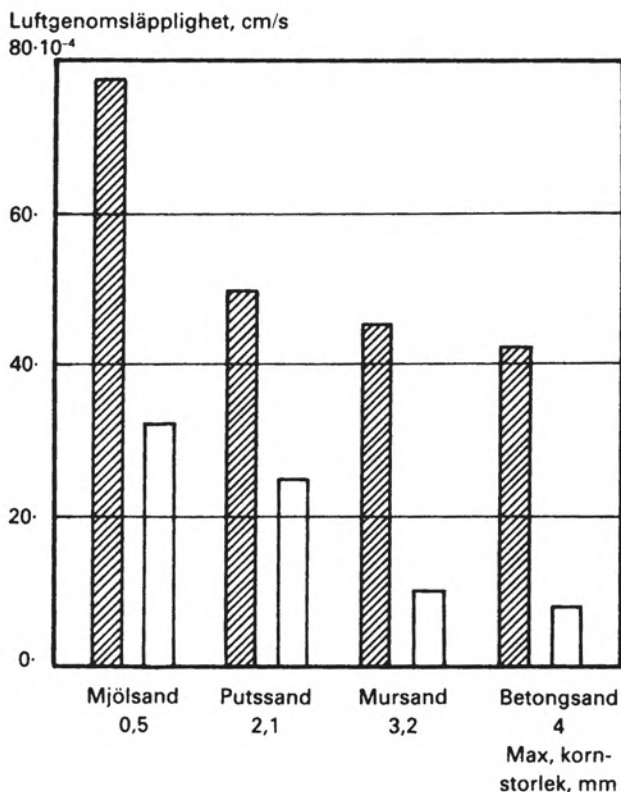
Inverkan av proportionerna mellan bindemedel och sand anger Hinderson enligt nedan. Han jämför ett kalkbruk med ett KC-bruk 35/65 viktsprocent (KC 1:1 volymdelar). Gjutna provcylindrar förvarade i 40% RF. Observera att kalkbrukets hållfasthet är nästan oberoende av andelen sand, se fig 22. En äldre undersökning av Dieckman 1937 visar ett annorlunda förhållande. Provbetingelserna är obekanta. Fig 30.

Inverkan av sandtypen, enkornig mjölsand, finkornig putsand, mursand resp välgraderad betongsand anger Hinderson enligt fig 31. Observera att det är magra bruk med volymförhållande 1:8 på bindemedel:sand. Gjutna provcylindrar förvarade enligt

ovan. Märk den helt olika tendensen med ökande hållfasthet i KC-bruket ju mer välgraderad sanden är och motsatt tendens för kalkbruket. Sandskelettet utnyttjas alltså mer i det hydrauliska bruket, fig 23.



Figur 30. Tryckhållfasthetens beroende av förhållandet mellan kalk och sand. Efter Diechmann 1937 återgiven av Sandin 1983 (15).

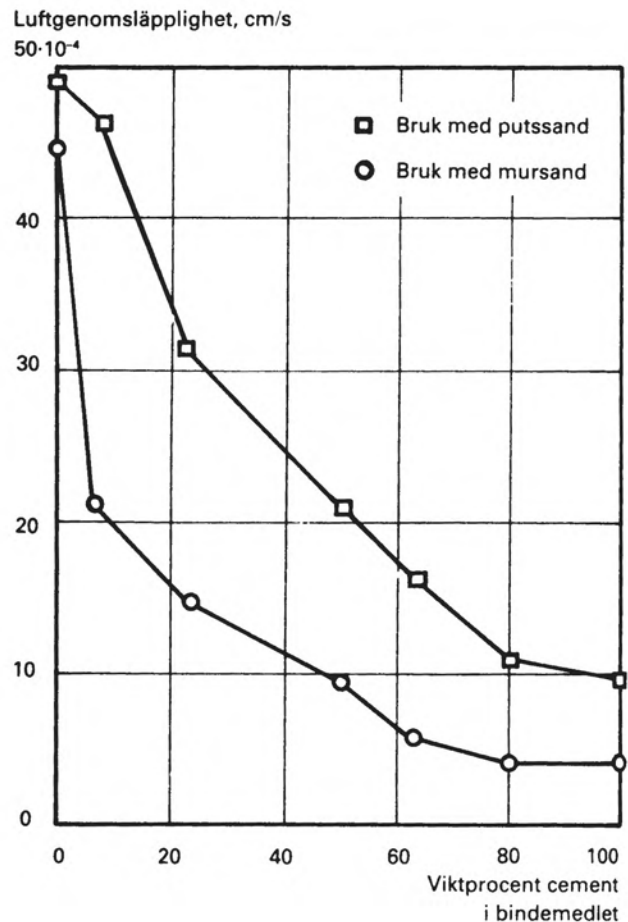


Figur 31. Luftgenomsläppligheten efter 28 dygns lagringstid. Fyllda staplar visar kalkbruk 1:8, ofyllda staplar visar kalkcementbruk 5,6:1:49. Efter Hinderson 1958 (14).

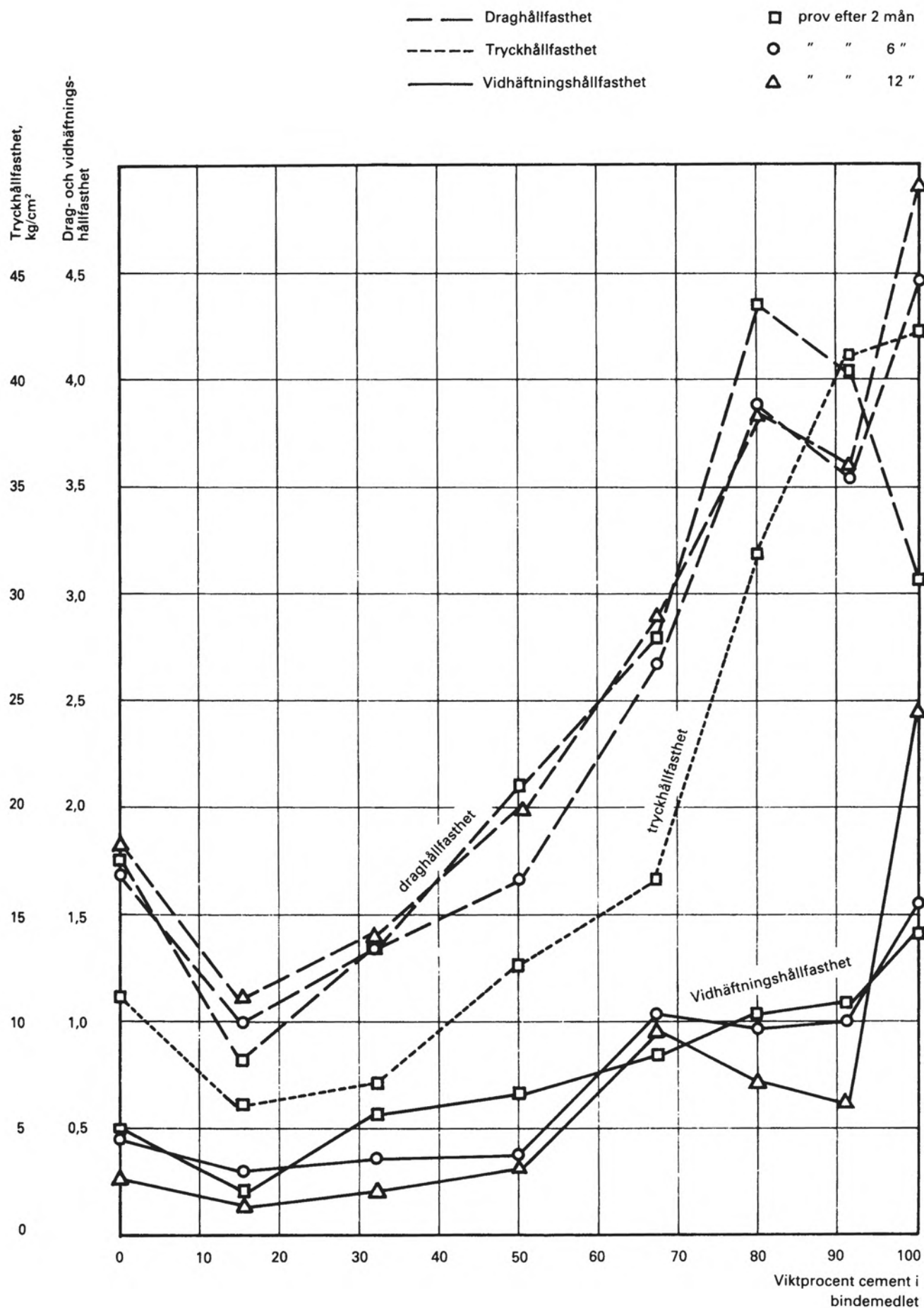
Den medeltida muraren hade uppenbarligen helt andra idéer om kalkbrukets proportionering och om det välgraderade sandskelettets avgörande betydelse än vad våra dagars putstekniker har. Han gjorde en "smet" av kalkpasta utdrygad med sand. Det var ofta mer kalk än sand och sandens korngradering skulle göra HusAMA:s författare gråtfärdig. Men resultatet blev oslagbart. Hur gjorde han och med vilka kriterier?

En av förklaringarna till ovanstående inverkan av sandsorten framgår av fig 31. Ju mer välgraderad sanden är desto mindre luftgenomsläppligt blir bruket. Välgraderad sand har mindre hålrumspocent, fyller bättre, har tätare sandskelett, än enskornig sand. Ju mindre luftgenomsläpplighet ju sämre karbonisering, vilket framgår av föregående figur.

På fig 32 kan man ännu tydligare se cementets tätande inverkan på bindemedlet. Om verkligheten följde Hindersons försök skulle alltså ett KC-bruk 50/50 (KC 2:1) ha motsvarande styrka som ett rent kalkbruk (fig 26 och 33) men ha betydligt sämre luftgenomsläpplighet, dvs ungefär vara mer finporöst enligt Sandins principbeskrivningar.



Figur 32. Luftgenomsläpplighetens beroende av cementhalten i kalkcementbruk. Resultat efter 28 dygns lagring av proverna. Efter Hinderson 1958 (14).



Figur 33. Resultat av undersökningar av puts med olika cementhalt på underlag av betong. Putsningen utfördes den 13 mars 1952. Proportionen bindemedel:sand var 1:4 volymdelar. Efter Hinderson 1958 (14).

## INLEDNING

I skriften "Kalkputs 1", som har föregått denna skrift redovisas en inventering av 220 stycken kalkputsnings- och kalkmålningsarbeten, som utförts i Sverige åren 1960–80.

Inventeringen syftade till en kartläggning av arbetenas utförande och resultat. I huvudsak har kartläggningen avsett arbetenas hållbarhet. Eftersom arbetena gällt byggnadsminnesmärken, kyrkor och andra byggnader med stort kulturhistoriskt värde har arbetena emellertid också bedömts med hänsyn till hur detta värde har tagits tillvara. Speciellt har uppmärksammas att byggnaderna har intresse som vittnesbörd om ett byggnadsskick för vilket kalk har spelat stor roll.

Inventeringen visar

- att kalkputsning och kalkmålning – nu som förr – är möjliga tekniker i de flesta sammanhang där de hör hemma
- att hållbara arbeten har gjorts i alla regioner av landet
- att arbeten som erhållit skador också har gjorts i alla delar av landet
- att skadorna som regel förefaller bero på ett felaktigt arbetsutförande, vilket i sin tur torde bero på bristande kunskaper eller bristande omsorg och planering
- att vi många gånger är osäkra på hur arbetena skall

utföras ur historiskt synpunkt beroende på bristande kunskaper etc

- att ett klart behov av forsknings- och utvecklingsinsatser föreligger, såväl när det gäller tekniska som historiska frågor.

Denna skrift, "Kalkputs 2", utgår bl a från erfarenheterna av den gjorda inventeringen. Avsikten är att klargöra de principiella utgångspunkterna för omputsning av kulturhistoriskt intressanta byggnader samt att redogöra för dagens kunskaper och forskningsbehov. I skriften utvecklas kraven att ny puts skall efterlikna äldre samt att putsen skall vara hållbar men inte medföra skador på murverket. Såväl de historiska som tekniska kunskapsförutsättningarna beskrivs. Putsens utförande förr och nu redovisas beträffande material, framställning, sammansättning och hantverket på byggnadsplatsen m m. Putsens tekniska verkningssätt analyseras liksom hur en tekniskt och historiskt lämplig puts skall vara beskaffad. Forskningsbehoven skisseras med utgångspunkt från den målsättning vi vill förverkliga i förhållande till bristerna i dagens kunskaper om putsarbeten.

Skriften består av två huvudavsnitt. Det ena avsnittet "Kalkputs, ett eftersatt historiskt forskningsområde" är skrivet av arkitekt SAR Ove Hidemark och det andra "Kalkputs, dagens tekniska kunskaper och forskningsbehov" är skrivet av ingenjör Ingmar Holmström, riksantikvarieämbetet.

## Fuktegenskaper

Vad gäller putsens principiella egenskaper ur fuktteknisk synpunkt går meningarna något isär. Alla är överens om att putsen och dess färgskikt bör skydda väggen från att blötas ner av regn. Ett absolut minimikrav är att putsen inte skall öka väggen's fukthalt. Om möjligt skall putsen hålla väggen helt torr. (Det är dock inte fullständigt säkert att en gammaldags mur, typ medeltida kyrka t ex, mår bäst eller ens bra av att vara snustorr. Kanske mår den bäst av att ha en viss fukthalt – tyvärr obekant vilken.)

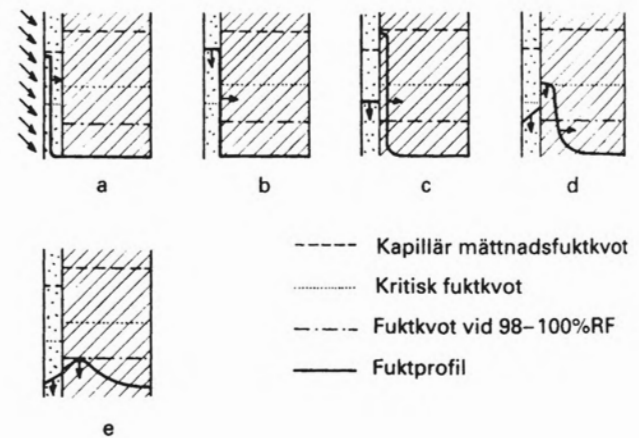
Åsikterna går främst isär vad gäller principerna för putsens (och dess färgskikt's) verkningssätt (9) (15). Skall putsen vara vattenavvisande eller absorberande? I det ena fallet borde regnvattnet helt stötas bort från ytan, inte sugas in, utan rinna utanpå som på ett fönsterglas eller på en gås, "regnrocksprincipen". I det andra fallet är putsen så starkt vattensugande att regnet tas upp i putsen utan att rinna på ytan, "läskpappersprincipen". Oavsett efter vilken princip putsen skall ta hand om regnvattnet skall inifrån kommande fukt kunna torka ut utan att göra skada. Detta är svårare att uppfylla med en "regnrockspust". Är det höga fukthalter och/eller vattenlösliga salter i underlaget är det praktiskt omöjligt med "regnrockspust" eller do färg. Skillnaden mellan principerna regnrock och läskpapper är bl a beskriven i "Kalkfärg på fasad" sid 6–7 (10). Sprickor, hål och felaktigheter i en regnrocksyta sätter också principen mer eller mindre ur spel. I en "läskpappersyta" har sprickorna ingen inverkan. Alla putsade fasader har massor av sprickor, de flesta osynliga för blotta ögat.

Den äldsta metoden är "läskpappersprincipen" representerad av kalkmålad kalkputs, i våra dagar även av "öppna" putser typ spritputs och skrapad ädelputs. Regnrocksprincipens mest typiska exponenter i dag är dels puts med hög cementhalt och/eller tillsatser av vattenavvisande medel samt dels puts målad med vattentäta färger (alkyder, plaster, oljor).

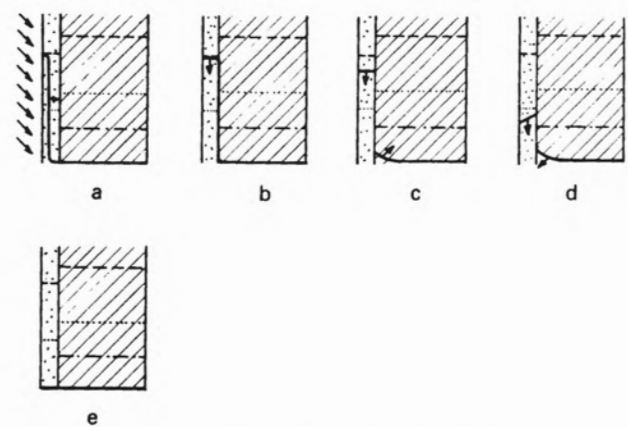
Alla är överens om att tjockputs baserad på läskpappersprincipen är en säker metod. Många är också överens om att regnrocksprincipen är antingen riskabel eller direkt olämplig. Av tekniskt/antikvariska skäl är endast läskpappersprincipen aktuell på kulturhistoriskt värdefulla byggnader som tidigare varit kalkputsade.

Man har inte kunnat påvisa några skador på gamla kalkputsade byggnader som hänför sig till putsens fukttekniska egenskaper. Man är överens om att på dessa byggnader har kalkputsen varit lämplig, och att det är osäkert om puts med andra fuktegenskaper skulle fungerat lika bra. Trots en omfattande forskning kan man inte säga *hur* den gamla kalkputsen fungerar fukttekniskt, inte heller *hur* en annan putstyp skulle fungera i samma situation. Det finns dock många exempel på att starkt cementhaltigt bruk givit skador i underlaget sannolikt på grund av sina fukttekniska egenskaper i kombination med den högre mekaniska styrkan. Cementhalten ger en minskan-

## Grovporös puts på finporöst underlag



## Finporös puts på grovporöst underlag



Figur 34. Fuktförlopp under och efter ett litet slagregn. Efter Sandin 1980 (9).

de porstorlek, ett "tätare, finporöst" bruk. Enligt bl a Sandins laboratorieundersökningar (9) skulle cementbruk med sin finporösare struktur vara ett bättre skydd mot slagregn än kalkbrukets grovporösare. Praktiska erfarenheter motsäger detta, kanske beroende bl a på att teorin inte tar hänsyn till sprickornas inverkan, och på den ökade risken för vattenfilm på fasadytan vid regn. Det rinner mer vatten på en finporös putsyta än på en grovporös. (Regnrock – läskpapper.)

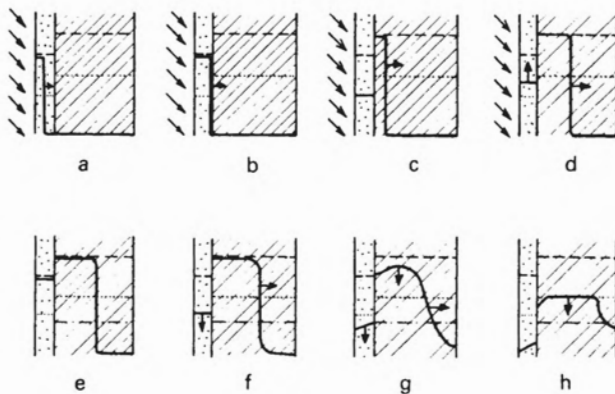
Sandins omfattande och grundläggande undersökningar visar hur vattentransporten i princip sker mellan underlag och puts när porstrukturen är olika (fig 34, 35). Avgörande är alltså underlaget. Tegel är ett utpräglat grovporöst material, vars porositet dock är starkt beroende av bränningen. Lösbränt tegel har oftast grövre porer än hårdbränt. Gasbetong är ett finporöst material med hänsyn till fukttransport. Det låter konstigt med ett så tydligt grovporigt material men beror på att cellväggarna mellan de stora "bubblorna" har finporös struktur och det är cellväggarna som transporterar fukten. Kalkputs är i förhållande till KC-puts (t ex våra dagars treskiktputs) mer grov-

porös. Båda typerna av puts är dock (med få undantag) mer finporösa än tegel men mer grovporösa än lättbetong. Fukttekniskt kommer därför (vid en sprickfri puts) förhållandena i underlaget att skilja sig vid regn. Fig 36 visar fuktinnehållet i laboratorieprover vid laboratorieregn. Putserna skyddar teglet mot regnet men ökar lättbetongens fuktinnehåll. (9)

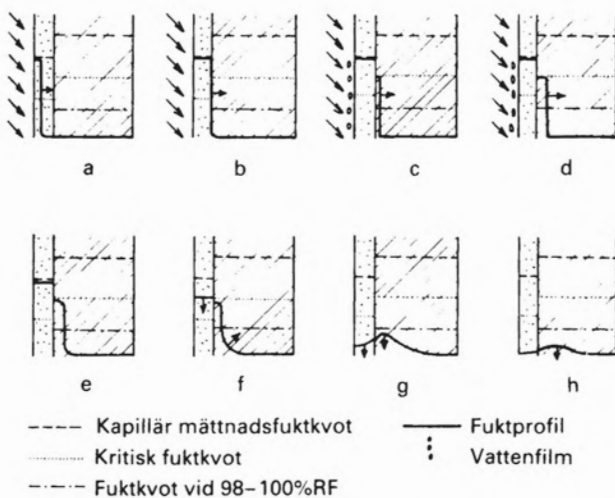
Det principiella förloppet i olika kombinationer av underlag och puts framgår av fig 34, 35. (9)

Figurerna visar att en finporös puts i princip skyddar ett grovporöst underlag mot både kraftiga och små slagregn. Problemet är att överföra dessa laboratorieerfarenheter till den mer komplicerade verkligheten. Gäller förhållandet även hela fasader med de varierande klimatbelastningar dessa har och med de felaktigheter i ytan som vanligen förekommer? Är den aktuella väggen grovporös eller finporös i förhållande till putsen?

### Grovporös puts på finporöst underlag

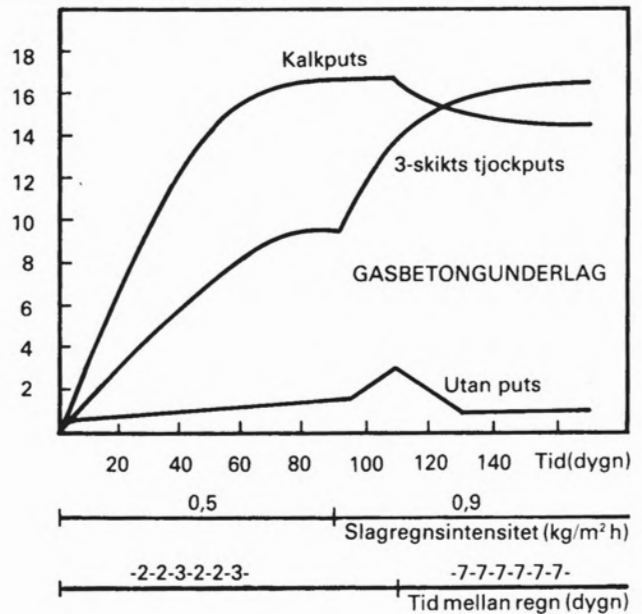


### Finporös puts på grovporöst underlag

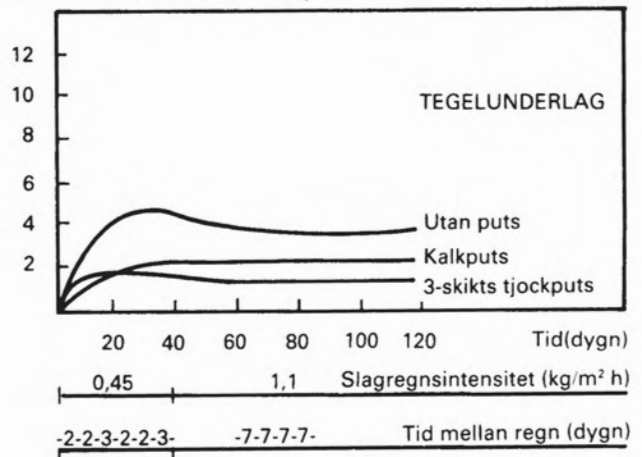


Figur 35. Fuktförloppet under och efter ett kraftigt slagregn. Efter Sandin 1980 (9).

Akkumulerat fuktöverskott (kg/m<sup>2</sup>)



Akkumulerat fuktöverskott (kg/m<sup>2</sup>)



Figur 36. Medelfuktinnehållets förändring vid cykliskt återkommande slagregn. Regnets varaktighet har alltid varit 3 1/4 h. Efter Sandin 1980 (9). Laboratorieförsöken är utförda med konstgjort regn på små provplattor. Praktiska erfarenheter tycks peka i motsatt riktning.

### Frostbeständighet

Om ett sprött, poröst material fryser sönder eller ej vid en viss given fukthalt beror på materialets porstruktur och dess mekaniska styrka. Tillsammans avgör de materialets kritiska vattenmättnadsgrad (Fagerlund, 17). Vid en viss given mekanisk styrka och en given fukt mängd avgör volymen och strukturen av porerna om sönderfrysning sker eller ej. Det innebär grovt sett att ju svagare ett sprött material är desto viktigare är det att det finns tillräckligt med stora luftfyllda porer tillräckligt nära varandra. När vattnet i de mindre porerna expanderar får det inte vara för lång väg till en större torr (eller åtminstone endast delvis fylld) por.



Gammalt kalkbaserat puts- och murbruk innehåller grovt sett många och stora porer. Är bruket väl sluthårdnat har det därmed i allmänhet god frostbeständighet. När vi gör kalkputs idag kan säkerligen porstrukturen ofta bli en annan, kanske ogynnsammare. Det är också ganska vanligt att bruket inte fått den styrka det gamla kalkbruket hade. Såsom framgått av föregående avsnitt är karbonatiseringen mycket viktig för brukets slutliga hållfasthet. Likaså har beskrivits att porstrukturen är mycket betydelsefull för karbonatiseringen och därmed hållfastheten. Ett poröst kalkbruk med rätt porstruktur skulle därmed ha dubbla möjligheter att få god frostbeständighet: det skulle bli starkt och ha tillräckligt expansionsutrymme för frysande vatten.

Porositet och porstruktur beror som nämnts på flera olika faktorer bl.a kalkens egenskaper (bränning, släckning kanske också lagring), sanden, bindemedelsmängden, vattenhalten, tillsatsmedel, blandnings- och putsningssätt, underlagets sugning, samt klimatet. Ett fel i denna kedja kan alltså äventyra frostbeständigheten genom att porstrukturen blir olämplig.

Använder man ett hydrauliskt bindemedel (kalk + cement, kalk + annat aktivt kalciumaluminiumsilikat, hydraulisk kalk) har bindemedlets egenskaper större betydelse för porstrukturen och därmed även frostbeständigheten. Den ökade mekaniska styrkan kan uppvägas av olämplig porstruktur. Både vad gäller rent lufthårdnande kalkbruk och hydrauliskt bruk är det alltså väsentligt att sträva efter en hög porositet med lämplig struktur. Tillsatser som på ett förutsebart och någorlunda stabilt sätt ger en lämplig porstruktur är därför av största värde. I modern betong- och putsteknik använder man porbildande tillsatsmedel för att få en lämpligare porstruktur. Man kan därmed skapa en viss garanti för frostbeständigheten. I kalkputs kan detta också användas men där har dessutom kalkens egenskaper betydelse. Som nämnts har man vid försök på VTT (11) funnit tex att en typ av malt kan ge ett kalkbruk både hög styrka och lämplig porstruktur, så hög att frostbeständigheten blev bättre än för ett normalt KC-bruk.

### Beständighet mot frätning, salter mm

Kalkputsens beständighet mot salter är inte fullt utredd. I huvudsak uppstår liknande påfrestningar av saltkristallisation som av frost. God mekanisk styrka

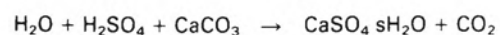
och en lämplig porstruktur fordras för att kristallerna skall kunna växa utan att putsen omedelbart brister.

Om ett murverk har saltvittringsskador är inte beroende av puts eller inte puts, inte heller av putsens egenskaper. Saltvittringen beror på onormal tillförsel av fukt, tex från marken och på uttorkningsförhållandena. Däremot beror det på putsens egenskaper *var* vittringsskadorna sker. Putsens porstruktur i förhållande till underlaget och i förhållande till omgivande klimatet avgör om det blir putsen som offeras eller murverket. Här vet man inte säkert *hur* porstrukturen skall vara men kalkputs har fungerat i de flesta fall medan starkt cementhaltiga putsbruk oftast medfört att vittringen skett i underlaget. Putsen har då skjutits ut i sin helhet i stället för att vittra i ytan. Murverk med saltvittringsproblem kan därför i allmänhet hindras att vittra sönder med hjälp av en offerputs av kalkbruk.

Kalkputsens beständighet mot svavelsurt regn är beroende av porstrukturen, hållfastheten och karbonathalten. Svavelsyrligheten omvandlar kalciumkarbonatet till kalciumsulfat, gips, vilket är svagare, mer vattenlösligt och har större volym. Omvandlad kalkputs blir därför mer kompakt och har annan porstruktur, mer känslig för urlakning. Angreppens omfattning beror till stor del av karbonathalten. Mager kalkputs med låg hållfasthet har låg beständighet mot frätning. Den låga kalkhalten, bindemedlet, gör att det inte krävs så stor mängd surt regn för att förstöra en jämförelsevis stor volym puts. Sandkornen angrips inte men däremot den lilla mängden kalk. Kalkputs med stor karbonathalt är därför beständigare. Det är större mängd karbonat att omvandla. Hög karbonathalt betyder hög bindemedelshalt eller att en del av ballasten utgörs av karbonat. Kalkputs med dolomitinblandning torde därför vara fördelaktig. Den medeltida feta kalkputsen hade ju också hög karbonathalt och har visat sig mer beständig än yngre och magrare putser.

Regelbundet underhåll med kalkfärg ger mycket god beständighet åt en fet kalkputs.

Svavelsyra + kalksten → gips + koldioxid



*Omvandlingen av kalkputs och andra karbonathaltiga material av svavelsurt regn.*

## PUTSEN OCH UNDERLAGET

I föregående avsnitt har nämnts att putsen och underlaget skall ha mekaniska egenskaper avpassade till varandra: putsen får inte vara mekaniskt starkare än underlaget, annars uppstår skador i underlaget. Vidhäftningen får inte heller vara så hög att putsen inte kan avlägsnas vid en renovering utan att underlaget skadas. Detta är ett antikvariskt krav. Putsen och

underlaget skall också samverka fukttekniskt för att väggen inte skall få fuktskador.

Här skall i huvudsak behandlas vidhäftningsproblematiken. Putsen skall inte falla ner från fasaden men skall ändå lätt kunna avlägsnas. Detta innebär att vidhäftningshållbarheten skall vara lika med putsens

hållfasthet men något mindre än underlagets hållfasthet. Gammaldags kalkbruk kan avlägsnas utan att underlaget skadas. Risken i dag med kalkbruk är att sluthårdnandet inte sker fullständigt och att putsen därför får alltför låg styrka. Olyckligast är om putsen är svagare nära underlaget än vid fasadytan. Då faller putsen ner förr eller senare, oftast i stora stycken. Samtidigt är det så att en stum oelastisk puts kräver högre vidhäftning än en svagare och eftergivligare. Kalkputs fordrar därför i princip inte lika hög vidhäftningsstyrka som t ex en starkt cementhaltig puts. Ett vidhäftningsbrott är därför mer ödesdigert i en stum puts än en eftergivlig, i en cementputs än en kalkputs.

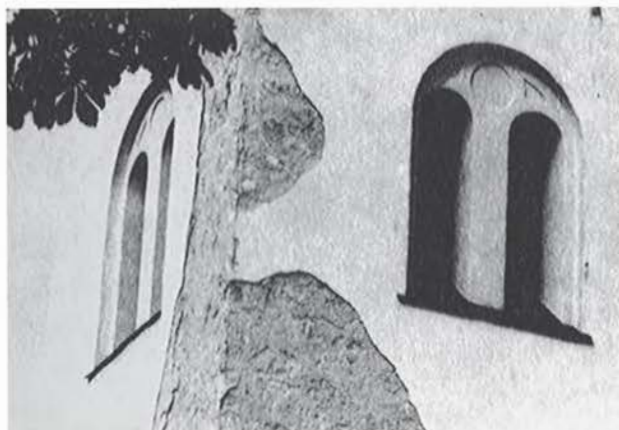


Foto 23. Putsnedfall orsakat av ofullständigt sluthårdnad kalkputs. Södra Åkarps kyrka i Skåne. Foto 1981, Jan Lisinski.

För att säkra vidhäftningen i modern puts gör man den i två eller tre skikt varav det första alltid är en cementrik grundning, oftast fabriktillverkad och i avvikande färg (röd eller gul). Orsaken är i första hand de omfattande putsnedfall man hade under 1950-talet på underlag av lättbetong men också på slät betong. Det cementrika grundningsbruket med hög vattenhalt eliminerade detta problem helt. Ytterligare en fördel med denna cementrika grundning är att ett underlag med ojämn sugning blir mer jämsugande. Detta gör det lättare för muraren att bearbeta nästföljande putsskikt. Han behöver inte riskera att något parti slås för blött eller för torrt utan kan bearbeta hela ytan samtidigt. Detta är särskilt tydligt när man putsar med lufthårdnande bruk, som ju är helt beroende av underlagets sugning och ytans uttorkning för att styvna till bearbetbar konsistens om man skall brädiskura ytan. Skall man bara dra av med en käpp blir det annorlunda. Likaså är man vid slevslätning inte särskilt beroende av att putsen har styvnat över hela ytan. Fördelen med att minska och jämna ut sugningen genom ett mycket cementrikt grundningsbruk är alltså inte så stort för en treskiktsputs där grovputsen (det andra lagret av de tre) inte skall brädiskuras. Ytputsen i en treskiktsputs får ju jämn sugning av grovputsen. Eftersom äldre byggnader sällan eller aldrig görs med brädiskurad grovputs behövs inte cementrikt grundningsbruk för att jämna ut sugningen.

Sandin (15) har klart visat att grundningsbruk med högre styrka, dvs vanligen högre cementhalt, än nästa putsskikt är obehövligt även av andra skäl. Man får tillräcklig vidhäftningsstyrka ändå.

Avgörande för vidhäftningen är att putsen väter underlaget ordentligt. Om underlaget har svag eller ingen sugning spelar det nästan ingen roll om bruket är fett eller magert bara konsistensen är avpassad så att det arbetstekniskt fäster. Om underlaget är kraftigt sugande, såsom tegel eller utbredd kalkbruksfogning är bindemedelspastans "konsistens" avgörande för vidhäftningen. En lättflytande bindemedelspasta medför god vidhäftning. Detta innebär i praktiken att man på starkt sugande underlag antingen skall ha ett magert bruk med minst normal konsistens, inte styv, eller ett lättflytande fett bruk.

Luftporbildande tillsatser i grundningsbruket kan ge försämrade vidhäftning, särskilt på sugande underlag. Anledningen är främst att luftporer ansamlas i vidhäftningszonen. I hydrauliskt (t ex cementhaltigt) grundningsbruk kan celluloserivat förbättra vidhäftningen på starkt sugande underlag. Det är osäkert hur ett rent luftkalkbruk påverkas av dessa tillsatser.

Genom en intensiv information via handböcker och putstillverkare mm sedan slutet av 1950-talet anses starkt cementhaltigt grundningsbruk självklart som första påslag oavsett underlag och typ av objekt. Eftersom sådan grundning på grund av sin överstyrka är oacceptabel på kulturhistoriskt värdefulla byggnader har det uppstått en konflikt mellan "modern" putsteknik och kulturminnesvården. Att vid varje putsläggning eller omputsning lägga på ett nytt överstarkt cementrikt grundningsbruk är helt oacceptabelt. Det innebär antingen att ny grundning läggs ovanpå föregående i all oändlighet (om man knackar ner endast de yttre putsskikten) eller att man hugger sönder underlaget varje gång man tar bort även grundningen. Såsom framgår av ovanstående är den cementrika grundningen onödig och därmed även konflikten. Putsar man med kalkbruk kan man alltså i princip även grunda med kalkbruk, vilket ju är den äldsta tekniken. Det första påslaget av kalkbruk måste dock ha en konsistens som avpassas till underlagets sugning. Man måste samtidigt vara uppmärksam på att grundningsbruket måste ha minst samma hållfasthet som utanpåliggande putslager. Eftersom karbonatiseringen sker utifrån fasadytan och inåt finns det risk att de djupare liggande putsskikten blir ofullständigt karbonatiserade. Det är därför en fördel om grundningsbruket kan hårdna hydrauliskt, dvs oberoende av luftens koldioxid.

Underlagets beskaffenhet utöver sugningen har närmast betydelse för arbetstekniken, mindre för grundningsbrukets sammansättning. Underlagets renhet har givetvis stor betydelse. Ytan måste vara fri från fett, sot och liknande som försämrar vätningen. Likaså måste ytan vara möjligast fri från lösa partiklar. En omsorgsfull rengöring är därför nödvändig. Däremot har underlagets skrovlighet betydelse endast under

första tiden efter putsningen innan den kemiska vidhäftningen utvecklats. På lång sikt kan man få bra vidhäftning även mot glas, men det är rent praktiskt svårt att få ett normaltjockt puts-skikt "hänga kvar" innan den kemiska bindningen utvecklats. Ett tunt grundningsskikt som tillåts fästa innan nästa skikt förs på är därför nödvändigt på släta ytor om man har normalkonsistens på bruket. Ett klistrigt bruk av medeltida typ kan dock fästa även i tjocka skikt på slät yta.

Rekommendationerna om hur en korrekt grundning skall utföras varierar. Standardrekommendationen för vanlig putsning är en cementrik grundning av lättflytande konsistens som slås eller mjukas på i ett tunt skikt. Vissa föreskriver att grundningen skall vara heltäckande och utkvastad, andra föreskriver en

## FÄRG PÅ PUTS

Kalkputs på fasad har ända fram till våra dagar målats med kalkfärg. Från slutet av 1800-talet har på enstaka välbärgade hus också använts oljefärg. Enstaka hus har också sedan 1930-talet målats med silikatfärg (vattenglas). Från andra världskriget, då man började använda KC-puts, har man i Sverige även börjat använda KC-färg, senare även färg baserad på plaster och alkyder. Även för putsfärg på kulturhistoriska byggnader gäller de tekniskt/antikvariska principerna: historiskt korrekt, tekniskt jämförbart, avlägsnas utan att skada, reversibilitet. (10)

Mot denna bakgrund är kalkfärg den naturligaste lösningen. Alla andra färger är starkare än underlaget. Möjligen kan KC-färg användas på mycket hård kalkputs. Silikatfärg och färg med organiska bindemedel är omöjliga att avlägsna från puts så effektivt att kalkfärg åter kan användas. Organiska färger gör också att putsen får andra fuktegenskaper och åldras på ett helt annat sätt.

Vad gäller färgens fukttekniska egenskaper finns det utpräglade "regnröcksfärger" och "läskpappersfärger". Kalkfärg är en utpräglad läskpappersfärg och de färger som baseras på organiska bindemedel (olja, alkyder, plaster) är utpräglade regnröcksfärger. Ju tjockare färgskikt desto mer utpräglad blir regnröcks-effekten. Inte bara vattentätheten ökar med ökad skiktjocklek hos organisk färg utan framför allt även ångtätheten, vilket starkt försvårar uttorkningen. Om en läskpappersfärg som kalkfärg är tjock eller tunn påverkar däremot inte nämnvärt fuktegenskaperna. Om en kalkputs är omålad eller kalkmålad har såvitt man vet ingen fuktteknisk betydelse. Färgen och putsen är mycket nära släkt. Ju mer egenskaperna hos färgskikt och puts skiljer sig från varandra desto mer komplicerar det fuktförhållandena i en fasadputs. Man känner inte något enda fall där en kalkfärg orsakat skador på en puts. Däremot finns det många exempel på att "regnröcksfärg" varit den direkta orsa-

stänkgrundning där ytan skall vara täckt till c:a 70%. Argumenten för den heltäckande grundningen är främst att få dels en utjämnad sugning dels att få ett regntätande skikt. Idén om den heltäckande grundningen tycks ha kommit från västkusten. De som förordar stänkgrundningen hävdar att just knotttrighe-ten ger det "grepp" putsens följande skikt behöver. En variant av stänkgrundningen brukar ibland föreskrivas för historiska byggnader med naturstensmurar av granit och liknande, nämligen att stenytan grundas men inte fogarna. Argumenten är dels att putsen anses bli bom först på stenyterna därefter på fogarna dels att stenytan tål den hårda grundningen och dessutom att stenen ändå inte har någon sugning som påverkas av att få ett lager cementrikt bruk på sig. Sådan partiell stänkgrundning skulle därmed uppfylla kravet på reversibilitet, dvs att grundningen skall kunna avlägsnas utan att underlaget skadas.

ken till omfattande fuktproblem med frostsprängning, saltvittring eller annat på en tidigare oskadad fasad. Skillnaden mellan kalkfärg och annan färg beskrivs i "Kalkfärg på fasad" (10).

Kalkfärgen skyddar den underliggande putsen från frätning genom att själv frätas bort. Färgen offras och neutraliserar det insugna regnvattnet. Problemet med kalkfärg är att den kan få kort livslängd. Orsaken är antingen felaktigt arbetsutförande, olämpligt underlag eller ovanligt svåra luftföroreningar. Om luften och regnet är mycket aggressivt kommer inte bara kalkfärgen att angripas, även andra karbonathaltiga material angrips, inklusive putsen. Kalkfärgens, liksom putsens, karbonat omvandlas till gips. (Jämför avsnittet Putsens egenskaper) I princip finns det tre möjligheter att förlänga livslängden: tjockare kalkfärgskikt, organisk färg och vattenavvisande impregnering. Ingendera skyddar underlaget helt. De senare gör renovering svårare och återgång till kalkfärg omöjlig vilket är oacceptabelt ur antikvarisk synpunkt. Metoderna ökar också risken för lokala fukt-skador. Att ersätta kalkfärgen med en resistent, någorlunda vattengenomsläpplig färg såsom silikatfärg är heller ingen bra lösning. Dels angrips putsen obehindrat under den resistent färgen, dels kan färgen inte avlägsnas utan att putsen skadas. Kalkfärg kan inte målas ovanpå silikatfärg.

Återstår alltså i första hand att göra kalkfärg av god kvalitet. Avgörande för kalkfärgens livslängd är dels dess skiktjocklek, dels vidhäftningen. Porositeten har sannolikt också en viss betydelse.

Tjock kalkfärg målad på starkt sugande underlag har svårt att fästa och spjälkar därför lätt. Är sugningen dålig måste färgen vara ganska tjockflytande för att fästa. Även då spjälkar färgen lätt. Resultatet är att man antingen måste stryka kalkfärgen i många skikt med tunn färg eller att ge färgen tillsatser. "Kalkfärg

på fasad” rekommenderar många tunna strykningar. Observera dock att en färg baserad på kalkvatten och pigment inte kan få nämnvärd tjocklek ens med många strykningar. Kalkvattnet, klar mättad lösning av släckt kalk  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  i vatten, innehåller alltför lite kalk för att ett nämnvärt bindemedelsskikt skall kunna bildas. Kalkvattenfärg är därför olämplig utomhus, men utmärkt för dekorationer inomhus på kalkputs. Utomhus måste man använda ”kalkmjölk” dvs en tunn uppslamning av kalk i vatten som utgångsmaterial även för kulört kalkfärg.

De två största fabriksblandade kalkfärgerna (Strå kalkfärg och Serponit Kulturfärg) innehåller mald dolomit och förtjockningsmedel (cellulosaderivat) för att få tjockare skikt. Man skulle kunna tänka sig att följden av de tjockare skikten blev spjälkning, men det tycks inte vara vanligt om underlaget suger normalt. Man har heller inte kunnat iaktta några synliga biverkningar på tex åldrandet av den lilla mängd cellulosaderivat som hittills använts. Med nämnda

kalkfärger kan man alltså få ett mer hållbart slutresultat med färre strykningar. Färgen kräver inte heller riktigt samma vana vid hanteringen som den platsgjorda kalkfärgen.

Kanske har de tidigaste kalkmålningarna av fasader också de gjorts med ganska tjocka skikt. Rester av medeltida färg tyder på detta. Man har på flera kyrkor funnit lager av en tunn kalkslamning, dvs ett skikt av kalk och mycket fin sand som kvastats på i ett c:a 2 mm tjockt lager. Senare försök i bl a Danmark tyder på att ett sådant skikt blir både hårt och hållbart.

Kalkfärg fordrar kalkputs som underlag för att få god hållbarhet. Ju högre kalkhalt putsen har desto bättre tycks beständigheten bli hos färgen. Cementinblandning däremot ger färgen märkbart kortare livslängd. Orsaken är oklar men resultatet kan studeras på fasader som putsats med delvis kalkputs delvis KC-puts och därefter målats med kalkfärg. Flera hus på Mariaberget i Stockholm renoverades på detta sätt i början av 1970-talet.

## PUTSSKADOR

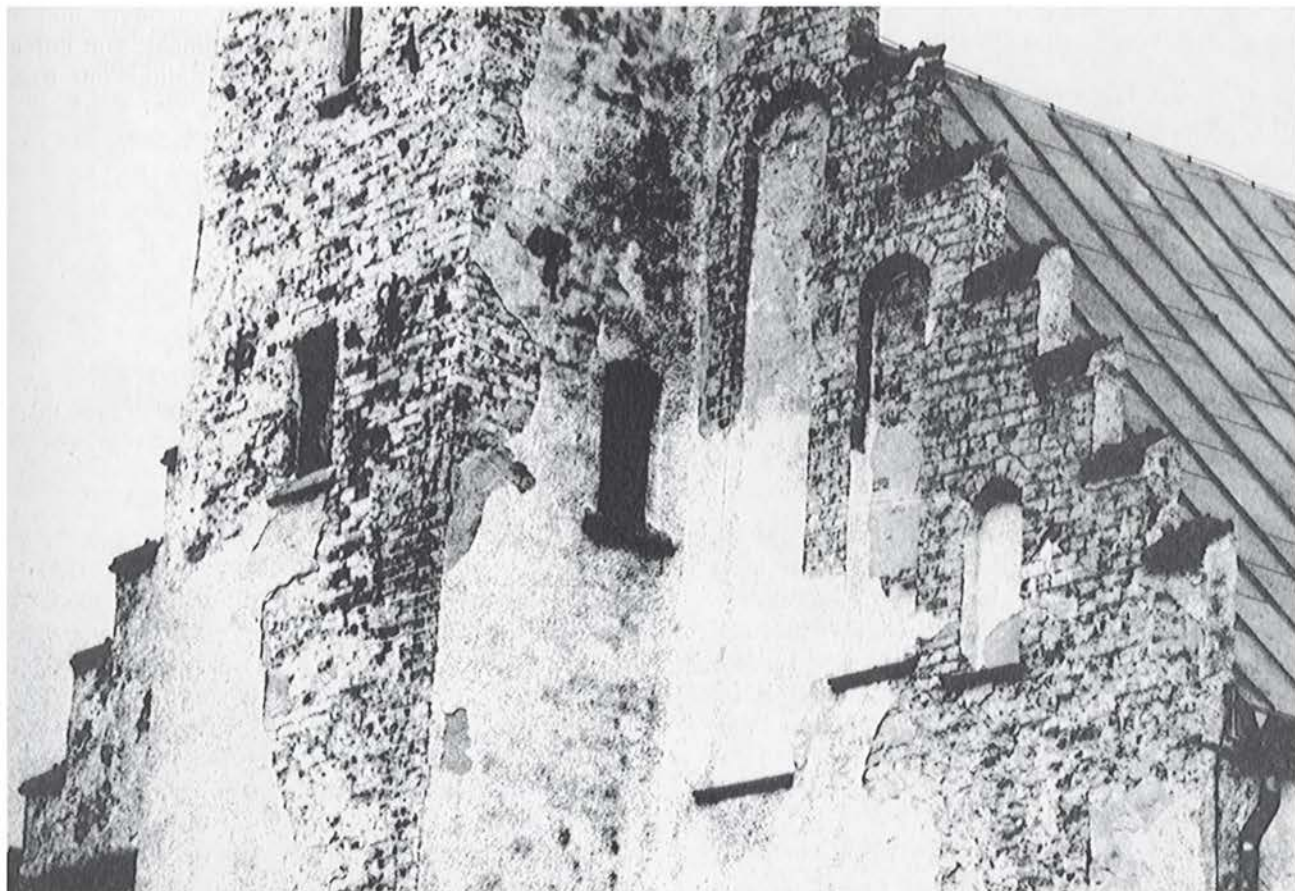


Foto 24. *Omfattande putsnedfall orsakat av bland annat olämpligt härdningsklimat, dvs putsarbetet utfördes sent på året. Fru Alstads kyrka i Skåne. Foto 1981, Jan Lisinski.*

I föregående avsnitt har beskrivits vad man i huvudsak vet om fasadputs, dess funktion och hållbarhet, speciellt kalkputsen. Det torde framgå att fasadputs är en komplicerad byggnadsdel vars egenskaper kan variera, och det av många orsaker, både oberoende och samverkande. Med så många osäkra eller oklara faktorer borde också slutresultatet bli osäkert. Riktigt så illa är det ändå inte. Som vi vet klarar sig de flesta fasadputser och det gäller även kalkputser. Tyvärr kan man inte komma ifrån att kalkputser oftare blivit skadade på senare år än cementhaltiga putser. De senare skadas sällan. Såsom torde framgå av det föregående kan man trots det inte utan vidare övergå till cementhaltig puts på kulturhistoriska byggnader.

Vad är då huvudorsaken till de skadade kalkputserna? Inventeringen av de 220 byggnaderna som redovisas i "Kalkputs 1" ger inget entydigt svar på frågan. Man torde dock kunna påstå att skadorna dels beror på dåligt hårdnad (ofullständigt karbonatiserad) kalkputs, dels beror på en kombination av för låg hållfasthet i förhållande till porstrukturen. Tyvärr ger det inte heller någon entydig säker ledning till hur skadorna kunnat undvikas.

Visserligen vet man inte särskilt precis hur en lämplig porstruktur skall vara beskaffad men man tror sig dock veta att den mer grovporösa kalkputsen i allmänhet har goda förutsättningar att få en lämplig porstruktur, kanske större förutsättningar än den mer finporösa KC-putsen. Med hjälp av lämpliga luftporbildande medel bör förutsättningarna öka ytterligare.

Kalkputsens erkänt osäkraste egenskap är dess mekaniska styrka. Eftersom sluthårdnandet hos en luft hårdnande kalk är så pass komplicerat och känsligt

## RENOVERINGSMETODER

Metoderna för renovering av puts har varierat under åren. Vi vet lika lite om detta som om nyputsmetoderna. Vad vi kan studera är de putsrester som ännu finns.

Bevarad gammal puts kan ha många lager kalkfärg, ibland i något avvikande färger. Antalet kan vara både tio och tjugo och tjockleken uppåt en halv centimeter och mer. Vid omkalkning avlägsnade man alltså ofta inte de gamla kalklagren. Orsaken måste bli ha varit att man saknade goda redskap för detta. Stålb borsten måste ha kommit tidigast på sena 1800-talet till byggplatser, och att skrapa bort färgen var svårt.

Man finner också att omputsning gjorts på befintlig kalkad puts, ibland i flera lager med mellanliggande kalkfärgskikt. För att få bättre vidhäftning har man ibland pikhuggit den gamla putsen så att man fått fördjupningar, sår, här och där i ytan. Problemet

för störningar, jämfört med t ex cement, fordras ett yrkeskunnande i vid mening för att få god kvalitet. Kalkputs har mindre slarvmarginaler än cementhaltig puts. Som nämnts skall kalkputs dessutom vid hårdnandet behandlas på delvis motsatt sätt än en cementhaltig puts. Dagens hantverkare och tekniker har normalt sin erfarenhet från cementhaltig puts, varför det är lätt hänt att en kalkputs blir felbehandlad. Det mesta tyder på att de flesta skadade putserna inte karbonatiserat ordentligt, och härmed fått onödigt låg hållfasthet. Låg temperatur och/eller hög fukthalt under tiden efter putsningen är sannolikt den vanligaste orsaken. Långsam karbonatisering på grund av olämplig porstruktur kan vara en annan orsak, kanske främst i de putser som inte innehåller luftporbildande medel, och där underlaget haft dålig sugning. Mycket tyder på att olämpligt härdningsklimat varit den vanligaste orsaken i Skåne (putsning sent på säsongen), medan olämplig porstruktur är mer sannolik på Gotlandsobjekten (svagt sugande kalkstensmurar, inga luftporbildande tillsatser). Kalkputs gjord av torrbruk tycks generellt ge ett säkrare utfall än platsbyggt bruk, särskilt om torrbruket innehåller luftporbildare.

Inget av de objekt som putsats med hydrauliskt kalkbruk har visat skador, men å andra sidan är de ännu mycket få och endast några år. Man vet därför ännu inte hur de fungerar på sikt, bla som underlag för kalkmålning. Man vet heller inte om det hydrauliska brukets fuktegenskaper är lämpliga.

Ytterst få putser har man kontrollerat sluthårdnandet på under byggnadstiden, såvitt bekant i inventeringen endast på några gotlandskyrkor, och där inte på all puts.

måste även här ha varit lämpliga verktyg för rengöring. Uppenbarligen var också metoden med pikhuggning tillräcklig för att man med den tidens puts skulle få gott fäste.

Från 1800-talet och fram i våra dagar har också skvattring gjorts av lindrigt skadade putsytor. Det innebär att man med rivbräda skurade in en bruksvälling i den gamla putsytan. Sanden i bruket rev upp den gamla hårda putsytan och gav ett bättre fäste. Metoden användes både där gamla putsytan var ytligt skadad och där putsytan var för hård och tät för att ge kalkmålning gott fäste. Resultatet av vattringen blev ett tunt skikt av putsbruk ovanpå det gamla. Detta tunna skikt fick ibland inte tillräckligt fäste genom det gamla kalkfärgslagret och lossade då i stora sjok. Metoden har fått dåligt rykte, men fungerar egentligen bra om arbetet görs väl. Avgörande är hur effektivt hopskurningen görs, ett arbetskrävande moment.

Det vanligaste förfarandet i dag är antingen ilagning av skadade partier eller hel omputsning. Reglerna brukar vara hårda: all bom eller på annat sätt skadad puts huggs ner. Ur teknisk synpunkt är detta onödigt onyanserat och rigoröst. Orsaken är givetvis att man vill gardera sig på grund av att man är osäker och inte tillräckligt kunnig. Det är då så mycket enklare att ta till i överkant och man slipper alla gränsdragningsproblem. Bom kalkputs behöver sällan avlägsnas om inte bomytan är stor, kanske 0,3 m<sup>2</sup> eller mer, och putsen inte fjädrar då man trycker på den. Mager och hård puts är känsligare än kalkrik och porös. Ur kulturminnesvårdens synpunkt är den omfattande nedhuggningen mycket olycklig. Onödigt mycket "original" försvinner. Ingreppen blir onödigt stora och byggnadens historiska värde minskar för varje kvadratmeter puts som huggs ner.

### Rengöring och grundning

Som rengöringsmetod före grundning har man använt nedknackning av putsen och därefter rengöring från bruksrester, damm mm. Den klassiska metoden är att banka med stora yxan tills en tillräckligt stor yta lossar och därefter hugga med yxan eller en barkspade. På detta sätt lossnar putsen både där den varit bom och där den suttit väl fast. Banka ner putsen är därför en olämplig metod på kulturhistoriskt värdefulla byggnader som skall putsas. Resultatet brukar bli hel omputsning. För att undvika att felfria ytor lossar måste de felaktiga putsytorna först lokaliseras genom lätt knackning, utmärkas med tavelkrita (gipskrita) och avgränsas med sågsnitt. Genom att såga genom putsen med kapskiva hindrar man vibrationerna från nedknackningen att sprida sig till friska putsytor.

Rengöringen från lösa rester efter nedknackning har gjorts på olika sätt: borstning med stålborste eller piasavakvast följt av renblåsning med tryckluft eller vattenspolning med slang, sandblåstring med eller utan vattenspolning och på senare år tryckvattentvätt. Borstning är inte särskilt effektivt, sandblåstring däremot ofta onödigt effektivt. Trycktätt med rent vatten utan tillsatsmedel är ofta den lämpligaste metoden. Genom att variera avståndet mellan sprutmunstycket och underlaget kan man variera den mekaniska "brytkraften". Metoden är så kraftig att man kan fläka bort även oskadad puts om man är oförsiktig.

Den normala föreskriften är sedan att "putsen avlägsnas ända in till underlaget, varefter detta noggrant görs rent från damm och alla lösa rester, och underlaget grundas med KC 10/90/350 (KC 1:4:15)". Ur kulturminnesvårdens synpunkt är detta dubbelt olyckligt. Förutom att man effektivt avlägsnar alla rester av ett historiskt originalmaterial, den gamla putsen, täcker man underlaget med ett nytt material som gör även underlaget oåtkomligt för studier i all framtid. Grundningen av praktiskt taget rent cementbruk är starkare än alla underlag utom hård natursten och kan därför inte avlägsnas utan att underlaget, en annan del av originalet, skadas. Rengöringen har ett tek-

niskt berättigande men inte den cementrika grundningen. Cementrik grundning ger också en annan porstruktur åt väggens nya puts, vilket påverkar fukt-egenskaperna. Efter påverkan från kulturminnesvården har de två stora putsmaterialtillverkarna tagit fram ett cementsvagare grundningsbruk som man rekommenderar för tidigare kalkputsade fasader. Det har sammansättningen KC 35/65/400 (KC 1:1:6). Inte heller detta grundningsbruk kan dock avlägsnas från t ex en tegelvägg utan att teglet skadas.

Såsom framgår av tidigare avsnitt är det inte nödvändigt att ha grundningsbruk med högre cementhalt än nästa putsskikt. Gör man övriga påslag med rent kalkbruk kan i princip grundningen också göras med kalkbruk. Grundningsbrukets konsistens kan dock behöva vara mer lättflytande än följande påslag, eventuellt kan även bindemedelmängden behöva ändras. Såsom framhållits tidigare är det dock en förutsättning att grundningsskiktet får samma mekaniska styrka som följande skikt, gärna något högre, men samtidigt inte så starkt som underlaget. Eftersom luftkalkbruket sluthårdnar utifrån och in, och denna process går allt långsammare mot djupet finns det stor risk för att ett grundningsbruk av lufthårdnande kalk blir svagare än de följande påslagen. Man bör lösa detta på två sätt, antingen låter man grundningen sluthårdna före nästa påslag eller använder man hydrauliskt hårdnande grundningsbruk. Den första metoden kräver längre tid, och den andra metoden ger problem med sammansättningen. Vilket hydrauliskt bruk har motsvarande styrka och fuktegenskaper som ett rent kalkbruk? Det förefaller sannolikt att ett hydrauliskt kalkbruk med lämpligt avpassad styrka borde fungera tillfredsställande. Luftporhalten bör inte vara för hög eftersom detta kan försämra vidhäftningen. Då överskottsvattnet suges in i underlaget kan luftbubblorna samlas vid dess yta och bilda sammanhängande blåsor.

För mer krävande lagningar av medeltida kalkrik puts kan man utesluta grundningsskiktet. Man avpassar underlagets sugning, vid behov genom vattning, så att det klistriga bruket kan "spacklas på" med slevan. I detta fall är det viktigt att kontrollera att sluthårdnandet sker som det skall. Om möjligt får varje påslag sluthårdna innan nästa förs på. Ibland kräver dock putsskiktets uppbyggnad att nästa "påslag" arbetas ihop med föregående innan detta torkat helt. Detta gäller t ex underlag för dekorativ kalkmålning.

Arbetsmetod och redskap för att föra på ett grundningsbruk måste anpassas till brukets egenskaper. Kan man använda putsspruta är det i princip fördelaktigt. Lämpar sig inte brukets konsistens, klistrighet eller annat för spruta får man avpassa metoden efter det.

### Utlagning, ilagning

Gammalt murverk kan ibland vara så ojämnt på grund av skador eller annat att man behöver göra en utlagning. Djupa skador bör man mura igen, andra kan man fylla med bruk. Samma principresonemang gäl-

ler för lagningens hårdnande som för grundningen. Styrkan skall vara något mindre än murverkets och lika eller något högre än putsens. Den idealiska porstrukturen vet man inget om, men det är fördelaktigt om bruket innehåller tillräcklig mängd stora porer i förhållande till övriga så att salt och frost har expansionsutrymme. Kanske ilagningsbruket skall ha en cellstruktur liknande lättbetong. Eftersom en ilagning ligger ganska djupt under slutliga putsytan är det stor risk att ett lufthårdnande kalkbruk inte karbonatiserar ordentligt med för låg hållfasthet som följd. Hög porositet underlättar sluthårdnandet, men det är säkrare att använda ett hydrauliskt bruk med lämplig styrka. Ett väl avpassat hydrauliskt kalkbruk borde ha förutsättningar att fungera. Får lagningen lägre mekanisk styrka än putsen utanför innebär detta att putsen får otillräcklig vidhäftning över lagningen och därmed förkortad livslängd. Ballasten kan vara ganska grov, upp till 5 mm förekom förr, men påslagen bör inte vara tjockare än 3 ggr kornmax, dock högst ca 10 mm, för att undvika krympningssprickor.

### Utstockning, grovputs

Utstockningens, grovputsens, uppgift är att jämna ut underlaget för den slutliga ytputsen. Ibland behövs ingen utstockning, ibland skall utstockningen ha grov yta, ibland ganska slät. Slät, grovskurad yta är ett krav endast då man använder sena tiders tunnputsar som sista skikt, t ex en stänkputs. En spritputs kräver inte så slätt underlag, speciellt inte den äldre tjockare typen av spritputs. För äldre typ av puts kan utstockningen vara ganska grov i ytan, och det räcker med att jämna till ytan med att skrapa med slevens eller skån-skans kant, alternativt att dra av med rätskivans kant. Metod och verktyg beror på vilken historisk period man skall efterlikna.

Utstockningen skall ha samma mekaniska styrka som grundningen eller vara något svagare, men starkare än ytputsen. Liksom för lagningen vet man inte den idealiska porstrukturen, men samma principer borde gälla både för lagning och utstockning. Hög halt av stora porer i förhållande till de övriga är gynnsamt för frostbeständigheten, och gynnar även brukets karbonatisering.

Eftersom även stockningsbruket sitter ganska långt in från putsytan är det lång väg för luftens koldioxid att vandra för att omvandla ett bindemedel av lufthårdnande kalk till karbonat. Det säkraste är att låta stockningen sluthårdna före ytpåslaget eller att man använder ett hydrauliskt hårdnande bindemedel. Ett lämpligt avvägt hydrauliskt kalkbruk är tänkbart. Om man måste använda kalkcementbruk bör aldrig cementrikare blandning än KC 50/50/650 (KC 2:1:12) komma ifråga, oftast svagare. Tillsats av luftporbildande medel torde vara nödvändigt. Lufthalten i det färska bruket bör inte understiga 15–20%. Kanske är det gynnsamt med ännu högre halter (30–40%) i ett luftkalkbruk för att underlätta karbonatiseringen.

Ballastens kornstorlek kan vara ganska grov, vanligen mer än 3 mm. Det tycks vara fördelaktigt om en

del av ballasten består av krossad dolomit. Påslagens tjocklek bör inte överstiga 1 cm i bruk av normal konsistens.

### Ytputs

Den äldsta, medeltida, fasadputsens tycks vara utförd i ett enda skikt, som spacklats på och slätats till med slevan. Bruket var kalkrikt och säkerligen mycket klistrigt.

Senare tiders puts har utförts i flera påslag och bearbetats med även andra verktyg än slevan. Vi vet inte när övergången till ny teknik kom, men under 1600-talet förekom flera brukspåslag. Ytputsen på fasaden har normalt varit kalkmålad. Bästa underlag för kalkfärg är som nämnts en kalkrik puts av lufthårdnande bruk. Flertalet gamla fasadputser har också den sammansättningen.

Eftersom ytputsen har lättast att sluthårdna finns det mycket starka skäl som talar för att behålla lufthårdnande kalk som bindemedel i den, även om man valt hydrauliskt hårdnande stockning och grundning. Ytputsen blir oftast också mer intensivt bearbetad på ytan än stockningen. Det innebär att bearbetningen gärna åstadkommer en anrikning av bindemedel i putsytan. I cementhaltiga bruk är det en nackdel eftersom man då riskerar en hårdare och tätare "skorpa" på putsen. Med luftkalk som bindemedel är risken liten eftersom kalken själv svarar för stor del av porositeten.

Avgörande för ytputsens styrka och frostbeständighet är om porstrukturen är lämplig. Hög porositet och hög andel stora porer är som tidigare nämnts gynnsamt. Då underlättas karbonatiseringen och påfrestningen minskar om vatten fryser i de finare porerna. Ytputsens porositet påverkar givetvis också karbonatiseringen i underliggande putsskikt. För att säkra ytputsens höga porositet måste man tills vidare rekommendera tillsats av luftporbildande medel. Lufthalten i det färska bruket bör inte understiga 15–20%. Kanske är det en fördel om lufthalten är betydligt högre.

Ytputsens sandgradering beror mest på dess tjocklek och önskade utseende. Spritputs kräver ganska grov ballast, särskilt den spritputs som utförts under 1900-talet och sena 1800-talet. Slätputs har ofta ganska finkornig sand, ibland mycket finkornig som ren badstrandsand. Skall ytan kunna bearbetas med rivbräda får största kornstorleken vara högst en tredjedel av påslagets tjocklek. Utpräglat skarpkantad sand, såsom krossad dolomit försvårar bearbetningen, särskilt om ytan skall rivas. Stora skarpa korn rullar gärna med verktyget och ger rivsår i putsytan. Tillsats av dolomit för att höja karbonathalten i putsen och underlätta dess hårdnande bör därför göras med något mindre kornstorlek än natursandens.

### Brukssammansättning, generell princip

Vid lagning av puts är det viktigt att lagningen har samma tekniska funktionssätt och utseende som om-

liggande puts. På kulturhistoriskt värdefulla byggnader är det ännu viktigare, där har åldrandet större betydelse. Dessutom har man där kravet att materialet skall vara såvitt möjligt historiskt korrekt. I princip har man samma krav när man skall putsa om, men valfriheten är något större eftersom man inte har någon originalputs att stämma av åldrandet mot.

För att få rätt sammansättning på nya putsen måste man på något sätt analysera originalputsens egenskaper. Dels vill man ha samma tekniska egenskaper

(mekanisk styrka, porstruktur mm samt kemiska sammansättning), dels samma utseende. Hittills har det vanligaste sättet att analysera varit att bestämma sandtyp, sandkurva och bindemedelshalt samt bindemedelstyp. Samma sammansättning ger dock ingen garanti för att det nya bruket får samma tekniska egenskaper som originalet. Skälen till detta framgår av föregående avsnitt. Ännu finns dock inga andra praktiska möjligheter än att göra bruk av samma sammansättning. Utöver detta får man ta hänsyn till sådana synpunkter som redovisats tidigare i detta avsnitt.

## ANALYS OCH TESTER

Det finns en mängd olika prov och analyser som kan göras på fasadputs och fasadfärg. Alla har det gemensamt att de i princip beskriver en enda isolerad egenskap. Är provet väl konstruerat och rätt utfört blir också egenskapen korrekt beskriven. Tyvärr är detta inte alltid fallet. Dessutom saknas provningsmetoder för alla egenskaper. Utöver detta kan flera vanliga provningar inte utföras på den puts som redan sitter på en fasad. Många prov kan endast göras på laboratorietillverkade provkroppar som ofta har dimensioner som avviker från en fasadputs. Som tidigare nämnts mäter man tryckhållfasthet, draghållfasthet, böjdraghållfasthet, elasticitetsmodul, krympning mm på provkroppar med måtten 170×25×25 mm. Så tjock är ingen puts. Dessutom gjuter man dessa provkroppar i formar av metall som icke är sugande, vilket ger väsentligt annorlunda egenskaper än en puts på tex tegel. Slutligen förvaras proven under hårdnandet i en konstgjord miljö med hög fuktighet. Klimatet under hårdnandet har stor betydelse för brukets egenskaper. Optimalt klimat är olika för luftkalkbruk och cementbruk. Normenliga provningar görs med provkroppar förvarade i ett klimat gynnsamt för betong, ogynnsamt för kalkbruk. Olika normerade standardprov finns beskrivna i Svensk standard SS 13 41 11.

I "Puts- och ytskiktsproblem – vetenskap, hypoteser och praktisk erfarenhet" Sandin 1983, (15) beskrivs provningsproblematiken ytterligare samt diskuteras provningsmetodernas relevans.

Analys och prov som förberedelse för en putsrenovering brukar i allmänhet vara mycket enkla: Man tittar på putsen, knackar på den, skrapar med sin pennkniv – och ger sitt utlåtande. Ibland hackar man bort en bit för att se på brottytan. Beskrivningen låter kanske som en parodi med tanke på vad som redovisats ovan, men är dock en realitet. Ett tränat öga kan komma en bra bit på väg genom att studera en bit puts, se och knacka på fasaden. Man får en grov uppfattning av bindemedelstyp, bindemedelshalt och sandtyp. Det kan räcka i enklaste fall.

Nästa steg är att man bestämmer nämnda egenskaper

mer noggrant. Till detta fordras laboratoriearbete. Bindemedelshalt och sandkurva kan man få genom att lösa ett stycke putsbruk i saltsyra, väga och sikta resterna. Detta fordrar ett ganska stort prov, minst 0,5 kg, för att bli någorlunda korrekt.

Bindemedelstypen kan man bara få genom mikroskopanalys av tunnslipsprov. Det är mera komplicerat och därför dyrare. För sådant prov fordras endast ett litet stycke oskadad puts, ett par cm långt. Bruket impregneras med plast och man sågar ut ett tunt snitt som fästs på tunn glasplatta och slipas tills det blir mycket tunt, 0,16 mm. Genomlyst med polariserat ljus kan en geolog sedan se bindemedelstyp, karbonatiseringsgrad, bindemedelshalt, sandtyp och ungefärlig sandgradering. Man kan dessutom få en uppfattning om den grövre porstrukturen, om sprickor mm, samt ibland även om man använt tillsatsmedel såsom tegelkross och liknande.

Ovan nämnda undersökningar kan man beställa hos Statens provningsanstalt, de enklare även hos puts-materialtillverkarna.

Genom att kombinera tunnslipsgranskningen med olika kemiska egenskaper kan man beskriva bruket ytterligare. Sådant provningsmetodik används framför allt utomlands som ett hjälpmedel i byggnadsarkeologin. Mest metodisk tycks man vara i Polen inom detta område. Beskrivning av olika metoder för arkeologisk laboratoriebestämning samt jämförelse dem emellan finns publicerat i Mortars, Cement and Grouts used in the Conservation of Historical Buildings, ICCROM 1981 (30).

För kontroll av putsens egenskaper på arbetsplatsen finns en del enkla provningsmetoder. Främst finns givetvis möjligheten att väga och mäta de ingående materialen i en bruksblandning, en sak man aldrig bör försumma. Vattnets renhet kan undersökas men är sällan aktuellt. Sandens renhet kan man undersöka med en lösning av natriumhydroxid. Då får man uppgift om den är humushaltig, vilket kan vara viktigt om sanden inte levererats från en välkänd leverantör. Med siktats och väg kan man undersöka kornfördel-



## Ove Hidemark

# KALKPUTS, ETT EFTERSATT HISTORISKT FORSKNINGSSOMRÅDE

### DEN AKTUELLA SITUATIONEN

Så länge hantverkstraditionen att putsa med kalkbruk levde stark visade den upp en mängd varianter i utförandet, beroende på olika lokala traditionsbildningar, utbildade och förändrade under århundradenas gång. De fortfarande välbevarade putser av äldre datum som vi dagligen ser runtomkring oss utgör alla en intressant provkarta på regionalt och tidsmässigt varierande putstekniker. Att de fortfarande finns att betrakta visar dessutom att kalkputs är ett byggnadsmaterial som under goda förutsättningar kan ha en enastående livslängd, ett faktum som är väl värt att begrundas. Men vi vet också att kalkputs inte alltid är eller har varit bra. Den har under olämpliga förutsättningar vittrat eller lossnat från sitt underlag och den har under hand reparerats med bättre eller sämre resultat. Även dessa försök till reparationer kan så småningom avläsas som ett historiskt material, och studeras utifrån sina skiftande förutsättningar.

Om vi – i anslutning till den undersökning som redovisas i skriften "Kalkputs 1" – söker kartera resultatet av de senaste årtiondenas kalkputsningsförsök, måste vi samtidigt vara klara över att vi avläser konse-

kvenserna av ett kunskapsbrott i en gammal hantverkstradition, ett brott som blev definitivt strax efter andra världskriget och som vi ännu idag långtifrån har lyckats överbrygga. Orsakerna till detta kontinuitetsbrott är flera. I främsta ledet står kanske den inhemska cementindustriens starka utveckling under det tidiga 1900-talet, som gett oss starkare och för stunden mer praktiskt användbara material, men som i sin tur resulterat i en mindre aktsamhet ur materialekologisk aspekt. Förlängningen av byggnadssäsongen under 1940- och 50-talen till att även omfatta vintern, kanske i första hand styrd av sysselsättningstekniska skäl, är en annan orsak. Så småningom kom detta att kopplas med en sällan skådad ansvällning av främst bostadsbyggandet under 1950- och 60-talen, vilket ledde till att byggnadsverksamheten först sent, långt efter andra verksamhetsgrenar i industrisamhället, kom att industrialiseras med montage teknik och elementbyggande som följd. Materialsortimentet inom byggnadssektorn kom därigenom att styras av helt nya krav. Att det uråldriga kalkbruket här kom i kläm är knappast överraskande. Men vi får inte glömma att huvudparten av vår bebyggelse idag utgörs av äldre

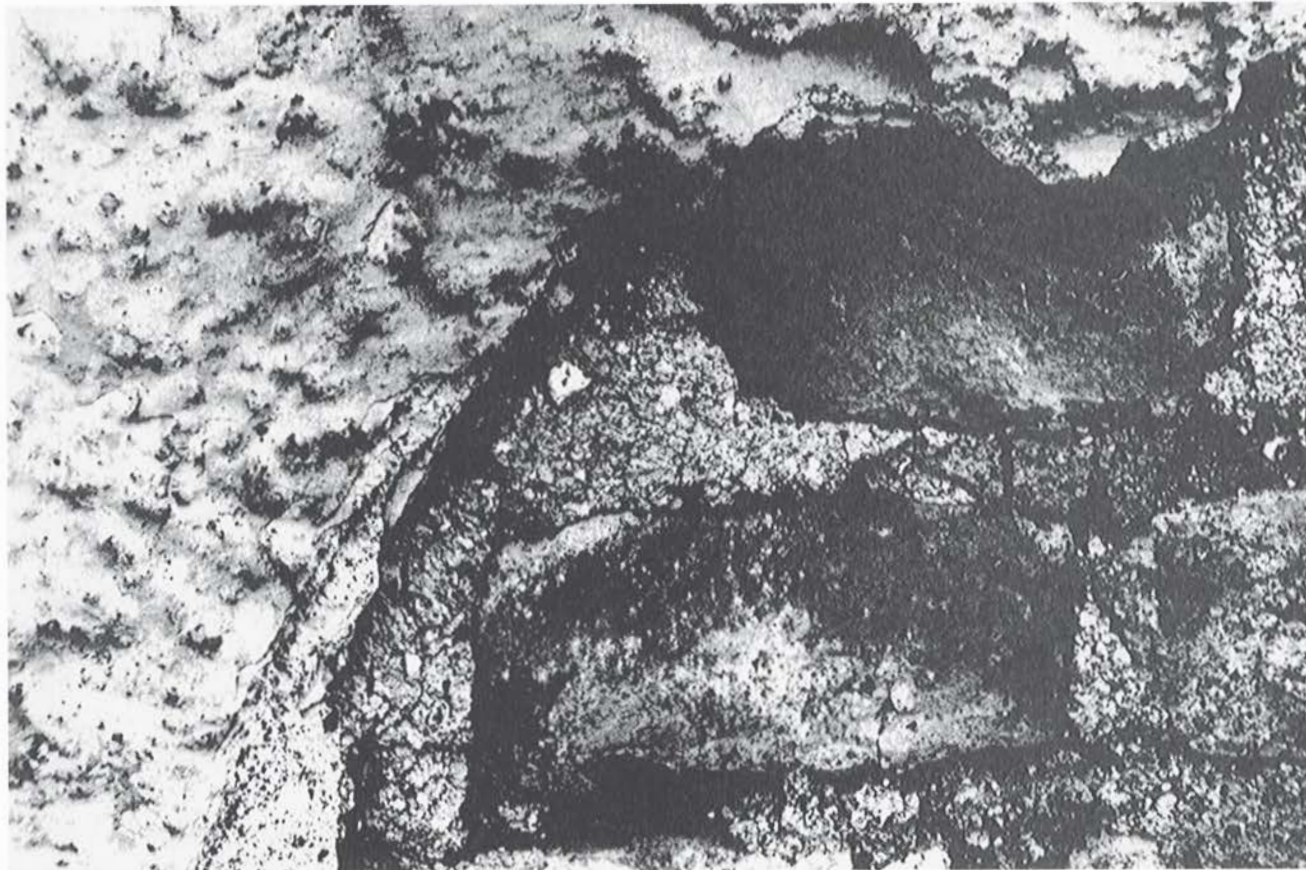


Foto 1. Putsskikt på tegelmur. Mängden kalkklumpar i murbruket och de olika putsskikten framgår tydligt. Foto 1974, Ove Hidemark.

ningen, vilket kan vara nödvändigt speciellt i de fall man skall tillsätta speciell ballast såsom tegelmjöl, krossad dolomit eller liknande.

Det färskas brukets lufthalt kan också mätas med enkla medel (graderat mätglas och sprit).

Konsistens hos bruket kan också mätas om så erfordras med hjälp av en Mo-mätare.

Klimatet under putsningstiden och framför allt under kalkbrukets hårdnande behöver man registrera. I allmänhet räcker det med SMHI:s uppgifter kompletterat med en termometer på arbetsplatsen. (Termometern bör sitta på ställningen och inte på boden!) I riktigt kinkiga fall kan man behöva registrera klimatet noggrant och man har då hjälp av en termohygrograf som skriver temperatur och fukthalt på ett diagram-papper.

Den absolut viktigaste kontrollen är karbonatiseringskontrollen. Med hjälp av några droppar fenolftalein *vet* man om kalkputsens har karbonatiserat eller ej och hur djupt processen har hunnit. Med denna kunskap kan man påverka hårdningen genom att ändra klimatet: vädra, vattna, torka, värma osv. Man behöver inte tro och gissa.

Vidhäftningen hos gammal eller ny puts kan provas direkt på väggen med Hindersons dragprov (jfr avsnittet Putsens egenskaper).

## TIDIGARE OCH PÅGÅENDE FORSKNING

I det följande redovisas tidigare och pågående forskning om putsbruk, främst kalkputs. Redovisningen ger inte anspråk på att vara komplett. Vissa forskningsinsatser redovisas utförligare bla i bilagor, eftersom de tidigare inte är publicerade. Detta gäller främst utredningar initierade av Byggnadsstyrelsen och Statens institut för byggnadsforskning.

Fram till 1930-talet forskade man obetydligt om bruk för putsning. Marknaden var intränad på kalkbruk och den putsen fungerade bra. Forskning om bruk för murning och fogning av tungt belastade murverk samt av murverk för vattenbyggnader och försvarsmurar hade dock pågått bla här i landet sedan åtminstone 1600-talet, men under 1700-talets senare del och 1800-talet blev arbetet mer och mer vetenskapligt. Hydraulisk kalk var ett resultat, portlandscementet ett annat och mycket viktigt.

Forskning kring kalk från 1930-talet och framåt har i huvudsak gällt metoder för drifts- och leveranskont-

### Kontroll av sluthårdnande (Fenolftaleinprovet)

Man kan utnyttja förhållandet att kalciumhydroxid ger en mer basisk reaktion än kalciumkarbonat.

Fenolftalein ger en skarpt röd reaktion för basiska ämnen (pH större än 9) och är ofärgat i neutral miljö.

På apoteket kan man köpa 2% fenolftalein i 95% alkohol (1 gr fenolftalein i 50 ml), lämpligen i flaska med pipettkork. Observera att alkoholen skall vara vattenfri.

Vid kontroll av putsens karbonatisering borrar man ett litet hål in till murverket med en spik, liten skruvmejsel eller dylikt. Efter att ha blåst rent hålet sprutar man försiktigt in en droppe fenolftalein i hålet. Är den yttre delen ofärgad eller rosa är den delen sluthårdnad helt eller delvis. Den skarpt röda delen är inte sluthårdnad utan fortfarande kalciumhydroxid.

Observera att putsen måste vara torr för att man skall få ovanstående reaktion. Är putsen fuktig blir den karbonatiserade delen också röd (omedelbart eller efter en liten stund) om karbonatiseringen inte är fullständig. Karbonatiseringen sker från ytan av kalciumhydroxidkristallerna varför det inre av en kristall efter en liten tid löser sig och ger röd reaktion.

Provet kan alltså göras i två steg:

Först med torrt prov.

Blir det rött är inget karbonatiserat, ingen färg anger hel eller delvis karbonatisering.

Om det *inte* blir rött, vät sedan provet med destillerat vatten. Blir det fortfarande inte rött är provet helt karbonatiserat. Blir det rött är karbonatiseringen ännu endast ytlig.

roll av den tillverkade kalken, men har också syftat till att rationalisera kalkframställningen. Efter andra världskriget förlorade successivt kalkputsens marknadsledningen till förmån för kalkcementbruket. Från 1960-talet och framåt fanns kalkputs endast i marknaden som fabriksfärdig spritputs, och all forskning koncentrerades till cementprodukter och kalkcementputser. Först från slutet av 1960-talet och framåt har forskning om kalk och kalkputs åter kommit igång, nu på initiativ från kulturminnesvården och i mycket blygsam skala. Anledningen är dels att det blivit alltmer uppenbart att kalkputs och kalkbruk i äldre byggnader inte utan vidare kan ersättas med cementhaltigt bruk, dels att den tidigare ärvda och självklara erfarenheten av kalkputs och kalkbruk gått förlorad.

Under 1930- 40- och 50-talen var Sven Nycander mycket engagerad i putsfrågor och skrev ett stort antal artiklar och skrifter. Nycander var övertygad om betongteorins tillämplighet på puts och strävade

liksom alla andra att öka den mekaniska styrkan i putsen. Han pläderade också för en intensiv bearbetning för att få god bearbetbarhet och plasticitet. Nycander införde den piskande snabb-blandaren, aktivatorn. Svenska cementföreningen gav ut ett antal handböcker och skrifter under 1940- och 50-talet med Bärner som författare. De blev normbildande och byggde bl a på Nycanders arbeten. Fil dr Tor Hagerman, fortfarande mycket aktiv, var en av de ledande vetenskapsmännen under 1930- 40- och 50-talen. Hagermans konsultationsbyrå, senare Hagconsult, utarbetade provningsmetoder för både kalk och cement som bindemedel och stod på så sätt bakom de dåtida "Kalkbestämmelserna", vilka i princip fortfarande används (22–24). Under 1950-talet utförde Gerard Hinderson ett omfattande forskningsarbete om kalkputs och kalkcementputs, för att komma tillrätta med de omfattande putsnedfall som förekom framför allt på putsad betong inomhus. Han var en av de få som vid sina undersökningar tog hänsyn till att kalkbruk kräver andra lagringsbetingelser under laboratorieproven än betong. Hans rapport "Kalk- och kalkcementbruk. Invändig puts på betong" (14) innehåller mycket information aktuell än idag.

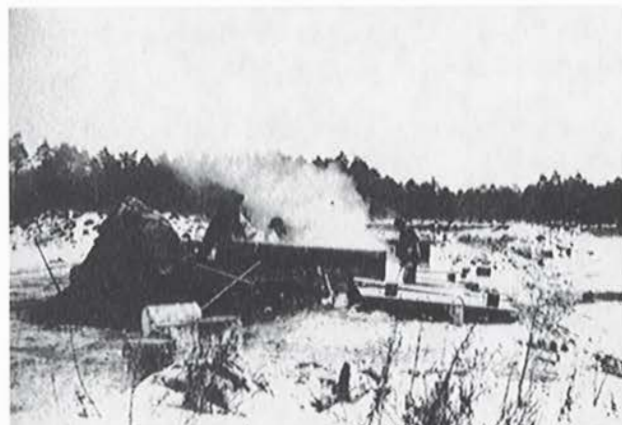


Foto 25. Släckningslave och bassäng vid kalklagret i Visby.  
Foto 1965, Ingmar Holmström.

Puts- och murbrukslaboratoriet (inom Cementakornen) i Malmö gjorde under 1950- och 60-talet en rad undersökningar på mur- och putsbruk. Bl a studerade man vilka faktorer som påverkade vidhäftningen. Detta ledde bl a fram till att särskilda grundningsbruk introducerades (Signalbruk, Rödgrund m fl), som var bindemedelsrika, cementstarka och hade lättflytande konsistens.

År 1966 publicerades handboken "Bruk Murning Putsning" (21) av en nordisk arbetsgrupp bestående av Henry Dührkop (Danmark), Vitold Sarotek (Sverige), Tenho Sneck (Finland) och Sven D Svendsen (Norge), samtliga forskare i respektive land. Skriften är mycket omfattande och har fungerat som ett standardverk inom området. Kalkputs behandlas dock mycket styvmoderligt. Över huvud taget ägnas renoivering och lagning av befintlig puts och murverk litet utrymme i skriften.

I början av 1960-talet uppmärksammades Byggnadsstyrelsen och Riksantikvarieämbetet av konservatorn Erik Olsson, Gotland, på det dåliga tekniska utfallet av samtida restaureringsarbeten. Under tecknad, Holmström, fick i uppdrag av Byggnadsstyrelsen att utreda frågan och komma med förslag till åtgärder. Främst gällde utredningen Gotlandskyrkor men en särskild utredning gjordes också om 1500-talsputsen på Kalmar slotts inre borggård. Användningen av cementhaltiga bruk för murning och putsning påvisades ge skador och oönskade bieffekter. Samtidigt kunde man konstatera att det var mycket svårt att få samma kvalitet och hållfasthet på kalkbruket som man hade förr. Vi antog att orsaken i första hand var att bindemedlet, kalken, hade förändrats till det sämre sedan den industriella tillverkningen tagit över. För konservatorsarbeten med dekorativa kalkmålningar och medeltida puts var det lätt att konstatera att den torrsläckta puderkalk som fanns på marknaden var klart underlägsen den gamla våtsläckta kalkdeg som fortfarande fanns i små restlager.

Inför den planerade restaureringen av borggårdsputsen i Kalmar stödde Byggnadsstyrelsen en nytillverk-



Foto 26. Arbetsstyrkan vid kalklagret i Visby.  
Foto 1965, Ingmar Holmström.

ning av våtsläckt kalk 1965 på Gotland, se foto 25, 26. På sensommaren 1966 gjorde jag praktiska försök på Kalmar slott att rekonstruera 1500-talsputsen. Analyser som gjordes 1965 av bl a Statens provningsanstalt och av Puts- och murbrukslaboratoriet i Malmö visade att det ursprungliga putsbruket hade en sammansättning varierande mellan K4:1 och K1:1 med tyngdpunkt på den förstnämnda, se foto 27. Sanden konstaterades vara identisk med sandtagets i södra Sandby, fortfarande huvudleverantör av sand i Kalmartrakten. Putsen hade lagats och kompletterats kring 1930 under ledning av friksantikvarien Martin Olsson. Lagningsbruket hade sammansättningen K1:2 – K1:3 dvs ett mycket bindemedelsrikt kalkbruk, dock betydligt kalkfattigare än det extremt kalkrika K4:1. Putsläggningarna hade följdriktigt åldrats på ett annat sätt än originalet. Hållfastheten var sämre och utseendet skilde sig väsentligt från originalet. Lagningen var betydligt mörkare beroende på den högre andelen

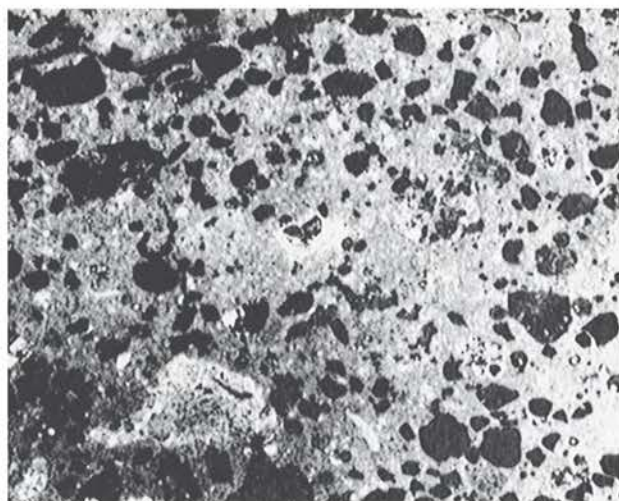


Foto 27. Slipprov (förstoring 10×) från äldre dekorerad puts, sannolikt från 1500-talet. Kalmar slott, inre borggården, västra fasaden. Foto 1965, Puts- och murbrukslaboratoriet i Malmö.

sandkorn i den vittrade ytan, se foto 28, 29. Försöken sommaren 1966 koncentrerades på att prova olika kalksorter, olika blandningsmetoder, samt möjliga tillsatser av kalkmaterial för att minska bindemedelshalten. Redan utan försök visste man att det stora problemet skulle bli krympningen.

Fyra kalkstenssorter provades:

- |              |   |
|--------------|---|
| Kronkalk M   | (vanliga kvaliteten torrsläckt, blötlagd 1 vecka).              |
| Kronkalk T   | (teknisk kvalitet, torrsläckt, blötlagd 1 vecka).               |
| Gotlandskalk | (specialtillverkad, våtsläckt, och lagrad sedan november 1965). |
| Oaxenkalk    | (våtsläckt (?) och lagrad drygt 20 år).                         |

Med bruk av enbart kalkdeg och sand kunde, med de arbetsmetoder som användes, krympningen inte bemästras. Egenskaperna hos de olika bruksblandningarna skilde sig dock starkt mellan de olika kalksorterna. Av de provade tillsatserna (marmorsand, marmormjöl, krita, råmjöl från cementtillverkning och finmald kalksten) gav endast fin marmorsand och i någon mån krita någon minskad krympning utan att försämra bearbetbarhet m m. Tillredning med tvångsblandare, med elvisp eller för hand hade ingen avgörande inverkan. Lång bearbetningstid gav mycket sega och klistriga bruk ("sandspackel") men med ökad krympning. Bruket blev så klistrigt att det inte kunde slås på utan måste bredas på, spacklas fast, med slevan.

Resultatet av försöken blev att ingen av de provade varianterna kunde direkt användas för en kommande renovering av putsen. Krympningen var för stor. Hela slutrapporten finns i begränsad upplaga på Riksantikvarieämbetet. Slutrapportens sammanfattning redovisas i bilaga I.

Den mer vittomfattande utredningen om Gotlandskyrkornas restaurering åt Byggnadsstyrelsens kultur-



Foto 28. Slipprov (förstoring 10×) från putsilagning utförd omkring 1930. Kalmar slott, inre borggården, norra fasaden. Foto 1965, Puts- och murbrukslaboratoriet i Malmö.

minnesbyrå hade fortsatt parallellt och arbetsmaterialet överlämnades 1966. På uppdrag av tidskriften Byggmästaren skrev jag några artiklar om restaureringsfrågor, bl a puts- och murbruk. Artiklarna sammanställdes senare av Byggeforskningen till Rapport 23/1967 "Restaurering av gamla byggnader ur främst teknisk och antikvarisk synvinkel" (25).

Samma år artiklarna publicerades, 1967, beslöt Statens institut för byggnadsforskning, SIB, att inrätta en ny forskningsgrupp för kulturminnesvård, senare benämnd Renoveringsteknik. Under tecknad, Holmström, anställdes som chef för gruppen. Till forskningsgruppen knöts en rådgivande referensgrupp med representanter för förvaltare, kulturminnesvården, materialtillverkare, AMS, högskoleforskningen, undervisning m fl.

Putsfrågan prioriterades där mycket högt. SIB gav 1970 Tor Hagerman på Hagconsult AB i uppdrag att utreda möjligheterna att åter kunna göra rena kalkbruk av god hållfasthet och med de medeltida kalkrika blandningarna. I huvudsak omfattade undersökningen tre huvudavsnitt, dels analys av ett 30-tal medeltida puts- och fogbruk, främst från Gotlandskyrkor, dels analys (bl a mikroskopisk) av olika kalktyper samt dels försök att rekonstruera feta kalkbruk.

Analysen av de medeltida kalkbruken omfattade bl a granskning av tunnslip i mikroskop. Hagconsult fann då att samtliga kalkbruk innehöll inte bara sand som ballast utan även härdnade korn och klumpar av kalk. Dessa härdnade klumpar hade inte upptäckts vid tidigare analyser för bl a Kalmar slott. Upptäckten var viktig eftersom det innebar att de medeltida bruken var endast skenbart bindemedelsrika. En del av kalken var bindemedel, en annan del fungerade som ballast i det färska bruket. Andelen klumpar av kalk varierade i de undersökta bruken mellan 5 och 50 procent men låg i allmänhet kring 10 à 20 procent, se foto 30. Undersökningarna gav dock inget svar på hur dessa kalkklumpar hade uppstått, om de var medve-



Foto 29. Kalmar slott, inre borggården, norra fasaden. De ljusa partierna är den kalkrika originalputsen från 1500-talet och de mörka är den mer normalt kalkfattiga ilagningsputsen från 1930-talet. Foto 1965, Ingmar Holmström.

tet tillsatta bruket eller resultatet av "slarv".

Analysen av olika kalksorter utfördes främst genom elektronmikroskop. Tretton olika kalkprov analyserades. Främst sökte man klarlägga inverkan av släck-

ningsmetoden (torrsläckning resp våtsläckning) och av lagringstiden. Någon tydlig skillnad kunde inte konstateras utöver att våtsläckning i olika former gav en betydligt finkornigare kalk än torrsläckning samt att kristallagglomerationerna ofta liknande nålar eller

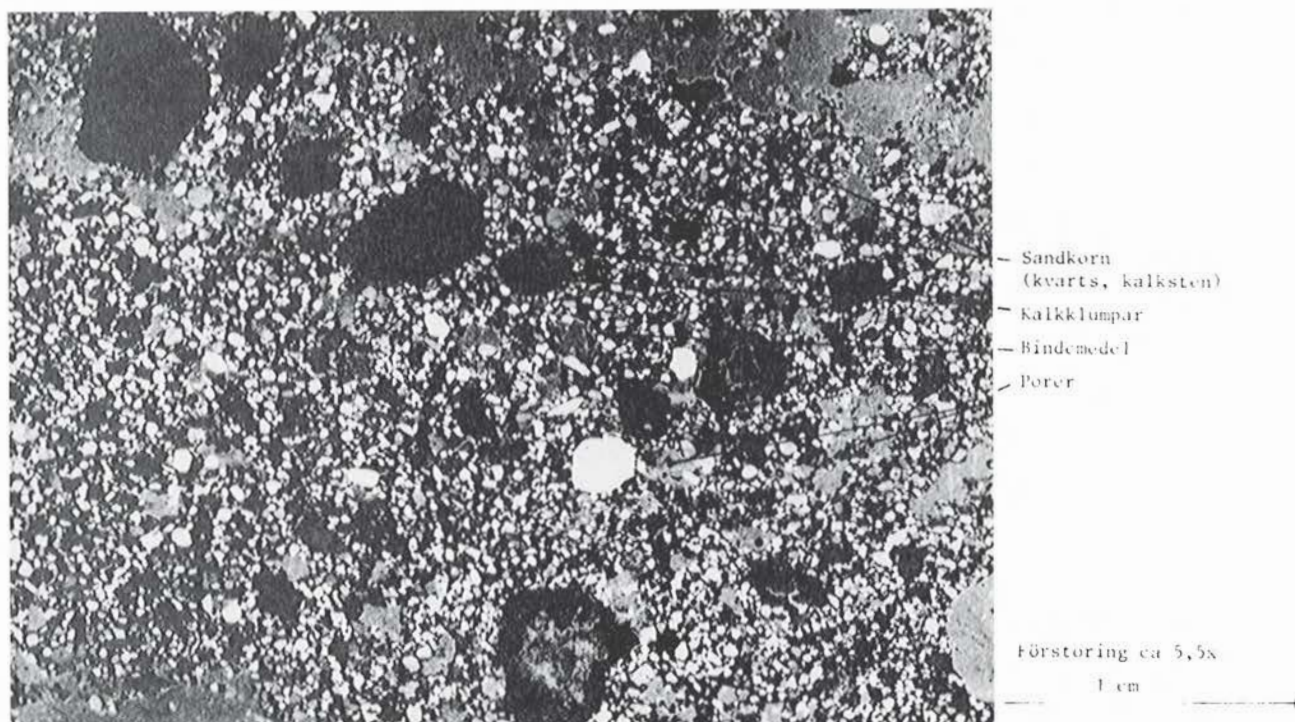


Foto 30. Slipprov av medeltida fogbruk från Hejdeby kyrka. Foto 1970, Hagconsult AB.

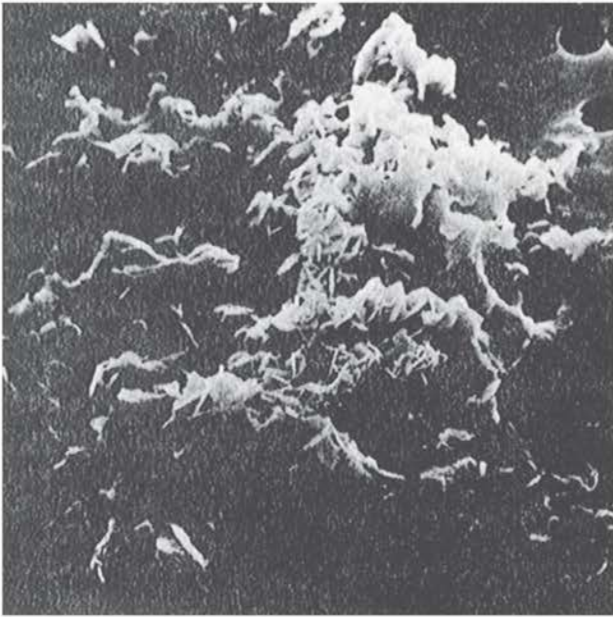


Foto 31. Kalk från Hejnum (förstoring 5000×). Lagringstid: 2 år. Lagringssätt: markgrav. Släckning: våtsläckt.  
Foto 1970, Hagconsult AB.

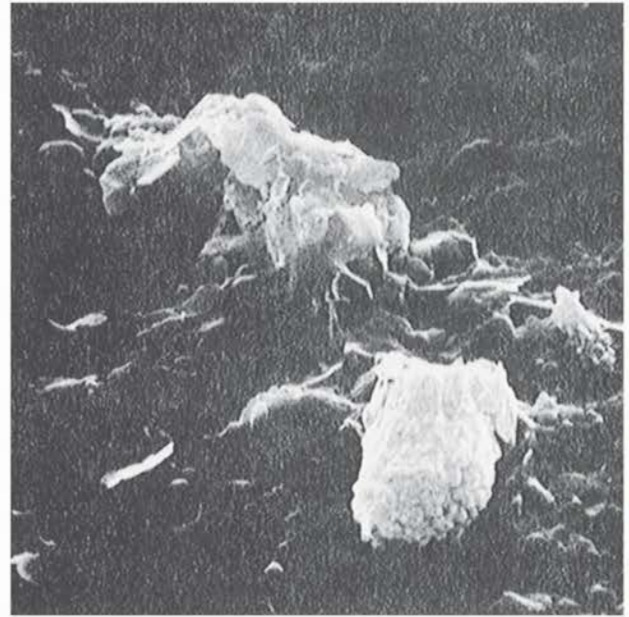


Foto 32. Oaxenkalk (förstoring 5000×). Lagringstid: 20 år. Lagringssätt: markgrav. Släckning: våtsläckt.  
Foto 1970, Hagconsult AB.

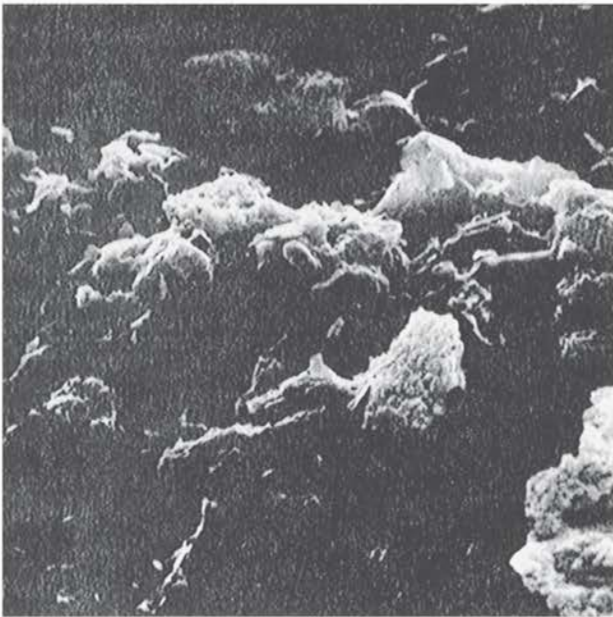


Foto 33. Kronkalk M (förtoring 5000×). Lagringstid: 1 vecka. Lagringssätt: vattenlagring. Släckning: torrsläckt.  
Foto 1970, Hagconsult AB.

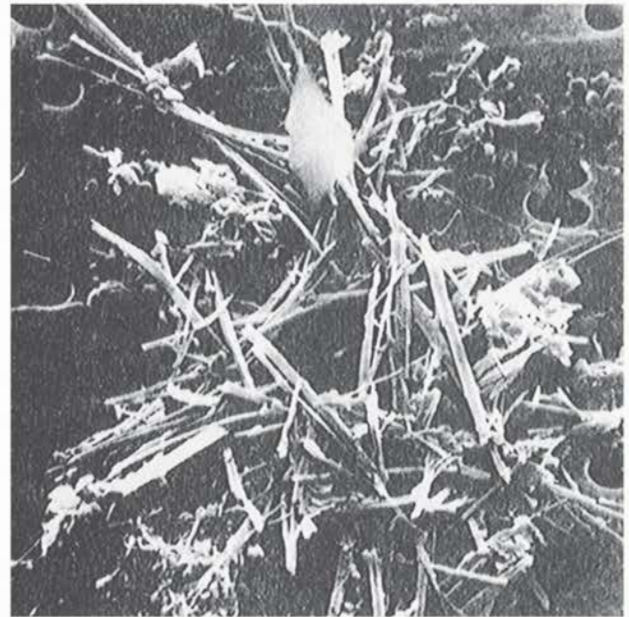


Foto 34. Kalk från Fårö (förstoring 5000×). Lagringstid: 30 år. Lagringssätt: ovan mark. Släckning: våtsläckt.  
Foto 1970, Hagconsult AB.

tunna skivor "fiskfjäll" i den våtsläckta kalken. Lagringstiden tycktes öka finkornigheten hos kalkdeg, se foto 31–34.

Partiklarnas form förklarar bl a skillnaden i bearbetbarhet m m mellan våtsläckt och torrsläckt kalk. Den torrsläckta kalkens "korta" konsistens beror på de stora, ojämna partiklarna medan den våtsläckta kalkens smidiga lättarbetade konsistens förklaras av de små partiklarna med dess släta mer väldefinierade form, en egenskap som anses bli mer tydlig med ökad lagringstid. Den våtsläckta kalkens närmast tixotropa egenskaper beror också på att partiklarna vid omrörning orienterar sig så att goda parallella vattensmorda

glidytor uppstår. Rimligtvis bör kalkpartiklarnas skilda egenskaper även påverka både det färska och det hårdnade putsbruket.

Hagconsults försök att rekonstruera de medeltida feta kalkbruket misslyckades i huvudsak. Man lyckades inte bemästra krympningen. Inte heller blev brukens hållfasthet alltid fullgod. Två bindemedelshalter provades, nämligen en serie med 1 volymdel kalkdeg och 2 delar sand, en annan med lika volymdelar. Genom tillsats av konstgjorda kalkklumpar i storlek som den grövre sanden sökte man också öka brukets kalkhalt i en del fall. I samma syfte gjordes vissa prov med tillsats av krita. Man använde två sandsorter och

fyra kalksorter (våtsläckt, jordsläckt och stukasläckt kalkdeg från AMS samt en luftsläckt kalk). En mängd olika egenskaper registrerades hos det färska bruket bl a klistriighet och konsistens. Bruken påfördes av en erfaren murare, David Simander, på underlag av krysshamrade kalkstensplattor. Två behandlingar av ytan utfördes: avdragen med slevens kant och slätad med slevan. Proven lagrades i huvudsak i 50 procent relativ fuktighet och +10 à 15°C temperatur. Försöken avslutades 1972. Fortsatta försök diskuterades men ingen visste då i vilken riktning man skulle söka lösningen. Praktiska prov fortsatte dock på AMS gotlandsrestaureringar. Hagconsults slutrapport redovisas som bilaga 2. Hela rapporten finns i begränsad upplaga på Riksantikvarieämbetet. Forskningsgruppen Renoveringsteknik på SIB upplöstes 1975 när institutet utlokaliseras till Gävle. Undertecknad, Holmström, och allt arbetsmaterial överfördes till Riksantikvarieämbetet.

I början av 1960-talet och under påverkan av Byggnadsstyrelsens utredning om Gotlandskyrkorna hade Arbetsmarknadsstyrelsen funnit att kyrkorestaureringar skulle ge ett nödvändigt tillskott till sysselsättning på Gotland. Ett särskilt platskontor startades under ledning av David Simander, erfaren murare och arbetsledare. Som komplement till övrig verksamhet började man en regelbunden tillverkning av våtsläckt och jordsläckt kalkdeg bränd i vedeldad kalkugn. Jag blev engagerad som konsult.

All puts och avfärgning utfördes med denna "restaureringskalk". Man siktade oftast på en brukssammansättning på K1:2 till K1:2,5 men på grund av arbetskraften blev den ofta sannolikt närmare K1:4. Kalktillverkningen och putstekniken fick dock möjlighet att utvecklas praktiskt under flera år tills behovet av beredningsarbeten minskade under de första åren av 1970-talet då verksamheten fick fortsätta på en betydligt lägre nivå. Denna praktiska verksamhet i AMS egen regi har hela tiden haft ett informellt men nära samarbete med de mer teoretiska utredningar som bekostades av Byggnadsstyrelsen och SIB.

Putsforskning under senare år har mig veterligt endast bedrivits av Kenneth Sandin på Lunds tekniska högskola, LTH. De första åren inriktades på kartläggning av fuktbalansen i putsade fasader. Försöken har redovisats i "Putsens inverkan på fasadens fuktbalans" (9). En del slutsatser av denna epokgörande, omfattande och grundläggande laboratorieundersökning har kritiserats av praktiskt verksamma putsfackmän. Utpräglat finporös puts liksom organisk färg har inte utfallit lika positivt som i laboratoriet.

Arbetet har fortsatt och inriktats på probleminventering och på mekaniska egenskaper hos putsen, såsom vidhäftning. Det förstnämnda har redovisats i "Puts- och ytskiktsproblem – Vetenskap, hypoteser och praktisk erfarenhet." (15)

Skrifter om puts har också författats av Vitold Sarotok, bl a "Underhåll och reparation av putsade och

oputsade murverksfasader" (27) samt "Ytskikt på betongytter, murytter och liknande" (28). Renovering av gamla kalkputsade fasader är dock styvmoderligt behandlade.

Inventering och kartläggning av putsade och målade fasaders åldrande pågår under ledning av Elvy Engelbrektsson på Stockholms stadsbyggnadskontor. Inventeringen har begränsats till Stockholms innerstad.

En epokgörande hypotes om saltvittring (29) har publicerats av Josef Pühringer i samarbete med Perander på VTT år 1983. Den kommer att få stor betydelse även för putsrenovering.

I de övriga nordiska länderna har egentlig forskning endast gjorts vid VTT i Finland av främst Thorborg Perander, huvudsakligen på uppdrag av Museiverket och Finlands akademi. Slutrapport är under utarbetande. Arbetet har inriktats på analys av medeltida kalkbruk samt rekonstruktion av dessa, alltså en fortsättning på Hagconsults undersökningar. Undersökningarna har bl a inriktats på brukens porstruktur. En hög luftporhalt har påvisats ge säkrare karbonatisering hos ett lufthårdnande kalkbruk. Den ökar också brukets elasticitet, böjdraghållfasthet och frostbeständighet samtidigt som krympningen minskar något. Arbetet har bedrivits i nära kontakt med undertecknad och med Sandin.

I slutet av 1960-talet utförde VTT en omfattande inventering av skador på putsade och målade fasader på uppdrag av den finska färgindustrin. Slutsatserna, såsom de publicerades, var dock vaga och ganska svårtolkade. Tränger man in i hela texten blir bilden dock tydligt negativ för de organiska fasadfärgerna.

I Danmark har den egentliga forskningen om kalkputs varit obetydlig. Däremot har mängder av praktiska erfarenheter vunnits sedan man åter satsat på lagrad kalkdeg, "kulekalk" för restaureringsarbeten. Till att börja med importerades AMS Restaureringskalk, men sedan några år har man egen tillverkning. Drivande kraft har varit Curt v Jessen på Kunstakademiets arkitektskole.

I Norge har ingen nämnvärd forskning bedrivits men praktiska erfarenheter av olika kalkputser för restaurering har främst erhållits vid Riksantikvaren. Drivande kraft har varit Arne Madsen.

Internationellt har problemet börjat uppmärksammas, men Skandinavien ligger långt framme. Ett tecken på detta är att undertecknad Holmström sedan 1975 anlitats som lärare i putsrenovering vid UNESCOs skola ICCROM i Rom. Samtidigt bedrivs viss forskning om kalkbruk vid ICCROM, under ledning av Giorgio Torraca. I huvudsak har man inriktat sig på bruk för injektering och för lagning av dekorativa kalkmålningar. Den internationella situationen avspeglar sig ganska väl i rapporten från en konferens om "Mortars, Cements and Grouts used in the Conservation of Historic Buildings" (30) som hölls på ICCROM år 1981.

## FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGSBEHOV

Grundproblemet är att vi behöver kalkbruk för både putsning, fogning och lagning men att vi inte *behärskar* tekniken. Resultatet varierar oacceptabelt mycket och blir ibland rent dåligt, även om flertalet arbeten fungerar tillfredsställande. Vi kan inte *styra* resultatet som vi skulle behöva.

Vi vet också att marknadens "ordinarie" brukstyper och arbetsmetoder ger puts och bruk med oacceptabelt avvikande egenskaper. De är bl a "för hårda" och "för täta".

Det andra grundproblemet är att vi inte kan beskriva egenskaperna varken hos den gamla putsen, fogningen mm med relevanta siffror. Vi har fö inga relevanta beskrivningar på de nya produkterna heller. Det duger inte att säga "för tätt" även om det är sant. Vi måste kunna säga *hur mycket* och *på vad sätt*. Vi måste kunna specificera i tekniska termer, i siffror.

Problemet med avsaknad av relevanta data är *inte* unikt för kulturminnesvården. Det gäller hela byggbranschen, men det är bara kulturminnesvården som har ansett bristen vara oacceptabel. Ännu. Orsaken till detta är sannolikt att man i branschen som helhet ännu inte konfronterats på allvar med renoveringsproblematiken. Behovet och problemen finns där redan men är dolda för de flesta.

Det är genant att vi inte kan beskriva den *färdiga putsens* egenskaper i tekniska termer, klä den i siffror. Vi *måste* kunna korrekt och tillräckligt exakt beskriva den färdiga putsens egenskaper, både den gamla putsens och de nya produkterna. Det är därför nödvändigt att utveckla provningsmetoder för detta. Först då kan vi beskriva den puts vi vill ha för t ex lagning och även kontrollera om resultatet, lagningen blev korrekt.

Provningsmetoderna är alltså grunden för att komma vidare. Vi måste kunna beskriva de *mekaniska egenskaperna* (hållfasthet mm) liksom de *fukttekniska*. Vi måste också utveckla provtagningsmetoder så att vi kan få provstycken med representativa egenskaper. Dessa provstycken kommer med nödvändighet att vara betydligt mindre än de hittillsvarande som tillverkats i laboratoriet. Mindre provkroppar innebär också modifierade eller helt nya provningsmetoder. Vi behöver också skaffa oss omräkningsfaktorer mellan de gamla laboratorieprovns data och de nya.

Med de nya relevanta siffrorna i handen kan vi jämföra olika produkter, modifiera dem som finns på marknaden och vid behov även *konstruera* nya.

Med relevanta provningsmetoder kan vi också med betydligt större framgång studera t ex de hittills ofull-

ständigt kända kemisk/fysikaliska processerna som påverkar sluthårdnandet (karbonatiseringen) i luftkalkbruk. Vi kan även studera och kontrollera de processer och faktorer som t ex påverkar porstrukturen.

Man kan således särskilja några angelägna forsknings- och utvecklingsuppgifter.

1. Utveckla provningsmetoder för färdig puts, fogning mm, dvs egenskaperna hos det som sitter på väggen.
2. Insamling av relevanta data om gammal puts liksom av senare tiders samt av marknadens olika produkter.
3. Studera luftkalkbrukets sluthårdnande. Vilka processer är det frågan om och hur påverkar man dem i praktiken på en byggsplats?
4. Studera porstrukturen i olika typer av bruk och hur den kan påverkas i praktiken.
5. Studera de mekaniska egenskaperna, främst hållfastheten i olika typer av bruk och hur den kan påverkas i praktiken.
6. Fortsatt studium av fuktbalansen i putsade (och målade) fasader. Samverkan mellan färg, puts, mur dvs mellan skikt med olika porstruktur.
7. Vid behov utveckling av nya puts- och murbrukstyper för kulturminnesvårdens behov.

Givetvis behöver man också studera samverkan mellan olika faktorer bl a punkt 3, 4 och 5 ovan.

Det vore också önskvärt att de olika nedbrytningsprocesserna i puts och i murverk studerades. Vilken inverkan har luftföroreningar och annat? Hur fungerar saltvittring? Kan man påverka och i så fall hur?

Forsknings- och utvecklingsarbetet kommer att kräva att sakkunniga inom olika områden samarbetar. Kunskapen är uppdelad och även spridd på flera personer samtidigt som de ekonomiska resurserna är begränsade. Ett organiserat nordiskt samarbete mellan de tekniska forskare som är etablerade inom området är nödvändigt, liksom ett komplement med de teknikhistoriker och praktiskt verksamma som är engagerade i dessa frågor i Norden. Även ett internationellt samarbete kan leda till snabbare lösning av vissa problem. Ett informellt samarbete av skisserat slag har sporadiskt utförts och har givit mycket goda resultat.



## KÄLLFÖRTECKNING

- ( 1) Lag den 9 dec 1960 nr 890 om byggnadsminnen (1976 nr 441).
- ( 2) Kungörelse den 26 nov 1920 (nr 744) med föreskrifter rörande det offentliga byggnadsväsendet.
- ( 3) "Carta Venezia. International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites" II:d International Congress of the Architects and Technicians of Historical Monuments. Venedig 1964.
- ( 4) Holmström, Ingmar. "Maintenance of historic buildings" CIB Congress 1983 Proceedings. Statens institut för byggnadsforskning. Gävle 1983. (Svenskt särtryck: "Underhåll av historiska byggnader", Riksantikvarieämbetet. Stockholm 1983).
- ( 5) Bildmark, Knut. "Underhållskostnader för hyresfastigheter i Stockholm", Statens nämnd för byggnadsforskning. Meddelande nr 24. Stockholm 1954.
- ( 6) Bildmark, Knut. "Byggnadskonstens uppskattade ekonomiska varaktighet och tidsintervaller för underhåll." Statens råd för byggnadsforskning. Särtryck 6:1962.
- ( 7) Handboken Bygg, kapitel 624 "Underhåll av husbyggnader", Byggmästarens förlag. Stockholm 1964.
- ( 8) Falk, C. "Sammandrag af försöksresultater vedrørende kalklags holdbarhed på indvendigt murverk". 4:e nordiska murverkssymposiet. Statens tekniska forskningscentral. Pesbo 1982. Finland.
- ( 9) Sandin, Kenneth. "Putsens inverkan på fasadens fuktbalans", Tekniska högskolan i Lund. Avdelningen för byggnadsmateriallära. Huvudrapport och delrapport I-VIII. Lund 1980.
- (10) "Kalkfärg på fasad". Byggnadsforskningens informationsblad B4:1979. Stockholm 1979.
- (11) Vahanen, Risto. Rappauslaastit historiallisten kohteiden restauroinnissa (Putsbruk för restaurering av historiska objekt). Helsingfors Tekniska Högskola, Byggnadsing. avdelningen. Helsingfors 1983 (stencil).
- (12) Ton industrie Zeitung 92 (1968) nr 1. Tyskland.
- (13) Hagerman, Tor. "Undersökning av antika putsbruk". Hagconsult uppdrag 2229/70. Delrapport 5, april 1971. Statens institut för byggnadsforskning 1971. Opublicerad.
- (14) Hindersson, Gerard. "Kalk – och kalkcementbruk. Invändig puts på betong". Rapport nr 46. Statens nämnd för byggnadsforskning Stockholm 1958.
- (15) Sandin, Kenneth. "Puts- och ytsiktsproblem – vetenskap, hypoteser och praktisk erfarenhet. Rapport TVBM – 30/3 Lunds tekniska högskola. Lund 1983.
- (16) Cementas handbok för byggare. Cementa byggprodukter. Malmö 1982.
- (17) Fagerlund, Göran. "Kritiska vattenmättnadsgrader i samband med frysning av porösa och spröda material", Tekniska högskolan i Lund. Institutionen för byggnadsteknik. Rapport nr 34. Lund 1972.
- (18) Torraca, Giorgio. "Porous Building Materials. Materials science for architectural conservation". International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property (ICCROM), Rome 1981.
- (19) Fagerlund, Göran. "Puzzolaner i betong". Cementa nr 1983:2 årg 9 sid 28–33.
- (20) "Hus AMA 72. Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten". Byggandets samordning. Stockholm 1972.  
Till den hör även:  
"Hus AMA 72. Råd och anvisningar". Byggnadets samordning. Stockholm 1972  
"RA 78 Hus. Bya Råd och anvisningar till Hus AMA 72". AB Svensk Byggtjänst. Stockholm 1979.
- (21) Dührkop, Henry; Saretok, Vitold; Sneck, Tenko; Svendsen, Sven D; "Bruk, murning, putsning". Statens råd för byggnadsforskning. Handbok nr 1. Stockholm 1966.
- (22) Hagerman, T. "Svenska kalksorter. Råmaterial, tillverkning samt provning för byggnadsändamål". IVA Handl nr 191. Stockholm 1946.
- (23) Hagerman, T; Roosaar, H. "Metoder för undersökning av kalk och bruk." Meddelande 6. Särtryck ur Teknisk Tidskrift häfte 34. Norrköping 1952.
- (24) Hagerman, T; Roosaar, H. "Om strukturen hos några putsbruk." Meddelande 5. Särtryck ur Byggmästaren, Stockholm 1952
- (25) Holmström, I; Andersson, I. "Restaurering av gamla byggnader ur främst teknisk och antikvarisk synvinkel" (Särtryck ur tidskriften Byggmästaren 12:1966 och 1:1967). Rapport 23/1967. Statens institut för byggnadsforskning. Stockholm 1967.
- (26) Czernin, W. "Cementkemi för byggare." Svenska Cementföreningen. Malmö 1969.
- (27) Saretok, V. "Underhåll och reparation av putsade och omputsade murverksfasader." Rapport 1976:14, Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm 1976.
- (28) Saretok, V. "Ytskikt på betongytor, murytor och liknande." Rapport 9. Svensk Byggtjänst. Stockholm 1982.
- (29) Pühringer, J. "Saltvittring. Saltvandring och saltnedbrytning – en kopia." Rapport R22:1983. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm 1983.
- (30) "Mortars, Cement and Grouts used in the Conservations of Historical Buildings". Symposium 3–6 11 1981, Rome.  
International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property (ICCROM) Rome 1982.

## SUMMARY

When older buildings of cultural and historical value are to be replastered and painted, it is important to continue using materials the same as the original materials. In earlier times, building facades were always plastered with lime-plaster and painted with lime-wash. After the second world war, however, plastering techniques changed and knowledge of the older methods began to disappear. Consequently, there is now a lack of knowledge on methods of renovation of limeplastered buildings. This publication, "Kalkputs 2", is the second interim report on a project which aims to improve knowledge of the materials and methods that should be used in the care of buildings of cultural and historical interest.

The first stage of the project was to make an inventory of 220 examples of lime-plastering and lime-washing work carried out in Sweden during the years 1960 to 1980. This inventory, which was reported in the publication "Kalkputs 1", was mainly concerned with the durability of the work. Since the work was on buildings of historical interest, it was also noted that these buildings provide evidence of earlier building techniques in which lime played an important part. The studies showed that lime-plastering and lime-washing, as in the past, are possible techniques in appropriate situations, but that there is a clear need for research and development work on both the technical and historical aspects.

"Kalkputs 2" is based on the experience gained in the earlier study. The object is to explain, in principle, the basis for replastering of buildings of cultural and historical interest and at the same time to report on

present-day knowledge and the need for research.

A historical review provides information on the materials and crafts that formed the background to plastering in earlier times. It also includes comments on the availability of limestone, how limestone was evaluated, burned and slaked; also included are the requirements on quality of lime plaster, how it is prepared and how it is applied to the wall.

Procedures for, and objectives of, the historical research are presented, together with a review of the sources – mainly older building technique literature – that are available in this field.

A technical assessment is made, based on the historical preservation aspects and on certain basic technical matters. This includes a review of the technical function of the plaster and its interaction with the substrate, the technical processes involved in manufacture of lime, the mechanism of hardening of lime-plaster, and the difficulties of providing suitable data on the strength and moisture properties of the plaster. The more general requirements on the properties of the plaster are specified; for example, that it must have a reasonable durability and must not cause damage to the substrate as it ages or is renewed. A follow-up analysis indicates the principles of formulation of the plaster in order to meet these requirements. A summary is given of the plastering work that has been carried out in Sweden since the 1930s and comments are made on the technical research that is now considered to be important.

hus, uppförda enligt äldre tekniska principer och materialförutsättningar. Denna överväldigande bebyggelsemassa behöver ständigt repareras och här uppstår lätt starka konflikter mellan specifika tekniska krav som hör den äldre bebyggelsen till och de krav en nutida marknadsstyrd materialindustri ställer. De dystra effekterna av denna konflikt finns idag tyvärr läsbara i vart och vartannat hus. För att få hjälp med underhållet vänder vi oss då naturligt till de välbeprövade materialen och den gamla hantverkstekniken. Dessvärre har vi idag ofta svårt att återfinna vare sig det ena eller det andra. Våra sentida ambitioner att putsa med rent kalkbruk under 1960- och 70-talen kan därför ses som försök att återupprätta denna förlorade hantverkskontakt, och utgör en period där såväl utförandepraxis som materialtillgång varit föremål för experiment. Att de efter hand konstaterade resultaten visat sig ytterst ojämna är i första hand beroende på halvgångna eller rent felaktiga tolkningar av äldre, i muntlig eller skriftlig form överförd kunskap. En naturlig slutsats av detta är att försöka samla och tolka den kunskap, som till äventyrs finns bevarad. Ämnet är stort nog och *till en början* handlar det

kanske mest om att försöka ringa in de lättast åtkomliga delarna av denna bevarade kunskap, att skapa en överblick inom ämnesfältet, samtidigt som forskningsuppgiften definieras.

### Ämnesuppdelning

Till innehållet sönderfaller ämnet i två delar. Den ena delen är nära knuten till *materialfrågor* som berör förekomst, utvinning och transporter, den andra delen är knuten till *hantverket* där frågor om tillredning, applikation och åldrandeegenskaper är centrala. Ser vi till den samlade kunskapen i respektive del faller jämförelsen mycket ojämnt ut, snarast till den förras fördel. Materialsidan har genom sin nära knytning till exakta vetenskaper övertaget framför de betydligt vagare och ofta muntligt traderade kunskaperna om olika hantverksmetoder. I starkt sammanfattande form följer här närmast ett försök att karaktärisera materialaspekten, därefter att belysa några av hantverkssidans olika process-steg och varianter i utförandet. Syftet är att peka på viktiga utvecklingslänkar, inte att ge en täckande beskrivning av tillgänglig kunskap.

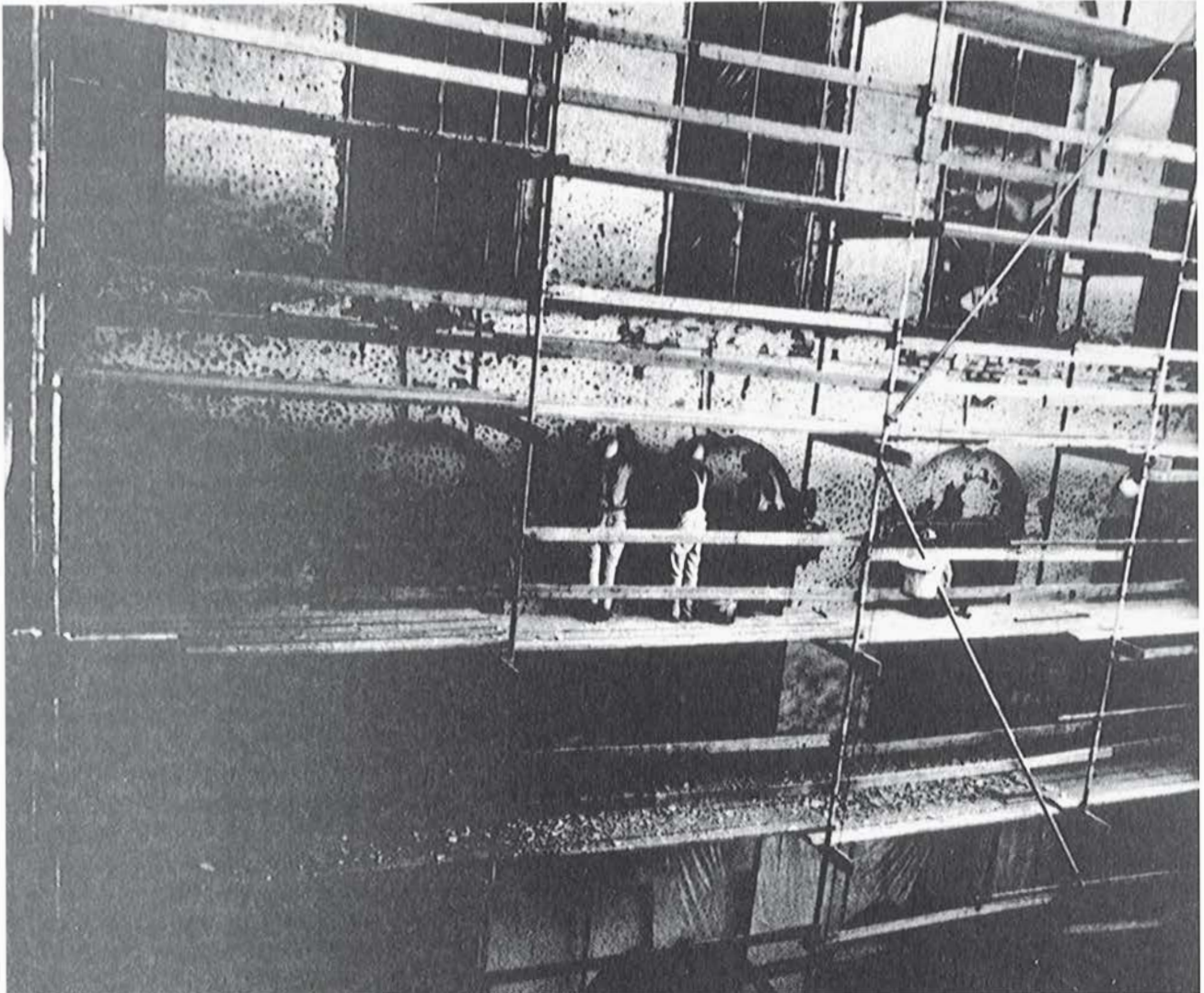


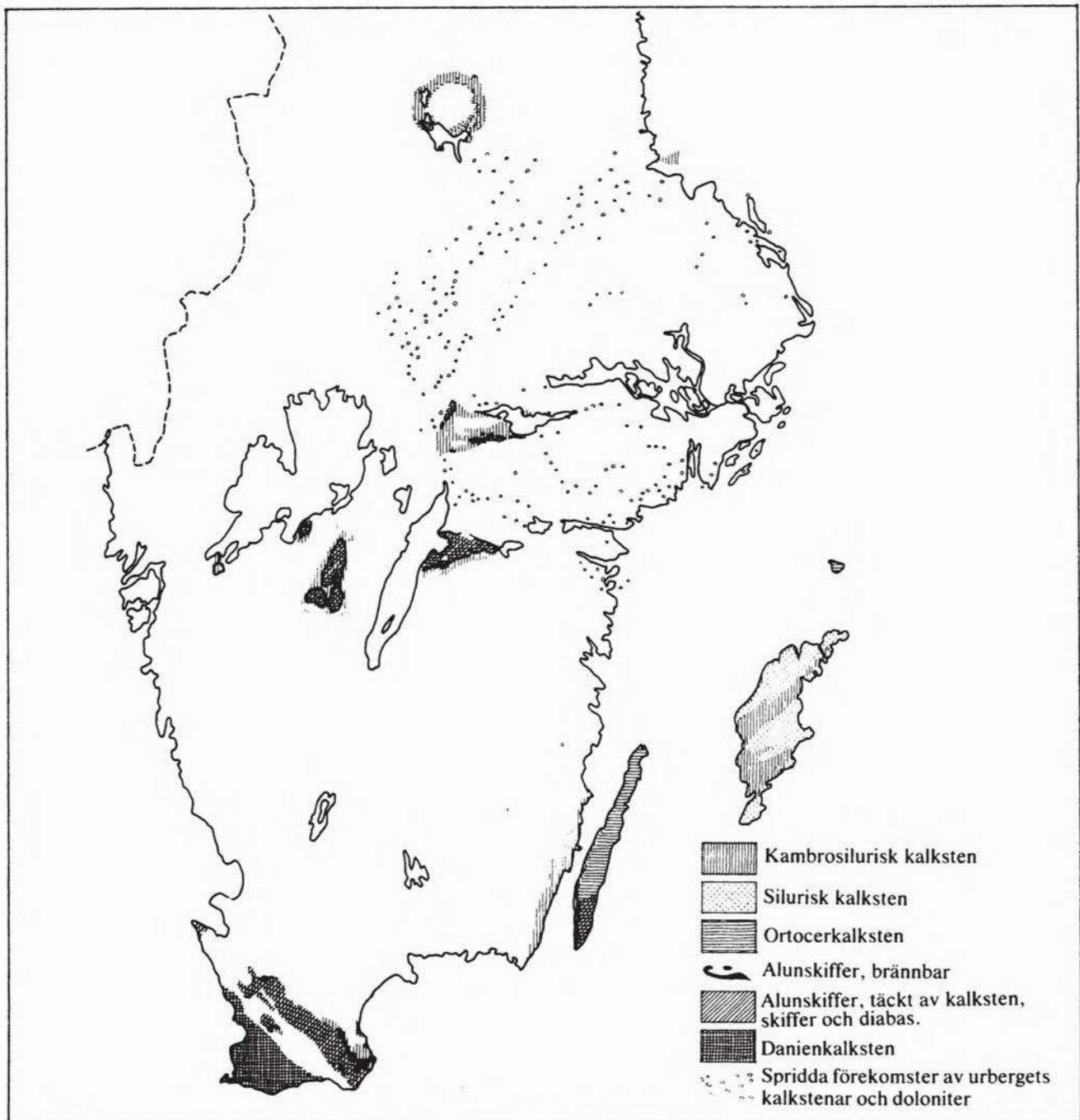
Foto 2. Putsningsarbeten vid Skokloster slott omkring 1970. Exempel på ett intensivt utvecklingsarbete åren 1968–75 för att komma åt äldre putsteknik. Utförandet kom delvis att baseras på äldre litteraturstudier. Originalputsens från 1600-talet är till stor del bevarad. Utlagning skedde med extremt fett, relativt vattenfattigt bruk som spacklats på med slev. K 1:1 i ytskiktet och K 1:3 i utstockningen, ballasten. Foto 1970, Ulf Leijon.

## MATERIALEN

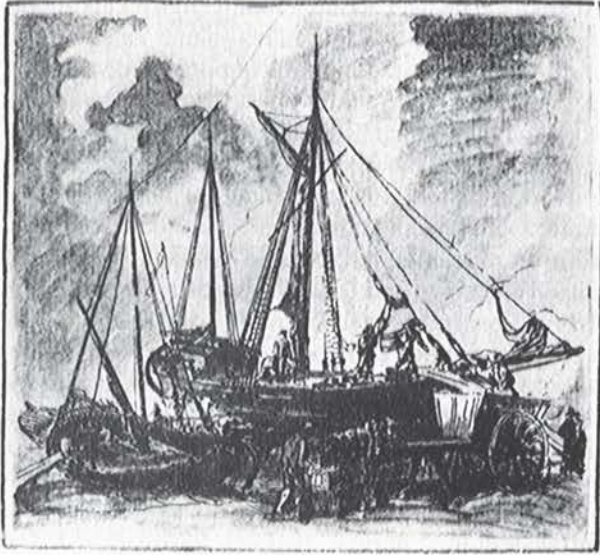
Begränsar vi oss till kalkbrukets klassiska beståndsdelar kalk och sand kan vi i första ledet särskilja två olika bedömningsaspekter: en naturgeografisk och en näringsgeografisk. Naturgeografien ger oss tämligen exakta besked om var exempelvis kalksten förekommer i Sverige, dessutom vilka, geologiskt sett, olika typer av kalksten som finns. Man skiljer mellan kambrosilurisk, silurisk och ordovicisk kalksten kontra exempelvis ortocerkalksten, vilka utgör olika åldersnivåer eller tillkomsttid. Men man skiljer även mellan kristallinsk eller metamorf samt sedimentärt bildad sten vilket anger arten av de olika miljöer som den tillväxt eller åldrats i. Förutsättningarna för att en kalksten skall ge en bra kalk efter bränningen varierar dock kraftigt mellan olika åldersnivåer eller lägen

inom naturformationen. Detsamma gäller också sten inom samma, tidsmässigt sett, geologiska formation. Redan här sviktar dock kunskaperna om vilka orsaks-sammanhang som är styrande, vilka dolda brukskvaliteter eller vilka bränningsvillkor som gäller för den ena eller den andra kalksorten.

Att kalksten från nordöstra Gotland gav bra kalk, det visste man, och att till synes likadan kalksten från Katthammarsvik gav dålig kalk efter bränning. Att de tillhörde olika geologiska åldrar och därmed reagerade helt olika är lättare för oss i nutiden att förstå än för 16–1700-talens kalkbrännare. Men varför den brända kalken från Katthammarsvik inte blev bra, den frågan är ännu idag inte tillfredsställande besvarad.



Figur 1. Kalkstensförekomster i södra och mellersta Sverige. Efter "Atlas över Sverige", Stockholm 1957.



Figur 2. "Kalkfartygen vid början af Skepsbron – 1786".  
Tekniska Museets arkiv.

Den geografiskt ojämna fördelningen av kalksten inom landet med koncentration till vissa bestämda områden har i hög grad styrt den historiska utvecklingsbilden. Det finns därför anledning att fråga sig var kalkbrukstillverkningen uppträder som en ur materialsynvinkel naturlig hantering, och var vi har att räkna med områden där man tvingats till import av såväl material som mer teoretisk kunskap om konsten att göra kalkbruk. Vi rör här vid frågor av delvis kultur-geografiskt slag. Dessutom handlar det om vilka byggnadssystem man regionalt sett av hävd har valt – är husen byggda av trä eller sten, i en eller flera våningar – men det handlar också om bekväma och tillgängliga transportsystem, olika för olika tider och områden. Etablerade nät av normala kulturkontakter eller bristen på sådana kommer här på ett naturligt sätt i förgrunden. Från vilka områden togs exempelvis kalken till det kalkstensfattiga mälarmrådet under medeltiden eller under barocken? Vi känner i bästa fall bara enstaka naturliga förekomster i Uppland, bl a Lenabergskalken som bröts långt in på 1700-talet, och som vi vet utnyttjades redan under 1200-talet i Uppsala domkyrkohytta. Vi kan på samma sätt fråga oss om inte de förekomster av alunskiffer intill skörbrända kalkstensrester som konstaterats vid utgrävningen av de medeltida delarna av Skoklosters gamla stenhus pekar på exempelvis Närke som leverantör av kalk, tillsammans med den där naturligt förekommande alunskiffern. Eller bör vi misstänka Västgötaberget eller rent av Öland som exportområde? I övrigt får vi stödja oss dels på faktiska upplysningar i äldre räkenskaper, dels på sentida geologiska analyser. Resten måste ännu så länge bygga på mer eller mindre rimliga antaganden. Kalk och kalksten är tunga material och sjötransporterna var normalt de billigaste. Det kan därför vara naturligt att både närkekalksten och östersjöområdets kalkstensförekomster, inklusive alunskiffern, var möjliga resurser även för mälarmrådet. Hur komplicerad frågan kan vara exemplifieras ytterligare av uppgifter att kalksten och även bränd kalk under medeltiden och senare exporterades från Öland till Gotland och Livland,

båda i högsta grad till synes självförsörjande inom sina egna områden. Vilka förutsättningar är egentligen styrande – materialtillgång eller god marknadsföring? Under 1500-talet har vi belagda uppgifter om att kalk bröts både i Stockholms skärgård, på Åland och i Livland. Först 1645, genom den svenska erövringen av Gotland kan vi notera en begynnande och sedermera allt större import därifrån av dels kalksten, dels bränd eller släckt kalk till det svenska fastlandet. Dessförinnan var den gotländska kalkexporten, i konkurrens med den öländska, huvudsakligen inriktad på hamnarna i södra Östersjön (Königsberg, Danzig, Stralsund) och på Danmark (Sönderborg). Även prissättningen var naturligtvis en viktig och styrande faktor när utbudet och konkurrensen så småningom ökade. Gotlandskalken var dyr och bländande vit medan ålandskalken var billigare och hade en orenare, mer gulaktig färg. De putstekniska kvalitetskillnaderna var kanske inte så olika, men den dyra vita kalken användes företrädesvis till finare arbeten och den gulare i enklare situationer.

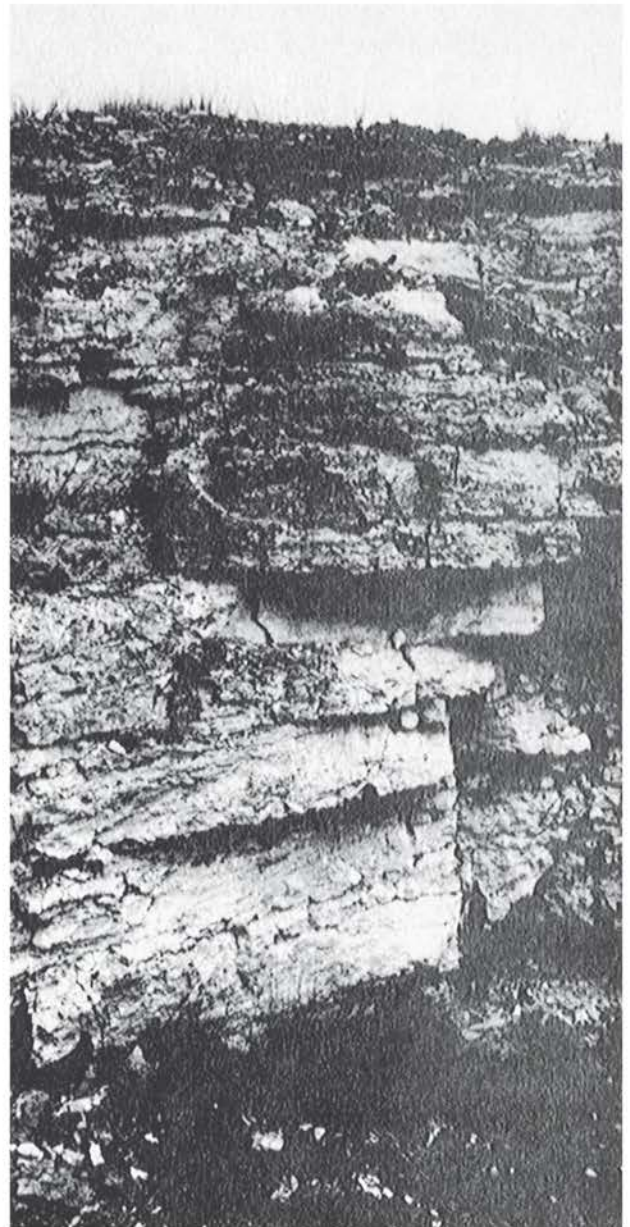


Foto 3. Kalkstensbrott på Gotland.  
Foto omkring 1970, Ove Hidemark.

**Denna rapport är den andra redovisningen av ett utvecklingsprojekt om kalkputs, som bedrivs gemensamt av byggnadsstyrelsen, fortifikationsförvaltningen och riksantikvarieämbetet.**