

KALKBRUK



Kalkbruk

krympsprickor och historisk utveckling av material,
metoder och förhållningssätt

Jonny Eriksson



© Jonny Eriksson 2019.
ISBN 978-91-7346-987-6 (tryckt)
978-91-7346-988-3 (pdf)
ISSN 0284-6578

Avhandlingen finns också i fulltext på:
<http://hdl.handle.net/2077/58552>

Prenumeration på serien eller beställningar av enskilda exemplar skickas till:
Acta Universitatis Gothoburgensis, Box 222, 405 30 Göteborg, eller till acta@ub.gu.se

Omslag: Invändigt putsarbete på Svenneby gamla kyrka. Foto: Jonny Eriksson.
Vinjettbilder fotograferade av Jonny Eriksson (förord och kapitel 2) och Dag Sävsblom Eriksson (kapitel 1 och referenskapitlet).

Layout: Jonathan Westin.

Tryck: Brandfactory, Källered 2019.

Abstract

This thesis explores the development of early shrinkage cracks in renders based on wet slaked sub-hydraulic lime and rendering methods used in Sweden during the 19th and 20th centuries as well as in current restoration practice. Results from different render projects have indicated that a high frequency of shrinkage cracks could be related to the slaking procedure and the reworking of the slaked lime putty. An investigation involving practical application and a laboratory test programme was initiated to examine the problem of early shrinkage cracks in renders based on wet slaked sub-hydraulic lime. Results from the investigation showed that the reworking and storage of the lime putty increased the frequency of shrinkage cracks. The results also indicated that binder rich mortar could be used in restoration practice.

To produce lime rich mortar it is necessary to mix the mortar on lime putty that has been newly slaked. This way of producing mortar increases the risk for damage on render surfaces caused by unslaked particles in the lime. This was pointed out in mid 20th century handbooks and to minimize the risk it was recommended that the lime putty should be stored one to four weeks before use. Contrary to this, 19th century handbooks pointed out that a more durable mortar could be produced if the mortar was made of newly slaked lime putty. To investigate this, the results from the study of shrinkage cracks were implemented in a restoration project of a medieval church. The aim of this project was to examine if binder rich mortar produced on newly slaked lime putty could be used in a restoration project without the occurrence of non-acceptable shrinkage cracks and damage caused by unslaked particles in render. The results from the project show that this was possible.

TITLE: Kalkbruk:
krympsprickor och historisk utveckling av material, metoder och förhållningssätt

LANGUAGE: Swedish

ISBN: 978-91-7346-987-6 (tryckt)
978-91-7346-988-3 (pdf)

ISSN: 0284-6578

KEYWORDS: Våtsläckning; krympsprickor; kalkbruk; puts; murhantverk; osläckta partiklar.

Licentiatavhandling och inkluderade artiklar

Eriksson, J. (2015). *Bruk av kalk och sand: ur ett hantverkligt perspektiv*.

Licentiatavhandling, Acta Universitatis Gothoburgensis, Göteborgs universitet, 2015

- 1 Eriksson, J., Johansson, S. & Lindqvist J. E. (2016). *Development of mortars in Sweden during the period 1800-1950*. 4th Historic Mortars Conference HMC-2016, Santorini, Greece.
- 2 Eriksson, J. & Lindqvist J. E. (2018). *Lime render, shrinkage cracks and craftsmanship in building restoration*. Journal of Cultural Heritage (2018), <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.10.017>
- 3 Eriksson, J. *Putsrestaurering av en medeltida kyrka*. Manuskript.

Innehållsförteckning

Förord

KAPITEL 1

Introduktion

17	1.1 Inledning
22	1.2 Syfte och frågeställningar
24	1.3 Terminologi och definition
24	Definition av bruk under olika tidperioder
24	Samlingsbenämning av kalk från alunskifferlagrett på Kinnekulle
24	Krymsprickor - definition och förklaring till att de uppstår
25	1.4 Hantverkarskunskap i historisk byggnadstradition och byggnadsvårdsforskning
30	1.5 Metod
30	Kan upparbetning och lagring av kalk påverka uppkomsten av krymsprickor i bindmedelrika bruk?
32	Jämförelser av olika studier av bruk
33	Kvalitativa och kvantitativa studier av krymsprickor i bruk
33	Brukets delmaterial
35	Förberedelse av provytornas underlag samt applicering och provning av det färska bruket
37	Mätning av sprickfrekvens och sprickvidd i det hårdnade bruket

38	Empiriska studier av krympsprickor och kalkskott i fält
40	Mätning av ugnens temperatur
40	Brukens delmaterial och proportionering
42	1.6 Disposition

KAPITEL 2

Förändring av bindemedel och bruks framställning en möjlig källa till krympsprickor i bruk

45	2.1 Krympsprickor – kunskapsläget enligt litteraturen
45	Litteratur under 1800- och 1900-talet
46	Hur krympsprickor uppstår
47	Orsaker och orsakssamband till krympsprickor
48	Mätmetoder
48	Litteratur 1900-talets andra hälft och 2000-talets början
50	Sammanfattning av litteraturen under 1800-, 1900- och 2000-talet
51	2.2 Erfarenheter av krympsprickor i framställda bruk
51	Observationer och reflektioner- lagring och upparbetning

53	2.3 Översiktlig analys – industriell utveckling av framställningsmetoder för bindemedel och bruk, en möjlig källa till krympsprickor i bruk
56	2.4 Material, metoder och förhållningsätt vid framställning av bindemedel och bruk under 1800- och 1900-talet
56	Material, metoder och förhållningsätt – 1800-tal
57	Motsägande påståenden i handböcker
59	Lagring av luftkalk
59	Motiv till kalkens lagringstid
60	Blandning av bruk upparbetning av bruk som styvnat till
62	Material, metoder och förhållningsätt – 1900-tal
62	Lagring av kalk
64	Blandning av bruk
66	Mekanisk omrörning av bindemedel och upparbetning av bruk som styvnat till
68	2.5 Sammanfattning och slutsats material metoder och förhållningsätt: 1800- och 1900-tal
68	Sammanfattning 1800-tal
69	Sammanfattning 1900-tal
70	Slutsats material metoder och förhållningsätt vid framställning av bindemedel och bruk under 1800- och 1900-talet
72	Citat av författarna som kan relateras till tabellen och förhållningsätt till kalkens släckning och lagring

Kapitel 3

Artiklar

77	Kapitel 3.1: Development of mortars in Sweden during the period 1800-1950.
87	Kapitel 3.2: Lime render, shrinkage cracks and craftsmanship in building restoration
99	Kapitel 3.3: Putsrestaurering av en medeltida kyrka

KAPITEL 4

Avslutning

125	4.1 Summering - licentiatuppsatsen och avhandlingsdelens mål och frågeställningar
127	Avhandlingens mål och frågeställningar
129	4.2 Hur har brukets sammansättning förändrats under de senaste 200 åren?
130	4.3 Vilket förhållningsätt till lagring av kalk och blandning av bruk beskrivs i litteraturen?
130	Lagring av kalk
132	Lagringens påverkan på brukets blandningsbarhet
133	Blandning av bruk
134	Upparbetning av tidigare blandat bruk och mekanisk omrörning av kalken vid släckning
135	4.4 Har förändringen av metoder för bindemedel och bruks framställning påverkat brukets egenskap att bilda krympsprickor i bindemedelrika bruk?
137	4.5 Uppstår krympsprickor och kalkskott vid framställning och användning av bindemedelrika bruk i en putsrestaurering av en medeltida kyrka?
137	Vilka observationer och reflektioner genererar framställning och användning av bindemedelrika bruk?
140	Bränningstemperatur
141	Historisk bedömning av bränningstemperatur
142	Konstruktion av ugnar för bränning i temperaturintervallet 850-1000°C
143	Putsutförande
144	Provytor, in-borstningsbruk & kantningsbruk
148	Borste
150	4.6 Framtida forskningsbehov

Referenser



Förord

Grunden till denna avhandling påbörjades för 16 år sen i samband med ett utvecklingsarbete om att framställa bruk till putsrenoveringen av Gillstad kyrka i Lidköpings kommun. Utvecklingsarbetet och sedermera licentiat uppsatsen *Bruk av kalk och sand ur ett hantverkligt perspektiv* (2015) kom att präglas av växelverkan mellan litteratur- och empiriska studier, och så även denna avslutande del i avhandlingsarbetet. I denna sista del har jag ingått professionsöverskridande samarbeten med andra forskare och hantverkare på ett mer inriktat sätt än i de tidigare studierna. Detta avspeglar sig i de artiklar som ingår i denna del av avhandlingsarbetet. Att ha fått den möjligheten är jag väldigt tacksam för. De upplevelser som dessa samarbeten givit kommer alltid att vara ett gott minne av avhandlingsarbetet, ett arbete som har varit både roligt och utvecklade men ibland också slitsamt.

Emellertid är det några personer som genom beslut och engagemang särskilt bidragit till att denna avhandlingsdel nu kan redogöras för. Till dessa personer vill jag framföra ett stort tack för ert engagemang och stöd. Svenska kyrkan med kyrkoherde Madeleine Myrström Kamb, Maria Lagerqvist och Christofer Gabrielsson vid Lagerqvist & Gabrielsson Konserverings ateljé AB, kyrkorådet i Svenneby församling som i samarbete med Göteborgs universitet har initierat och finansierat undersökningarna i samband med putsrestaureringen av Svenneby kyrka. Tack också till hantverkarna som genom sin kunskap bidragit i undersökningar i samband med restaureringen av kyrkan. Murare: Dag Sävbom Eriksson, Robert Berglund, Malena Kinberg, Ann Sofie Svensson, Snickare: Lars Erik Andersson, Felix Clefberg och Martin Fernström.

I avhandlingsarbetet vill jag tacka min handledare Ingegärd Eliason för handledning som gjort det möjligt för mig att skriva detta arbete. Jag vill också framföra ett tack till

mina biträdande handledare, Jonathan Westin, som har gjort layout, bildbearbetning och som har handlett i upplägg av arbetet. Jan Erik Lindqvist som läst och kommenterat mitt arbete, handlett i samband med artikelskrivande men också varit ett gott stöd när det varit lite tungt. Sölve Johansson som handlett i samband med artikelskrivande samt läst och kommenterat arbetet i sin helhet. Kristin Balksten som under arbetet granskat och givit synpunkter på arbetet. Jag vill även framföra mitt tack till min examinator Ola Wetterberg för stöd under arbetet med avhandlingen. Till sist vill jag tacka min familj för stöd och uppmuntran och speciellt min fru, Susanne Kleby Eriksson, för språkgranskning.

Vänersborg, februari 2019

Jonny Eriksson



KAPITEL 1

Introduktion

1.1 Inledning

Idag finns god kännedom om hur historiska murade och putsade byggnader är konstruerade, vilka materialval som gjorts, samt byggnadernas arkitektoniska uttryck och estetik (e.g. Stål 1854; Löfroth 1925; Paulsson 1936; Lindqvist 1999; Johansson 2006; Eriksson, Johansson och Lindqvist 2016). Trots god kännedom finns kunskapsluckor, dessa berör t.ex. historiska metoder och material för framställning av bruk (e.g. Hidemark och Holmström 1984; Konow 1997; Eriksson 2015). Detta arbete tillsammans med licentiatuppsats *Bruk av kalk och sand ur ett hantverkligt perspektiv* (Eriksson 2015), utgör min avhandling för filosofie doktorsexamen. Denna del av avhandlingen tar utgångspunkt i frågan om hur hantverkarens materiella och metodiska val påverkar bruks egenskaper att bilda krympsprickor i puts. Ett exempel på en historisk vanlig brukstyp som det idag saknas kunskap om är våtsläckt svagt hydraulisk kalk, även kallad mager luftkalk. Då marknaden både i byggindustrin och inom byggnadsvårdsektorn sedan 1950-talets slut har dominerats av torrsläckta bindemedel och senare torrbruk framställda i fabrik har kunskapen om framställning, användning och egenskaper hos denna brukstyp delvis gått förlorad (Lindqvist 1999; Johansson 2006; Eriksson 2015).

Riksantikvarieämbetet är en statlig myndighet med ansvar för att upprätthålla expertkunskap om kulturminnesvård inom myndigheten och i samhället. I den av RAÄ ut-

givna publikationen *Materialguiden* (2013) framgår dels forskningsframsteg, men också forskningsbehov i relation till historiska material och metoder. En byggnads kulturhistoriska värde bedöms bland annat av de historiska material och metoder byggnaden är uppförd med, vilket uttrycks i citatet nedan.

”Genom forskning och utvecklingsarbete har vi successivt blivit bättre på att avläsa och tolka äldre skikt av kalkfärg och puts-skikt. Men våra ambitioner har också ökat. Om vi för tjugofem år sedan nöjde oss med att konstatera och föreskriva ”kalkbruk”, så kan vi idag ställa preciserade krav på såväl hantverksutförande som materialens ursprung och beredning. Det kulturhistoriska värdet skapas av dessa faktorer tillsammans och den antikvariska ambitionen måste vara att behålla den puts som sitter på väggen. När omputsning är nödvändig måste arbetet inriktas på att efterlikna en ursprunglig puts - tekniskt, hantverkligt och utseendemässigt. Den antikvariska bedömningen måste utgå från en analys av såväl tekniska egenskaper som material och utförande. Kalkputs måste alltid dokumenteras som mer än bara ”kalkputs”. Möjligheterna att beskriva den stora rikedomerna av putsvarianter har under senare år ökat. Det kommer alltid att finnas uppdrag på olika ambitionsnivåer. I enkla fall kan fabriksfärdiga produkter vara den rätta lösningen, men för de kulturhistoriskt mest värdefulla byggnaderna ska kraven kunna omfatta bevarade originaltyper, platsblandade material och utvalda verktyg. Det är antikvariens och arkitektens ansvar att sådana beställningar inte måste avvisas därför att kunskap eller kunnande saknas” (*Materialguiden* 2013, s. 213-214).

Som framgår av riktlinjerna i *Materialguiden* kan i enklare putsprojekt nutida fabriksframställda torrbruk användas medan det vid mer kulturhistorisk värdefulla projekt krävs mer omfattande undersökningar eller forskning för att återta kunskap om i äldre tid använda material och metoder.

Kunskap som gått förlorad kan beröra val av råmaterial eller metoder vid framställning och användning av bruk. Såväl valt material som använda metoder påverkar och formar brukets eller putsens egenskaper, exempelvis beständighet, estetiskt uttryck och arbetbarhet. Det är min tolkning av *Materialguiden* att detta tillsammans formar det kulturhistoriska värdet. Ett värde som lika mycket representeras av den bevarade byggnaden som den kunskap den representerar. För att upprätthålla och utveckla kunskap om historiska material och metoder är det viktigt att undersökningar och forskningsresultat implementeras och kritiskt granskas i praktiken, gärna i olika över landet spridda projekt, med de aktörer som verkar i denna sektor. Om vi inte gör det riskerar till slut alla aktörer i byggnadsvårdsbranschen att förlora förståelsen för det kulturhistoriska värdet som avses att skyddas, eller genom rekonstruktion kunskapligt återtas. Detta avhandlingsarbete svarar i flera avseenden mot de behov av undersökning och forskning som uttrycks i citatet ur *Materialguiden* ovan.

Utifrån min bakgrund som murare och erfarenhet av att tillverka bruk menar jag att det skall till en viss volym erfarenhet för att kunna utveckla kunskap om hur olika hantverkliga bedömningar kan påverka bruket eller putsens egenskaper vid framställning och användning av bruk. Svårigheten att återta förlorad kunskap om bedömningar ligger troligen i att kunskapen både har förändras och blivit inaktuell i samband med ut-

vecklingen av nya stombyggnadsmaterial och framställningsmetoder för bruk (Eriksson 2015). Med detta vill jag säga att själva bedömningsgrunden i dag ser helt annorlunda ut. Ett exempel på detta är att vi idag arbetar med betydligt magrare bruk än för 150-200 år sedan, ett annat att natursten inte är ett vanligt stombyggnadsmaterial i dag. En bedömning av något är i grunden är individuell. Först när bedömningar kan överföras så att andra hantverkare kan använda och se orsak och verkan i det som bedöms kan ett generellt gällande förhållningsätt formuleras. Kunskapen tar tid att utveckla men tar också tid att återta. Inte minst för att hantverkskollektivet där den utvecklades inte längre står inför samma bedömningar som de tidigare gjort.

När vissa brukstyper inte längre används förlorar vi kunskap om dess egenskaper och därmed vilken påverkan egenskaperna kan ha på t.ex. en putsrestaurerings estetiska uttryck. Hantverkarens kunskap kan beskrivas som sammanhangsbunden, där t.ex. brukets egenskaper stäms av och bedöms i relation till hur bruket är att arbeta med. Beroende på utfall kan brukets konsistens behöva justeras eller att ett annat verktyg används. Hantverkliga bedömningar kan också ha betydelse för vilka egenskaper bruket får av de metoder som används vid framställning av bindemedel och bruk. Bedömningar och förhållningsätt kan därför styra eller påverka i flera led av framställning och användning av bruk. Utan empirisk erfarenhet är denna kunskap om bruk i äldre tid mycket svår att återta och artikulera.

Licentiatuppsatsen av Eriksson (2015) visar att ämnet med sin komplexitet historiskt har belysts och behöver belysas ur flera olika perspektiv. Kulturvårdens frågor om bindemedel och bruk berör fler yrkesgrupper än murare, som t.ex. ingenjörer, kemister, arkitekter och antikvarier. I forskning om bruk och murhantverk finns en stor potential i att undersöka frågeställningar genom professionsöverskridande samarbete. När frågor om bruk belyses ur olika perspektiv skapas förutsättningar till förklaringar och samband som varje profession annars själva skulle ha svårt att formulera. Hantverksforskning, som är det fält jag tillhör, är ett relativt nytt forskningsområde där det finns behov av att utveckla metoder för att svara på de frågor som den hantverkliga utövningen formulerar. Här kan professionsöverskridande samarbete bidra med användbara metoder men också vara en grund för att utveckla nya metoder användbara i undersökningar för både t.ex. naturvetare och hantverkare.

Empirisk erfarenhet kan inte ersättas, tvärtom är den en tillgång och en förutsättning för att kunna formulera frågeställningar som annars inte skulle var möjliga att formulera då de utvecklas under de förutsättningar hantverket utövas i. Mot denna bakgrund argumenterar jag för att vi på ett bredare plan behöver utveckla och upprätthålla kunskap om historiska material och metoder inom sektorn hos beställare, hantverkare, ingenjörer, byggnadsantikvarier, arkitekter och forskare. Behovet av metoder samt att bearbeta frågeställningar ur olika perspektiv har bidragit till att undersökningarna i denna avhandling utförs i samarbete med andra hantverkare och professioner.

Kunskapsbristen väcker frågor om de historiska brukens egenskaper. En central fråga i detta arbete är uppkomsten av krympsprickor. Exempel på krympsprickor i våtsläckt



Fig. 1. Göteborgs universitets verksamhets lokaler i Mariestad. Bilden visar utvecklingen av grova krympsprickor i en putsyta 30 min efter att bruket är applicerat på underlaget. När vattnet i bruket avgår till underlaget krymper och deformeras sig bruket plastiskt. Deformationen kan till en vis gräns ske utan att sprickor uppstår. När deformationen blir för stor bildas sprickor som blir bestående. De sprickor som uppstår kan beroende på graden av deformation uppträda som få, små och fina eller flera fina med inslag av grova sprickor. Sprickorna sammanstrålar och bildar ofta en y form. I byggnadslitteratur framgår att krympsprickor är en defekt i bruket (e.g Henström 1869; Dührkop 1966; Hus AMA 83). Foto: Jan Erik Lindqvist.

Figur 2a och 2b (t.h.). I anslutning till krympsprickan brister inte sällan vidhäftningen till underlaget. I hur stor omfattning detta sker vid olika grova sprickor är inte undersökt. En uppfattning om vidhäftningen till underlaget upphört kan man få om man med skaftet på ett verktyg knackar runt sprickorna och lyssna om ett ihåligt ljud uppstår. Ett annat sätt är att intill sprickan med tummen eller skaftet på ett verktyg trycka på putsen tills ett svagt knäpp uppstår (fig. 2a). Det svaga knäppet indikerar att putsen gått av beroende på att den inte ligger an mot underlaget. En tunn spricka visar ofta var putsen gått av (fig. 2b). Med detta vill jag visa att en krympspricka kan indikera en större defekt i putsen än vad som utgörs av sprickan. Göteborgs universitets verksamhets lokaler i Mariestad.

svagt hydraulisk kalk visas i fig. 1, 2a och 2b. Frågeställningen om krympsprickor och dess orsakssamband är lyft ur empiriska erfarenheter av att framställa och använda bruk i olika putsrestaureringar, samt uppgifter i byggnadslitteratur som uttrycker diametralt olika förhållningsätt i relation till bl.a. lagring av släckt kalk. De empiriska erfarenheterna pekar bl.a. på att just lagring av släckt kalk kan bidra till att krympsprickor uppstår och är en orsakgrund som inte beskrivs i byggnadslitteratur.

De motsatta förhållningsätten framgår som tydligast av skillnader i handböcker från 1800-talet och 1900-talet. Under 1800-talet används den dubbla mängden bindemedel i bruk än vad som rekommenderas i bruk under 1900-talet (Eriksson 2015; Erikson *et al.* 2016). Med sin tydliga koppling till uppkomst av krympsprickor är förändringen från bindemedelrika till bindemedelfattiga bruk intresseväckande i den meningen att det formulerar frågor. Frågan är varför bindemedelrika bruk rekommenderas under 1800-talet medan det under 1900-talet rekommenderas bindemedelfattiga, med motiveringen att det minskar risken för krympsprickor (e.g. Paulsson 1936; Bährner 1956; Dührkop, Saretok, Sneck och Svendsen 1966). Rekommendationen ger intryck av att krympsprickor är ett problem i bindemedelrika bruk under 1900-talet men inte under 1800-talet. Vad har förändrats vid framställning av bruk under 1900-talet och varför måste bruken göras magrare för att undvika krympsprickor?

I dag framställs vanligen bindemedel och bruk som torra halvfabrikat som på arbetsplatsen tillsätts vatten och blandas till bruk. Fram till 1900-talets mitt var bruk en hantverkligt framställd produkt bestående av våtsläckt kalk och naturfuktig sand dvs.



en produkt framställd av mer eller mindre våta delmaterial. En annan tydlig skillnad mellan äldre och nyare tid är att bindemedel och bruksframställning mekaniserats. Det bidrog till att blandning av bruk och lagring av bruk underlättades under 1900-talets mitt. I det senare fallet på det sätt att stora mängder bruk kunde framställas och lagras från dag till dag, ett förfarande som gav logistiska fördelar i en allt snabbare byggnadstakt under 1900-talets mitt. Under lagringen styvnade bruket till, för att återfå arbetbar konsistens upparbetades bruket med särskilda maskiner. Upparbetningen gjordes trots vetskap om att det försämrade brukets kvalitét men uppgifter i handböcker pekar på att de logistiska fördelarna var så stora att de övervägde (Paulsson och Granström 1953; Bährner 1966). Bearbetning eller kontinuerlig omrörning gjordes också mekaniskt vid våtsläckning av kalk på fabrik och i särskilda släckare på större arbetsplatser (Eriksson 2015). Bearbetning av våtsläckt kalk görs fortfarande för att underlätta förpackning (Daniel Nymberg, Målarkalk AB personlig kommunikation, 14 augusti 2018).

Under 1900-talets mitt när det fortfarande var vanligt att våtsläcka kalk på arbetsplatsen rekommenderades att kalken sedan den var släckt skulle lagras en tid (ca 1 - 4 veckor). Rekommendationen avsåg att ge kalken tid att släcka sig helt för att undvika skador av kalkskott. Av flera författare kan förstås att skador av osläckt kalk i större byggnadsvolymer kan resultera i stora ekonomiska kostnader (e.g Westlund *et al.* 1940; Bährner 1956; Saretok 1957). I motsats till rekommendationen att lagra kalken framgår av uppgifter i byggnadslitteratur från 1800-talet att kalken efter släckning inte behöver eller skall lagras. I handböcker under 1800-talet framkommer också att berett bruk inte skall eller bör upparbetas då det påverkar brukets kvalitét negativt. De nackdelar som

omnämns relaterar till beständighet, arbetsbarhet samt ospecificerad kvalitetsnedsättning. Av flera författare kan förstås att ett sätt att undvika lagringen och upparbetningens nackdelar är att bereda bruk på nysläckt kalk (Pasch 1824; Stål 1854; Rothstein 2003). Av förhållningsättet fås uppfattningen att skador av kalkskott i äldre tid inte var ett stort problem. Att framställa bruk på nysläckt kalk, eller som beskrivs av Pasch och Stål i samband med att bruket tillreds, pekar på att släckning och blandning är två processer som i äldre tid kunde vara starkt sammanhangsbundna.

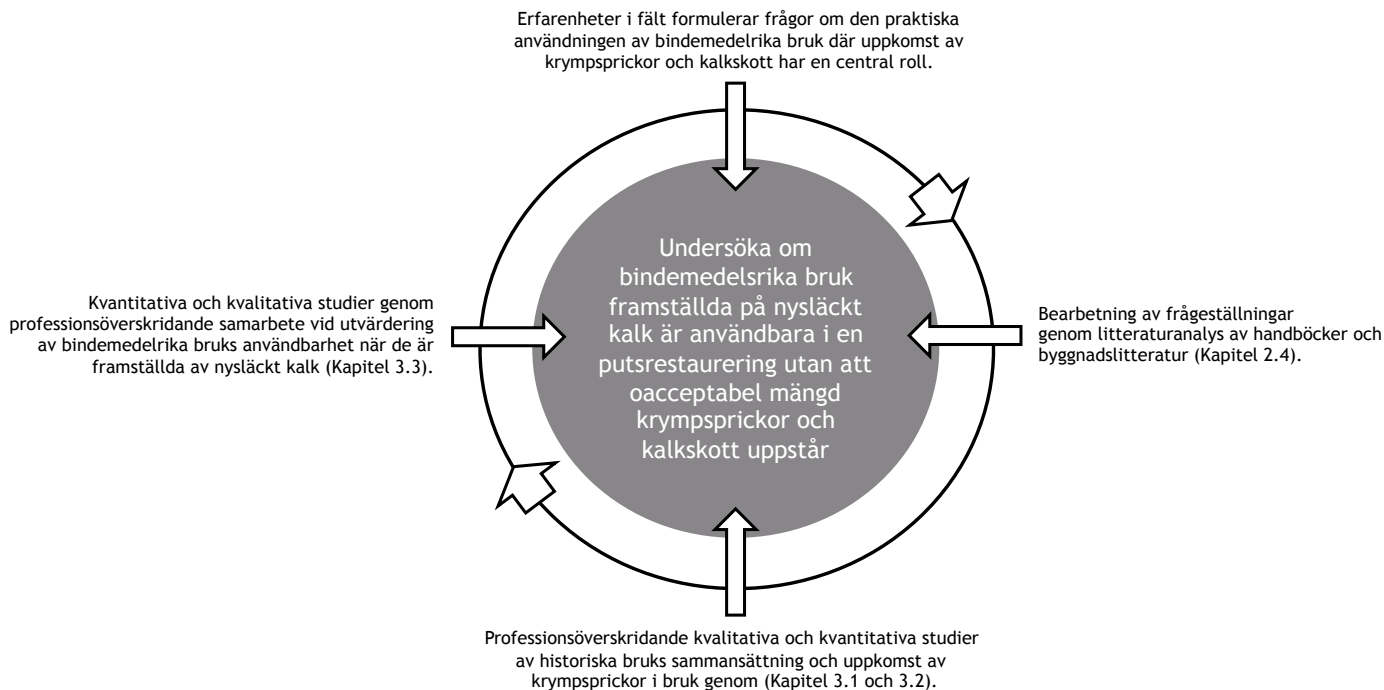
Att släckning och blandning av bruk är två processer som tydligt kan hänga samman framgår också av argument för att släckningsvattnets mängd skall stämmas av mot brukets arbetbara konsistens dvs. att inget vatten skall eller bör tillsatts vid brukets blandning (Pasch 1824; Stål 1854; Henström 1869). Det innebär att processerna släckning, blandning och t.ex. putsning kan vara sammanhangsbundna på ett sätt som vid nutida framställning och användning av bindemedel inte görs eller är möjligt. Detta beroende på att vi använder torrsäckt kalk, lagrar och mekaniskt upparbetar våtsläckt kalk vid förpackning samt att vi inte släcker kalken som ett direkt föregående led i brukets blandning. De ovan beskrivna skillnaderna mellan äldre och nyare tids metoder för framställning av bindemedel och bruk samt empiriska erfarenheter har formulerat avhandlingens frågeställningar.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med avhandlingsarbetet är att undersöka om kalkbindemedlets framställning kan påverka uppkomsten av krympsprickor i puts. Avhandlingen tar utgångspunkt i empiriska erfarenheter som pekar på att lagring och upparbetning av släckt kalk har påverkan på frekvensen av krympsprickor samt att handböcker och byggnadslitteratur under 1800- och 1900-talet förmedlar diametralt olika förhållningsätt till hur länge släckt kalk lagras. Vi har i dag god kännedom om varför krympsprickor uppstår, de huvudsakliga orsaker som belyses i handböcker och byggnadslitteratur är relaterade till det färdiga brukets sammansättning, underlagets sugande egenskaper, putsens uttorkning samt putsutförande. I något enstaka fall berörs att den våtsläckta kalkens innehåll av vatten eller att upparbetning av färdigblandat bruk kan orsaka krympsprickor i bruket. Av de möjliga orsaker till krympsprickor som tas upp i litteraturen så är framställningen av kalken och bruket det som minst berörs. Ser vi till vad som har förändrats vid framställning av bindemedel och bruk så är det framställningen av bindemedel och blandningen av bruk som genomgått de största förändringarna.

Mot denna bakgrund är syftet att undersöka och synliggöra följande frågeställningar:

- Hur har brukets sammansättning förändrats under de senaste 200 åren?
- Vilken förhållningsätt till lagring av kalk och blandning av bruk beskrivs i litteraturen?



Figur 3. Genom implementering av resultat från fältstudier, analys av litteratur och professionsöverskridande kvalitativa och kvantitativa studier har avhandlingsarbetet undersökt om bindemedelsrika bruk framställd på nysläckt kalk är användbara i en putsrestaurering av en medeltida kyrka utan att oacceptabel mängd krympsprickor och kalkskott uppstår. Implementeringssteget avser att svarar på användbarheten av erfarenheter och resultat i en verklig situation men den bedöms också utveckla nya frågor.

- Har förändringen av metoder för bindemedel och bruks framställning påverkat brukets egenskap att bilda krympsprickor i bindemedelsrika bruk?
- Uppstår krympsprickor och kalkskott vid framställning och användning av bindemedelsrika bruk?

Målet med avhandlingen är att belysa och bidra med kunskap om hur framställning av bindemedel och bruk har förändrats och på vad sätt det kan ha betydelse för uppkomsten av krympsprickor och kalkskott i bruk och dessutom, genom implementering av resultaten, undersöka om bindemedelsrika bruk framställd på nysläckt kalk är användbara i en putsrestaurering av en medeltida kyrka utan att oacceptabel mängd krympsprickor och kalkskott uppstår. Det samlade resultatet av arbetet bedöms vara av värde för hantverkare, projektörer, antikvarier och forskare inom byggmaterialindustrin, byggnadsvården och närliggande kunskapsfält. Figur 3, visar en schematisk bild av hur avhandlingsarbetet genom empiriska erfarenheter, analys av litteratur, och professionsöverskridande samarbeten i kvalitativa och kvantitativa studier har undersökt om bindemedelsrika bruk framställd på nysläckt kalk är användbara i en putsrestaurering av en medeltida kyrka.

1.3 Terminologi och definition

Definition av bruk under olika tidperioder

Då avhandlingen belyser handböcker från olika tidsperioder finns behov att tydliggöra kalkbindemedels definition under olika perioder. Här nedan tydliggörs gränsen mellan vad som benämns luftkalk och vad som benämns hydraulisk kalk under olika tidsperioder. Definitionen av bindemedel och bruk har under de senaste 200 åren gått från kvalitativt till kvantitativt (Eriksson 2015). Den kvalitativa definitionen tar utgångspunkt i bindemedlets eller brukets lämpliga användning och egenskap att hårdna i luften eller i vatten. Detta framgår av t.ex. Rothstein (1856) och hans definition luftmurbruk och vattenmurbruk. Benämningarna luftkalk, ren kalk och fet kalk används under 1800-talet för kalk som ger bruket egenskaper att i huvudsak hårdnar genom karbonatisering. Benämningen ren kalk, mager kalk och hydraulisk kalk används under samma period för kalk som ger bruket egenskap att hårdna under vatten (e.g Pasch 1824; Stål 1854; Henström 1869; Rothstein 2003).

Den kvantitativa definitionen som blir vanlig under 1800-talets slut och som i dag fortfarande används medger snävare definitionsgränser då den avser att beskriva kalkens kemiska sammansättning. Med luftkalk avses under slutet av 1800-talet och under en stor del av 1900-talet kalk som håller upp till 10 procent hydrauliska komponenter (e.g Henström 1896; Paulsson 1936; Bährner 1966; Rothstein 2003). Kalk som innehåller mer än tio procent hydrauliska komponenter benämns som något eller svagt hydraulisk kalk enligt Henström (1896) och Rothstein (2003). Kalk med mer än 10 procent hydrauliska komponenter benämns under 1900-talet som hydraulisk kalk (Paulsson 1936; Bährner 1966). Under 1900-talets slut och 2000-talets början kan förstås att den nedre procentuella gränsen för vad som räknas som hydraulisk kalk har förändras. Det framgår t.ex. av Johansson (2004, 2006) att luftkalk innehåller 0-2 procent hydrauliska komponenter. Sub-hydraulisk kalk innehåller 2-8 procent hydrauliska komponenter. Svagt hydraulisk kalk innehåller 8-12 procent hydrauliska komponenter. Av skillnaden i definition framgår att det som historiskt definierats som luftkalk i nutid kan indelas i ren luftkalk och hydraulisk kalk med olika innehåll av hydrauliska komponenter (e.g Henry & Stewart 2011; Johansson 2004, 2006; Konow 1997).

Samlingsbenämning av kalk från alunskifferlagret på Kinnekulle

Kalk som är bruten ur alunskifferlagret på Kinnekulle benämns alunskifferkalk i denna avhandling (Eriksson, 2012, 2015). Benämningen används som en samlingsbenämning för olika folkliga benämningar på kalk i alunskifferlagret på Kinnekulle. Orsten är en geologisk term för denna bergart som ofta är fossilrik och förekommer i avlagringar från mellersta och yngre kambrium samt äldsta ordovicium, ca 535–500 miljoner år gamla (Holm 1901).

Krymsprickor - definition och förklaring till att de uppstår

Med krymsprickor avses sprickor som uppkommer i applicerat bruk som efter en kortare tid blivit stumt i samband med att vatten avgår från bruket. Brukets krympning påbörjas

i samma ögonblick som vattnet i det påslagna bruket avgår till underlaget eller luften. Under den tid som bruket är mjukt och formförändringsbart (plastiskt) orsakar inte krympningen några sprickor. Sprickorna bildas i det stumma bruket av de spänningar som byggs upp vid den fortsatta krympningen när bruket inte längre kan deformera sig plastisk.

1.4 Hantverkskunskap i historisk byggnadstradition och byggnadsvårdsforskning

I handböcker under 1800-talet och 1900-talets mitt återges hur bindemedel och bruk kan framställas, appliceras och bearbetas (e.g. Rothstein 1856; Henström 1896; Paulsson 1936; Nycander och Bährner 1945; Bährner 1966). I relation till material, metod och situation förmedlas också anvisningar, regler eller uppmaningar om vad som bör observeras och bedömas samt vilka val som bör eller skall göras. Beroende på situation och vad som behöver uppnås kan anvisningarna och reglerna i relation till samma material eller metod variera, d.v.s. olika förhållningsätt antas. Handböckerna kan ses som samlingsverk av teoretiska modeller av handlingsplaner och förhållningsätt som speglar hantverkets kunskap om material och metoder, gällande för sin tid och förutsättningar. Med detta vill jag säga att murarhantverkets kunskap i flera avseenden finns beskriven i litteraturen men kunskapen har successivt påverkats och förändrats av samhällets utveckling och behov.

Industriell utveckling och mekanisering under de senaste 150-200 åren har haft påverkan på metoder och material men också på ämneskunskapen. Exempelvis har kemisten Pasch (1824) via sina publicerade murbruksförsök haft påverkan på definitionen av bindemedel och bruk i Svenska byggnadsläror (e.g. Stål 1854; Rothstein 1856, 2003). I relation till ämneskunskapen så har den breddats genom att andra professioner än murare kopplats till framställning av bruk, t.ex. ingenjörer och kemister. Under 1900-talet har ingenjörerna Nycander och Bährner haft påverkan på beskrivningen av bruks ballast i Svenska handböcker (e.g. Nycander och Bährner 1945; Paulsson och Granholm 1953; Bährner 1966).

I samband med förändringar av byggnadsmaterial och metoder under 1900-talet och att ny tvärvetenskaplig kunskap introduceras uppstår en kritik till det historiska sättet att framställa bruk (Paulsson och Granholm 1953; Nycander och Bährner 1955; Dührkop *et al.* 1966). Detta bidrar till en ökad kontrast där behov av motivering till att bryta den traditionella kunskapen är en del i processen att lämna det historiska materialet, utförande och förhållningssätt. Kunskap och förhållningssätt som inte efterfrågas faller i glömska. Nya metoder har utvecklats till nya förhållningssätt. För att ett förhållningssätt skall vara allmänt gällande och kunna ses som normativ riktlinje behöver det praktiseras i tillräckligt stor grad och vara motiverat.

Ett exempel på förhållningssätt som förändras under 1900-talet är putsens tjocklek. Av Dührkop *et al.* (1966) framgår att puts kan byggas upp i två till tre lager samt att varje applicerat lager i en putsuppbbyggnad inte får vara tjockare än ca 10-12 mm och aldrig över 15 mm. Detta för att undvika skador i form av t.ex. putsnedfall och sprickor förorsakade genom krympspänningar av för tjockt applicerad puts. Av Henström (1869) framgår att en tjock puts lätt faller ner. Han framhåller därför att den totala putstjockleken skall

utföras så tunn som möjligt. Han skriver att putsen skall vara omkring 6-8 mm tjock men aldrig över 12 mm. Vidare framgår att putsen byggs upp i två till tre lager.

Av exemplet framgår samma förhållningsätt mellan författarna men gränsen för vad som är för tjock puts skiljer sig tydligt åt dem emellan. De skiljer sig också åt i motivering till vad som orsakar skadan, i den meningen att motiveringen utvecklas i större grad av Dührkop *et al.* (1966) än av Henström (1869). Att skillnad i motivering finns är att ses i relation till att ämnet har breddats och fördjupats under de hundra år som skiljer de båda handböckerna. Det skall också ses i relation till de olika materiella förutsättningar som var gällande. Dührkop *et al.* har fabriksframställda bindemedel, torrbruk och uppställda standarder för brukets sammansättning att förmedla det rådande förhållningsättet till. Henström å andra sidan förmedlar det rådande förhållningsättet i relation till att läsaren kan ha en roll i framställning av bindemedel och bruk samt den variation i råmaterialets egenskaper som fanns i landet. Det påverkar dialogen mellan författare och läsare. Henström kan inte som Dührkop *et al.* ta stöd i fastställda materiella förutsättningar när han förmedlar förhållningsätt. Det ger uppkomst till osäkerhet om gällandet för de teoretiska modeller som han förmedlar. Osäkerheten belyses av Henström (1869) men också av Stål (1854) och Rothstein (2003). Detta framgår av att författarna uppmanar läsaren att genom försök pröva och komplettera de teoretiska modeller av handlingsplaner som förmedlas.

”Det rätta förhållandet mellan murbrukets beståndsdelar, är en av de viktigaste omständigheterna, på vilket dess godhet beror. Alla föreslagna murbrukssatser kunna endast gälla för de kalksorter, med vilken man genom försök och erfarenhet blivit noga bekant. Så mycket vet man i allmänhet, att de orena eller magra kalkarterna tåla mindre sand än de rena eller feta, och av dessa tål den kalk som i luften sönderfallit till mjöl, alltid mindre sand än syrkalken” (Rothstein 2003, s. 220).

De förslag Rothstein förmedlar behöver verifieras. Härigenom uppstår en dialog mellan författare och läsare. Dialogen kan sägas vara en växelverkan på distans mellan teori och praktik i den meningen att läsaren omsätter teorin i praktiken. Läsaren uppmanas samtidigt att kritiskt granska teorin genom försök, där observation och reflektion är av väsentlig betydelse. Av Rothstein och citatet att döma är syftet att uppnå kvalitetssäkring genom återkoppling till den teoretiska modell som förmedlas i handböckerna. Att läsaren uppmanas att vara observant eller utföra prov eller försök i relation till framställning av bindemedel och bruk är något som är återkommande i handböckerna av Stål (1854), Henström (1869) och Rothstein (2003). Av de tre författarna förefaller detta vara en naturlig del i dialogen mellan författare och läsare. Dialogen är helt främmande i ett nutida perspektiv då dialogen kräver kunskap om lokala råmaterial och framställningsmetoder för bindemedel och bruk (t.ex. bränning, släckning och proportionering) d.v.s. upprätthållen materiell och metodisk kompetens.

Ord som används för att t.ex. tydliggöra kvalitét eller utfall av en metod är *sämre*, *bäst*, *godhet*, *vanliga kalken* eller att kalken skall *vara nysläckt* men ofta saknas vidare förkla-

ring av varför (e.g. Stål 1854; Rothstein 1856, 1875, 2003; Henström 1869, 1896). Vag motivering och otillräckliga beskrivningar förekommer i flera handböcker under 1800-talet. Av Rothstein (2003) framgår t.ex. inte vad det *rätta förhållandet* är eller vad som avses med *godhet*. Den vaga underbyggnaden gällande förståelse om vad som avses med betydelsen av t.ex. orden sämre, bäst eller godhet bidrar till att material och metoder är svagt motiverat i sin situation eller sammanhang. Som läsare blir begreppen otydliga när man saknar erfarenhet av vilka egenskaper som kan utgöra skillnad, vid användning av t.ex. bruk med nysläckt eller lagrad kalk, eller vilka egenskaper som definierar ett gott bruk i en kunskapskultur som historiskt huvudsakligen kommunicerat internt. Relevant är att ställa sig frågan, kan jag ta till mig förmedlad kunskap som är baserad på erfarenhet för att sedan tillämpa kunskapen vid en renovering? I synnerhet gäller detta kunskap som hanterar bedömningar eller som utgörs av ett bestämt förhållningsätt i syfte att välja material eller påverka en bränning eller släckningsprocess i en viss riktning. Svaret på frågan är att utan materiell och metodisk erfarenhet av bruksframställning är det svårt, för att inte säga omöjligt, att på ett förståeligt plan reflektera över uppgifter i olika handböcker om olika kalkbindemedel och bruks egenskap eller släckningsmetoders påverkan på bruket. Trots sina brister innehåller de historiska handböckerna mycket information och är en viktig källa för att förstå hur bindemedel och bruk tidigare har framställts. För att förstå handböckerna fullt ut är det tydligt att empirisk kunskap behöver utvecklas eller återtas i sådan omfattning att materials egenskaper och metoders påverkan blir så tydliga att de är möjliga att observera. Detta är av väsentlig betydelse då det har en direkt påverkan på förutsättningen att formulera forskningsfrågor om historiska bruk.

I handboken av Dührkop *et al.* (1966) finns inte samma utgångspunkt för dialog som i 1800-talets beskrivna handböcker beroende på att bindemedel och bruk framställs som standardiserade halvfabrikat. Det innebär inte att läsaren inte ombeds observera och reflektera, men den materiella och metodiska delen i framställning av bruk är lyft ur dialogen. Nu är det mer en fråga om att välja rätt standardbruk till en viss situation, något som också fabrikanterna i våra dagar tillhandahåller. Med så bestämda förutsättningar ökar behovet av att motivera valet av bruk till en viss situation, inte minst med tanke på att de som man vid tiden riktar sig till tidigare framställt bindemedel och bruk. Det är också ambitionen att motivera som utmärker handboken, troligtvis är det också därför Dührkop *et al.* fortfarande är en ofta använd referens.

Bakom det som förmedlades i handböcker under 1900-talets mitt låg ett ökat behov av fler bostäder som i sin tur drev på utvecklingen av nya material och snabbare byggmetoder. I den processen upptäcktes och uppmärksammades att gamla metoder och material inte fungerade med de nya materialen och den ökade byggnadstakten. Byggindustrin reagerade fort på de problem som uppmärksammades, detta blev starten för professionsöverskridande samarbeten där hantverkare och ingenjörer arbetade tillsammans, i olika undersökningar, i laboratorium och i fält (Eriksson 2015). Det övergripande syftet med samarbetet var att ta fram allmängiltiga riktlinjer för bruks sammansättning och puts-

arbetes utförande. Studiemetodiskt präglades arbetet av växelverkan mellan teori och praktik med fokus på hur hantverkets metoder och material samverkade i praktiken. I citatet nedan framgår att professionsöverskridande samarbeten sågs som ett viktigt sätt att arbeta i undersökningar om bruks användbarhet i praktiken.

”Undersökningar ha utförts under intim kontakt med putsningsarbeten utförda i praktiken. Arbetsbarhet och krympningsrisk har för olika blandningar och putstyper i detalj studerats både på arbetsplatsen och på laboratoriet där dessa olika faser noga följts och studerats. I dessa arbeten har fackkunnig och praktiskt arbetande personal deltagit. Med ledning av dessa studier och undersökningar har vissa närmekurvor för sand för olika putsändamål kunnat fastställas och i praktiken ytterligare verifieras.” (Nycander och Bährner 1950, Modern putsteknik, s. 18).

Förändringen av en starkt rotad byggnadstradition skedde under en förhållandevis kort tid (10-15 år) i mitten av 1900-talet och berodde troligen på flera samverkande faktorer. Det professionsöverskridande samarbetet om putsbruk hade förmodligen en avgörande betydelse inte minst för att det ökade möjligheten att kommunicera om bruk utanför den hantverkliga kunskapskulturen. Behov av att skapa samband mellan formulerad teori och praktikens kunskap och förutsättningar är dock inte ett nytt behov i ämnesområdet. Det avspeglas i tidigare forskning om bruk för t.ex. slusskonstruktioner för sjöfart, vilket framgår av Paschs brev till Göta kanals bolagsstyrelse 1824.

”Planen för dessa undersökningar har alltid varit sådan att praktiska och för kanalarbetet användbara resultat utgjort deras första syftemål. Det vetenskapliga har likväl alltid gått vid sidan av de mera i stort anställda försöken, dels för att tjäna så som ledtråd vid dessa och dels för att möjligen förbereda en allmän teoretisk åsigt av detta ämne” (Pasch 1824, s. 229).

Av Pasch framgår att hans frågeställning och forskning syftar till att artikulera praktikens användbara resultat utifrån ett vetenskapligt synsätt. Pasch arbetade med undersökningar av bruk i fem år för Göta kanalbolaget. Av den mångåriga forskningstiden och att Pasch skriver att han förbereder en allmän teori kan förstås att empirisk forskning kan eller behöver ta tid.

Att hantverkets kunskap har lika stor betydelse som andra professioners kunskap i en byggnadsvårds- eller konserveringsprocess är logisk och på inget sätt en ny insikt, något som framgår tydligt av Feilden (1994). Han menar för att arbeta med konservering av historiska byggnader behövs skickliga hantverkare där förståelse och kunskap om hantverkets historiska tekniker är en väsentlig del av hantverksskickligheten. Detta för att kunna analysera historiskt utförande och framställningsmetoder. De skickligaste hantverkarna menar Feilden bör bedömas som bevarande hantverkare och ha status lika med andra yrkesgrupper som bedriver bevarande. Enligt Feilden behöver historisk hantverkarkunskap som förlorats återtas och fler utbildas till konserveringshantverkare. Av Feilden kan förstås att det kan göras genom vidareutbildning av hantverkare där vetenskapligt arbete är en del i utbildningen. Han menar att konserveringsarbetet är en multidisciplinär uppgift där olika professioner tillsammans bidrar till arbetets helhet, varför kommunikation mellan olika yrkesgrupper är mycket viktig.

Vikten att kunna kommunicera ett ämne som involverar olika professioner framgår också av Torraca (1988). Med boken *Porous Building Materials* syftar Torraca att skapa en länk mellan teori och det praktiska arbetet med konservering i fält. I boken belyses nedbrytning av porösa byggnadsmaterial som bruk och tegel. De problem som uppstår belyses dels genom kemiska och matematiska formler och dels deskriptivt genom bildserier som speglar nedbrytningsprocessen av porösa byggnadsmaterial. Boken avser att kunna användas som undervisningsmaterial för restaureringsarkitekter. I boken saknas dock det hantverkliga utförandet som behövs för att åtgärda de problem som beskrivs. En mer praktisknära ansats till konserveringsarbete på historiska byggnader återges i en serie av tio handböcker under titel *Practical Building Conservation* utgiven av Historic England (2015). Handböckerna fokuserar på hantverket i vård och bevarande av historiska byggnader. I handböckerna beskrivs olika hantverk och material men också byggnaders inre och yttre miljö.

Böckerna vänder sig till dem som på olika sätt arbetar med bevarande av historiska byggnader så som hantverkare, forskare, arkitekter, studenter, ingenjörer m.fl. Den fjärde boken i serien, *Mortars, Renders & Plasters* av Henry och Stewart (2011), behandlar muraryrkets material och metoder på ett djuplodande sätt. Handboken ger god förståelse för vad som orsakar skador på byggnader och hur problemen kan hanteras. Handboken är lätt att förstå genom beskrivande bildserier och stödjande text. I relation till Henry och Stewart förmedlas i boken *Building Limes in Conservation* av Brocklebank *et al.* (2012) ämnet ur ett mer naturvetenskapligt perspektiv men också historisk genom litteratur. Boken består av flera artiklar med olika författare och är indelad i tre kapitel. I kapitel ett ligger fokus på förståelse av bruk baserade på kalk och Romancement. Kapitel två fokuserar på provning, analysmetoder av bruk och standarder för byggnadskalk, och kapitel tre belyses historiska framställningsmetoder för kalkbindemedel och bruk dels genom analys av litteratur och dels genom olika empiriska försök.

Författarna Torraca (1988), Henry och Stewart (2011) samt Brocklebank *et al.* (2012) speglar väl ämnesbredden men representerar två olika implementerande ansatser. Å ena sidan den praktisknära där hantverket sätts in i konserveringsprocessen, å andra sidan den naturvetenskapliga grundförståelsen för materials egenskaper. Båda behövs om byggnadsvårdsåtgärder skall kunna kvalitetssäkras. Forskning som tar utgångspunkt i den hantverkliga situationens metoder och hantering av material är svagt representerad i ämnet historiska bruk vilket framgår bl.a. av de samlade artiklarna som presenterades på Historic Mortar Conferens 2016. Av de hundra bidrag som sändes in är den övervägande delen undersökningar som utgår från gjutna bruks prover, analyser av historiska bruk eller undersökningar gjorda i laboratorier. Av de hundra artiklarna är det ca fjorton stycken artiklar som beskriver undersökningar med koppling till praktikens förutsättningar. I dessa är syftet bl.a. att jämföra resultat av prov i laboratorier, utveckla frågeställningar för vidare forskning och metodutveckling eller göra rekonstruktioner av historiska bruk. Artiklar med metodutveckling var tydligt koncentrerade till problemställningar med konserveringsarbete och injicering av bruk. Detta visar på en ojämn

fördelning av hur forskning om historiska bruk utförs samt under vilka förutsättningar resultat och forskningsfrågor utvecklas. Ett sätt att nå en bättre jämnvikt i forskning om bruk vore att involvera hantverkarna i större grad. Att det inte sker är troligen en fråga om utbildning för hantverkare men också för forskare.

Praktiknära forskning i syfte att tydliggöra hantverkets påverkan på brukets egenskaper har varit utgångspunkt för flera utvecklings- och forskningsprojekt inom kulturminnesvården. I Sverige och i närtid har flera projekt bedrivits (e.g. Persson 2012; Balksten, Persson och Eriksson 2013; Eriksson 2012, 2015; Mebus och Balksten 2015; Sandström Malinowski 2016). Under senare tid har allt fler hantverkare börjat ta plats i byggnadsvårdens diskussion. Detta framgår av presentationerna i bl.a. Nordiskt forum för byggnadskalk och Byggnadsvårskonventet i Mariestad. För att nämna några exempel: Murarmästaren Olav Reese presenterar i detta forum arbetet med *Akershus festningsmurer – fra en entrepreneurs synspunkt* (2015). Ett pågående utvecklingsprojekt om att återta kunskap om historiska bruk (*Rediscovering traditional mortars*) presenterades av muren Chris Pennock 2017. Murarmästaren Henrik Nilsson och konservatorerna Hanna Eriksson och Ingrid Wedberg presenterade på Byggnadsvårskonventet i Mariestad (2017) en tvärprofessionell undersökning av medeltida kalkputs och målningar ovan valv i kyrkor. Även i andra hantverksyrken märks att hantverkare blivit mer aktiva i olika publikationer. Detta framgår av bl.a. Hantverkslaboratoriets (Göteborgs universitet) som sedan 2010 get ut publikationer och filmer där hantverkare beskriver utförande och undersökningar (e.g. Lilja 2015, *Handbok i kallmurning*; Andersson 2015, *Vedeldade bakugnar*; Jarefjäll 2016, *Navarsmide: en metodstudie ur ett hantverksperspektiv*; Lassen 2014, *The invisible tools of a timber framer*). En annan publikation där hantverkare beskriver sitt arbete är Byggnadskultur (Svenska byggnadsföreningen), som sedan ca två år har ett stående artikeluppslag med titeln *Byggnadsvårdens hantverk*.

1.5 Metod

I detta kapitel beskrivs de material och metoder som använts för att belysa och svara på avhandlingens frågeställningar.

Kan upparbetning och lagring av kalk påverka uppkomsten av krympsprickor i bindmedelrika bruk?

I kapitel 2 ligger fokus på att belysa kunskapsläget om krympsprickor i bruk samt genom analys av litteratur tydliggöra skillnader i bindemedel och bruks framställning. Avsikten är att ge sammanhang, och att tydliggöra vilka material, metoder och förhållningsätt som använts vid framställning av bindemedel och bruk under olika tidsperioder. Analysen speglar också hur den empiriskt utvecklade frågan i fält initialt bearbetats för vidare studier (se figur 3).

I kapitel 2.1 sammanställs och belyses kunskapsläget om orsaker till krympsprickor i bruk samt hur krympsprickor i bruk bedöms i litteratur under 1800-, 1900- och 2000-tal. Kapitel 2.1 är indelat i två perioderna 1800-1900-talets mitt och 1900- talets andra

hälft och 2000 talets början. Den valda litteraturen spänner brett över kunskapsområdet och omfattar därför handböcker, byggnadslitteratur och forskning om bindemedel och bruk. Den valda litteraturen är i huvudsak handböcker och byggnadslitteratur på svenska men också litteratur och forskning på Engelska finns med i urvalet.

Att krympsprickor är en felaktighet i puts och bruk är känd kunskap, att det finns både materiella och metodiska orsaker till att krympsprickor uppstår är också känd kunskap. Det är i huvudsak samma orsaker till krympsprickor som beskrivs under de olika perioderna. Varför jag valt att indela kunskapsläget i olika perioder beror på att under 1800- och fram till 1900- talet mitt framställdes bindemedel och bruk på arbetsplatsen som en del i det dagliga yrkesutövandet. Under 1960 talet introducerades färdiga torrbruk på påse, i samband med det upphör framställning av bindemedel och bruk i yrkets utövning. I slutet av 1960 talet började byggnadsvården intressera sig för historiska bindemedel och bruk. Det innebär att beskrivna orsaker och orsakssamband till krympsprickor ingår i olika sammanhang. Exempelvis speglar litteratur under 1800-talet hur bindemedel och bruk framställs medan litteratur under 2000-talet speglar forskning och frågor om hur bindemedel och bruk tidigare har framställts. För att de olika sammanhangen skall bli överblickbara har sammanställningen av kunskapsläget indelats i olika perioder.

I kapitel 2.2 beskrivs empiriska erfarenheter av att framställa bruk till olika projekt. Observationer i samband med två beskrivna projekt visar att i ett projekt (*Jämtländsk byggnadskalk*) har det varit möjligt att framställa bruk med en hög bindemedelhalt utan att oacceptabla krympsprickor uppstått medan det i ett annat projekt (*Källstorps gårdskapell*) med magrare bruk uppstått krympsprickor i en frekvens som varit oacceptabel. I de två olika projekten framställdes och användes våtsläckt kalk. Kalken släcktes med samma metod men den framställda kalken behandlades på olika sätt innan den blandades med sand till bruk. I projekt *Källstorps gårdskapell* upparbetades den släckta kalken för att silas och paketeras, därefter lagrades kalken en tid innan den blandades med sand till bruk. I projekt *Jämtländsk byggnadskalk* framställdes bruket på nysläckt kalk dvs. utan upparbetning, silning eller lagring. Observationerna i fält formulerar frågan ”kan upparbetning och lagring av kalk påverka uppkomsten av krympsprickor i bindemedelrika bruk?”

Med utgångspunkt från känd kunskap i kapitel 2.1 och de i kapitel 2.2 beskrivna erfarenheterna görs i kapitel 2.3 en översiktlig analys av den förändring av bruksframställning som sker mellan 1800- och 1900-tal. Analysen tydliggör att det finns materiella och metodiska skillnader mellan hur bruk framställs under 1800- och 1900-tal. Till de materiella skillnaderna hör att under 1800-talet används bindemedelrika bruk medan det under 1900-talet används magra bruk. De metodiska skillnaderna gör sig tydlig i en ökad mekanisering av bindemedel och bruks framställning under 1900-talet. Det finns också tydliga skillnader i när och hur bruk blandas på den släckta kalken. Dessutom pekar analysen på att när framställningsmetoderna förändrades så förändrades också bedömningar och förhållningsätt av betydelse för hur bindemedel och bruk framställs. De två olika sätten att framställa bruk på nysläckt och lagrad kalk i de två putsprojek-

ten (kap.2.2) har likheter med det som utgör materiell och metodisk skillnad mellan 1800- och 1900-talet vid framställning av bruk. Sammanställd känd kunskap i kapitel 2.1 och den övergripande analysen (kap. 2.2) svarar inte på frågan: ”kan upparbetning och lagring av kalk påverka uppkomsten av krympsprickor i bindemedelrika bruk? Den övergripande analysen pekar på behov av ytterligare undersökningar av vad som utgör skillnader mellan hur bruk framställs under 1800-tal och 1900-talet.

I en litteraturanlys (kap. 2.4) inplaceras avhandlingens frågeställningar i en mer koncentrerad kontext där material, metoder och förhållningsätt vid släckning av kalk och blandning av bruk belyses, jämförs och analyseras. Analysen bygger på svensk litteratur som beskriver och användning av bindemedel och bruk under den tid då framställning av bindemedel och bruk var en del i den hantverkliga arbetsuppgiften. Avsikten är att synliggöra vad i detalj som skiljer släckning av kalk och blandning av bruk under olika tidperioder. Källmaterialet i kapitel 2.4 är handböcker och byggnadslitteratur på svenska. Den valda litteraturen speglar material, metoder och förhållningsätt vid framställning av bindemedel och bruk från 1800 talets början fram till 1900-talets mitt. Motivering till att Svensk litteratur i huvudsak använts är att de empiriska erfarenheterna och frågeställningarna har tagit utgångspunkt i svensk byggnadstradition, materialgeografi, bindemedel och bruksframställning. Analysen visar att det finns skillnader i hur bindemedel och bruk framställs men också att det finns olika sätt att förhålla sig till material och metoder under de olika perioderna. Emellertid svarar inte analysen på den i fält empiriskt utvecklade frågan. Uppgifter som kan kopplas till frågeställningen framkommer men de svarar inte på frågeställningen. Analysen ger insikt i att ytterligare undersökningar behövs för att svara på den empiriskt formulerade frågan ”kan upparbetning och lagring av kalk påverka uppkomsten av krympsprickor i bindemedelrika bruk?

Jämförelser av olika studier av bruk

I kapitel 3.1 presenteras artikeln ”*Development of mortars in Sweden during the period 1800-1950*” (Eriksson, Johansson och Lindqvist 2016). I artikeln presenteras en undersökning som bygger på sammanställning och jämförelse av olika studier av bruk. Studien fokuserar på bindemedel och bruks blandningsproportioner samt vilken roll hantverkare och ingenjörer haft i förändring och utveckling av bindemedel och bruk. Metoder som använts i undersökningen är analys av handböcker och byggnadslitteratur litteratur från 1800- och 1900-talet samt mikroskopi och kemisk analys från 70 prover av bruk från byggnader år 1800 till 1920. I undersökningen har information om brukets sammansättning presenterad i Eriksson (2015) och Johansson (2006) sammanställts och jämförts. Källmaterialet representerar tydliga brytpunkter i samhällsutvecklingen och uttalat behov av forskning om bruk. De samhällsmässiga förändringarna var tydligt kopplade till industrialiseringen under 1800-talet samt urbaniseringen under 1900-talet. Förändringarna hade påverkan på bruks sammansättning för vattenbyggnadskonstruktioner och byggnader i sten för bostäder och jordbruk. Den valda litteraturen speglar också den svenska råmaterialgeografin och dess betydelse för jordbruk, hantverk,

Figur 4. Gamlegården, Österäng, Götene kommun. Bilden visar en fältugn byggd 2015. Byggnation och bränning av kalk i fältugn är ett återkommande moment i hantverksutbildningen vid institutionen för kulturvård Göteborgs universitet. Ugnen är byggd av kalksten och jord som fanns lokalt. Ugnen är byggd efter uppmätta kalkugnar i Jämtland (Persson 2012) och rekonstruktion av Bernerman (2015). Ugnen är lågbyggd med två eldgångar dvs. den är bredare än den är hög vilket gör att värmen fördelas över en stor yta under kalkstenen när den bränns. Konstruktionen är billig och kan byggas med enkla medel men inte särskilt effektiv då ca 20-30 procent av kalken blir obränd eller ofullständigt bränd.



industri och forskning om bruk. Vid analys av de 70 bruksproverna har mikroskopi av tunnslip och kemisk analys av syralösliga komponenter använts (Lindqvist och Sandström 2000; Lindqvist och Johansson 2009; Johansson och Lindqvist 2010).

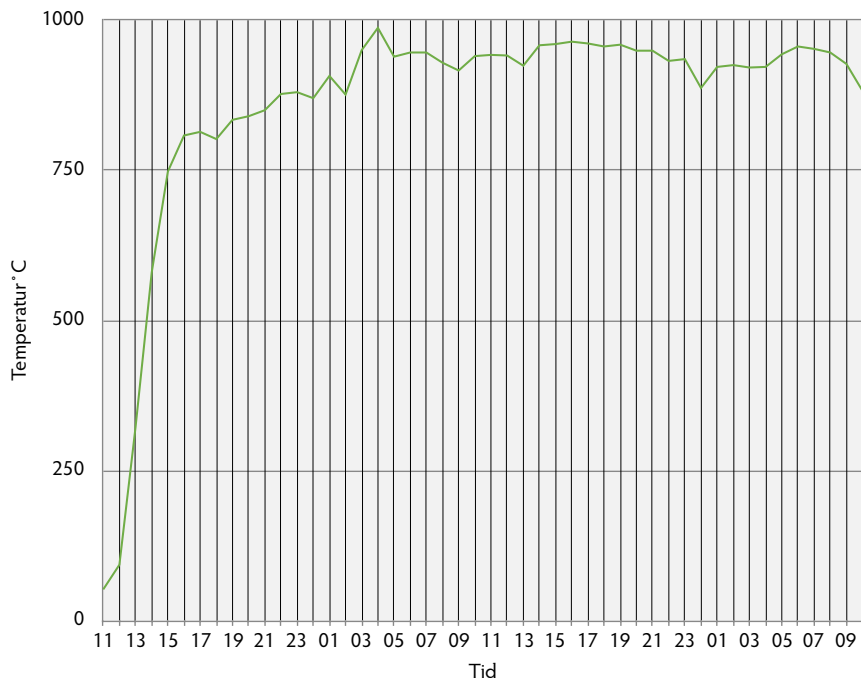
Kvalitativa och kvantitativa studier av krympsprickor i bruk

I kapitel 3.2 presenteras artikeln ”*Lime render, shrinkage cracks and craftsmanship in building restoration*” (Eriksson och Lindqvist 2018). I studien undersöks om lagring och upparbetning av våtsläckt kalk har påverkan på uppkomst av krympsprickor i puts. Studien gjordes i Göteborgs universitets verksamhetslokaler i Mariestad. Frågeställningen om krympsprickor och dess koppling till kalkens lagring och behandling tar stöd i empiriska erfarenheter, litteraturundersökningar och professionsöverskridande studier (Eriksson 2012, 2015; Persson 2012; Balksten *et al.* 2013; Mebus och Balksten 2015; Eriksson *et al.* 2016). Studien kombinerar kvantitativa laboratoriemetoder med kvalitativa hantverkliga bedömningar vid blandning av bruk och putsutförande. Hantverkliga bedömningar har betydelse för behov eller beslut att tillsätta vatten för att justera brukets arbetbara konsistens. Då vatten är grundorsak till att bruk krymper är hantverkarens bedömning av brukets arbetbarhet av central betydelse i undersökningen. I kapitel 3.2, tabell 1 ges en översiktlig bild av ordningsföljd och beslut i undersökningsprocessens olika steg avseende framställning av material, applicering av puts och mätning av utbredningsmått och sprickfrekvens.

Brukets delmaterial

Bindemedlet som används i studien är framställt av kambrium- ordovicisk kalksten från Kakeled gamla dagbrott, beläget på sydvästra sidan av Kinnekulle, Götene kommun, Västra Götaland. Ägare är Hellekis säteri AB. Kalkens kemiska sammansättning ger enligt Johansson (2006) förutsättning för sub- eller svagt hydrauliskt hårdnande kalk. Kalken är bränd i en fältugn (fig. 4) analogt med rekonstruktion av Bernerman (2015). Kalken brändes den 19 till 20 oktober 2014, vid bränningen gjordes mätningen av temperaturen

Bränning av kalk i fältugn 2014-10-19

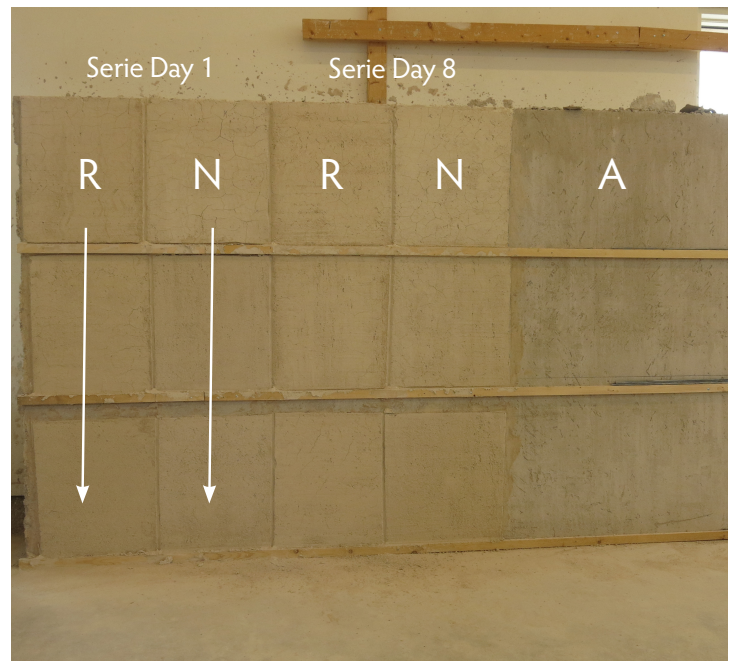


Figur 5. Diagrammet visar temperaturen i en fältugn uppförd 2014 i Johannesbergsparken, Mariestad. Byggnation och bränning av kalk gjordes som ett moment i hantverksutbildningen. Mätning av temperaturen gjordes i centrum av ugnen. Kalk som efter sortering var genombränd användes sedan till bruket i undersökningen.

i centrum av den kalksten som brändes (fig. 5). Den brända kalken förvarades i lufttätt lockringsfat fram tills att den användes i undersökningen. Som ett föregående moment till kalkens släckning sönderdelades kalken i mindre bitar, i storlek upp till ca 50 mm. Vid släckningen placerades kalken i en perforerad korg. Korgen med kalken doppades i kallt vatten under 25 sekunder för att kalken skulle suga åt sig vatten och bli genomfuktad (se Eriksson 2015, kap. 5). Efter doppningen fick överskottsvattnet rinna av varefter kalken hölls ner i ett fat med varmt vatten (80°C). På fatet lades ett lock, ovanpå locket placerades fyra lättklinkerblock (ca 56 kg). Viktproportionerna bränd kalk och varmt vatten var 18,5 kg kalk på 22 kilo vatten. Mängden vatten som användes vid släckningen var avstämd så att arbetbar konsistens uppnåddes utan att vatten tillsattes vid blandning av bruket.

Till de bruk som användes i studien var två sorters våtsläckt kalk framställt. En kalksort som efter att den var släckt bearbetades 30 minuter i en planblandare av märket Alm, BL 150 (kalksorten benämns upparbetad kalk). Efter bearbetning fördelades och lagrades den släckta kalken i fem behållare med samma mängd kalk i varje behållare (en behållare för varje serie se nedan). Den andra kalksorten bearbetades inte och lagrades i sin släckningsbehållare direkt efter släckning (kalksorten benämns ej upparbetad kalk). I studien ingår 30 provytor fördelade på fem serier (sex provytor i varje serie). De fem serierna är utförda med olika tidsintervall (1, 8, 15, 32 och 68 dagar) från det att kalken är släckt. I varje serie ingår tre bruk baserade på kalk som upparbetats och tre bruk på kalk som inte upparbetats. Sammansättningen för bruk med upparbetad och ej upparbetad kalk framgår av tabell 2 i kapitel 3.2 (upparbetad kalk betecknas i tabellen med R och ej upparbetad med N).

För att de två kalksorterna inte skulle torka under lagringen mellan de olika provserierna var behållarna försedda med tätslutande lock. Den upparbetade och ej upparbetade



Figur 6. Göteborgs universitets verksamhets lokaler i Mariestad. Bilden visar provväggen med sin grundade och avjämnade yta (A) ovanpå denna yta är två serier bruk applicerade (serie Day 1 och 8). I varje serie placeras tre provtytor med bruk på upparbetad kalk (R) bredvid tre provtytor med bruk på ej upparbetad kalk (N). Foto: Jan Erik Lindqvist.

kalkens torra innehåll av kalk bestämdes genom att torka kalken under 12 timmar vid 200 °C. Den upparbetade kalkens torra innehåll av kalk var 520 g per 1000g kalkpasta och den ej upparbetade kalkens torra innehåll av kalk var 521 g per 1000g kalkpasta. Till bruket i studien användes en mur och putsand som i huvudsak var sammansatt av kisel och fältspat. Sanden i undersökningen användes naturfuktig och lagrades i behållare försedda med lock. Sandens innehåll av vatten var 4.4 vikt procent, mängden vatten bestämdes genom torkning av 2000g naturfuktig sand under två timmar i 105 °C. Sandens kornfördelning framgår av figur 1, i kap. 3.2.

Förberedelse av provytornas underlag samt applicering och provning av det färskas bruket

De trettio provtytor i studien applicerades på två fristående 200 mm tjocka murar av lättbetong. Murarna uppfördes två månader innan undersökningen startade, lättbetongen levererades från fabrik inslagen i plast. Som sugande underlag till provytorna var en 5 mm tjock kalkputs applicerad på murarna, jämnheten på putslagret kontrollerades med rätskiva. Kalkputsen applicerades på murarna 14 dagar innan de första provytorna uppfördes. Varje provyta hade en höjd av 600 mm och bredd av 500 mm. Provytans tjocklek var 9 mm, detta bestämdes genom att på var sida av provytan vertikalt trycka in 2 st. 8 mm tjocka rundstål i bruk, mellan underlag och rundstål uppstod då ett 1 mm tjockt skikt bruk. Horisontalt avdelades ytorna med läckt av trä. Provytans bruk appliceras med slev (kakel slev) och avjämnades sedan med en kanitz i trä. Därefter lades kanten på en bräda mot rundstålen och den avjämnade ytan stockades med sågande rörelse till avsedd tjocklek. I varje serie applicerades bruk med upparbetad kalk intill bruk med ej upparbetad kalk, på det viset bedömdes underlagets sugning vara lika för de båda brukstyperna i varje serie (fig. 6). I syfte att framkalla krympsprickor utfördes ingen förvattning av det kalkputsade underlaget innan provytorna applicerades. Puts-



Figur 7a -7d, Göteborgs universitets verksamhets lokaler i Mariestad. Figur 7a visar ett bord avvägt i våg, på bordet är en regel monterad (A), regeln är ledad så att den kan lyftas mot ett anhåll (B). Från anhållet släpps regeln och träffar ett anslag i form av en läkt (C). Läkten är monterad i linje med centrum av var bruket placeras på bordet. I figur 7b placeras bruket på utmärkt plats med hjälp av en cylinder (D) som fylls med bruk.

ningen av provytorna utfördes mellan den 28 maj och 3 augusti 2015. Under testperioden var temperaturen 16-18 °C, kontrollerad av byggnadens termostat. Provytorna var under provperioden inte utsatta för direkt solljus.

I nedanstående stycken beskrivs metoder för mätning och hur det färska brukets blandningsbarhet och arbetbarhet bedömdes. Därutöver bedömdes behov av att tillsätta vatten för att justera arbetbar konsistens, brukets öppentid, förekomst av klumpar i bruket samt om bruket separerar vatten (Av tabell 2 i kapitel 3.2 framgår de dokumenterade bedömningarna). En sammanvägning av mätresultat och hantverkliga bedömningar antogs ge objektiva och kommunicerbara resultat rörande hur lagring och upparbetning av kalk påverkar brukets egenskaper. Bruken i studien blandades under 4 minuter med en elektrisk brukvisp av märket Makita. Brukets blandningsbarhet indelades i kategorierna lätt, moderat och svår att blanda. Bedömningen utgick från hur väl brukets delmaterial blandade sig till en homogen massa samt hur det var möjligt att tillsätta sanden till kalken utan att det blev för tungt för maskin och människa att blanda bruket. I relation till hur tungt det var att blanda kalk och sand togs beslut om sanden skulle tillsättas kalken på en gång eller i portioner där maskinen får jobba lite mellan varje portion sand.

Direkt efter att bruket blandades mättes brukets utbredningsmått. Syftet var att få ett kvantitativt värde på brukets arbetbarhet som bedömdes kvalitativt. Den kvalitativa

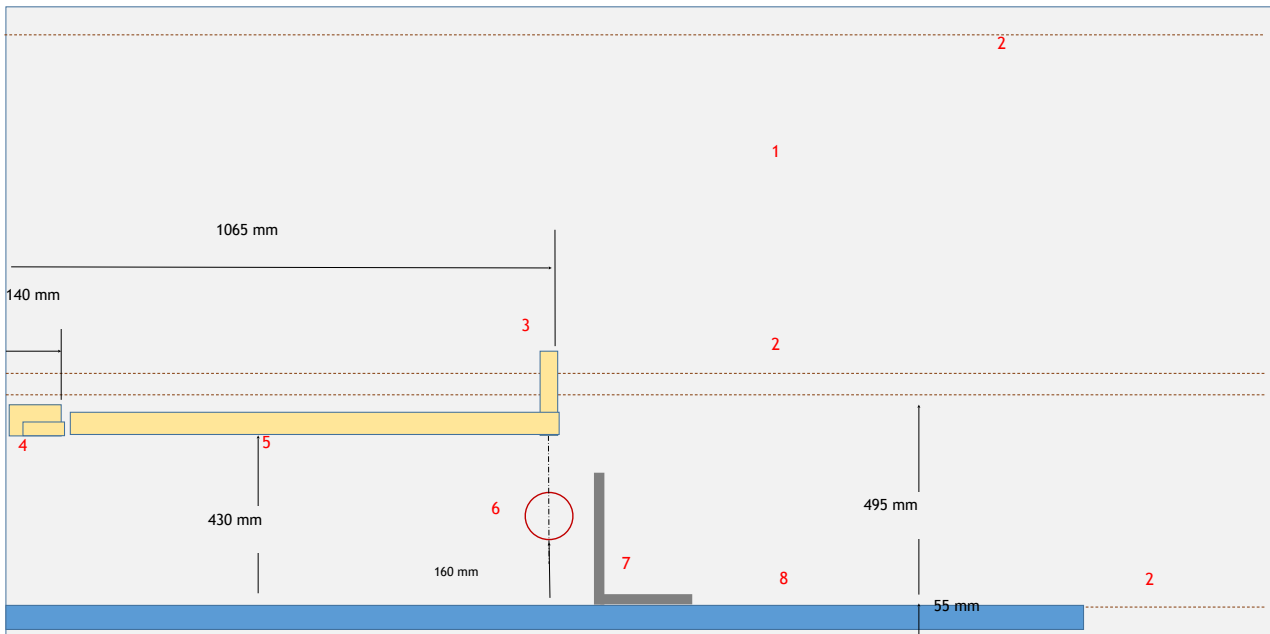


I figur 7c är cylindern borttagen, nu lyfts regeln mot anhållet och släpps mot anslaget 20 gånger. I figur 7d mäts från centrumlinjen brukets utbredning, det görs på höger och vänster sida av linjen. Medelvärdet anges som brukets utbredningsmått. Mätningen utförs med en vinkel som läggs an mot en linjal som är fäst i bordets kant. I bild 7e visas bordet i vy uppifrån vidare beskrivs vilka material som är använda. Foto: Jan Erik Lindqvist.

bedömningen indelade brukets arbetbarhet i fyra kategorier lös, medium, styv och ej arbetbar konsistens. Den hantverkliga bedömningen bygger på beprövad erfarenhet och utgick från arbetsuppgiften att applicera och bearbeta ett 9 mm tjockt bruksskikt i provytans storlek med de ovan beskrivna verktygen (Skolverket 2015). De kvantitativa värdena för brukets arbetbara konsistens var för: lös 114-121 mm, medium 109-113, styv 104-108 mm och för ej arbetbar mindre än 104 mm. Metoden för att bestämma de kvantitativa värdena framgår av figur 7a, b, c, d, e. De bruk som bedömdes arbetbara applicerades på provväggen. De bruk som bedömdes ej arbetbara tillsattes vatten och blandades under tre minuter därefter bedömdes arbetbarheten genom att bearbeta bruket med slev. Efter bedömningen mättes brukets utbredningsmått vid värde över 104 mm accepterades arbetbarheten och bruket applicerades på provväggen.

Mätning av sprickfrekvens och sprickvidd i det hårdnade bruket

Antalet krympsprickor som provytorna uppvisade kvantifierades genom att räkna antalet sprickor som korsar en fastställd linje också benämnd linjetraversanalys (Underwood 1970). Den fastställda linjen hade en total längd av 3580 mm och var jämt fördelad över provytan. Mätningen utfördes genom att placera ett antal metallramar i centrum av varje provyta (se kap. 3.2, fig. 2). De uppkomna sprickornas vidd mättes med en mall (fig. 8). Baserat på de sprickvidder som provytorna uppvisade indelades sprickvidden i tre klasser: 0.1-0.4 mm, 0.4-0.8 mm samt >0.8 mm. De båda mätningarna avsåg att ge



Figur 7e. Skissen visar konstruktionen som utbreddningsmättet mätes med i vy uppifrån. 1: Bordsskiva i plywood (12 x 1200 x 2500 mm). 2: Streckad linje är de reglar (45 x 95 x 2500 mm) skivan är monterad på. 3: Anslag C i bild 7a (läkt (25 x 38 x 2500 mm). 4: Anhåll B som regel A i bild 7a släpps ifrån (tillverkad av brädvirke 22 x 95 mm). 5: Regel A i bild 7a (45 x 95 x 910 mm, vikt 2080 g). 6: En cylinder i plast (höjd 40 mm, inner diameter 103 mm, yterdiameter 110 mm). 7: Vinkelhake i stål. 8: Linjal i stål med mm skala (linjalen har en bred av 40 mm). Måtten 140 mm och 1065 mm är från skivans kant. Måtten 430 mm, 160 mm och 495 mm är från linjalens kant. Måttet 55 mm är från skivans kant.

information om antalet och hur kraftiga sprickor som uppstod i de provade brukna. Mätning av sprickvidd och frekvens gjordes från december 2015 till februari 2016.

Empiriska studier av krympsprickor och kalkskott i fält

I kapitel 3.3 presenteras artikel ”Putsrestaurering av en medeltida kyrka” (Eriksson 2019). I studien presenteras empiriska försök där användbarheten av bruk på nysläckt kalk utvärderas i en verklig volym och situation. Utvärderingen är gjord under 2016 och 2017 i samband med putsrestaureringen av Svenneby gamla kyrkas yttre fasad. Kyrkan är belägen i Tanums kommun i norra Bohuslän. Erfarenheter i fält, litterära källor i kapitel 2 samt kvantitativa och kvalitativa undersökningar pekar på att bindemedelrika bruk har använts och kan framställas på nysläckt utan att oacceptabla krympsprickor uppstår (Eriksson 2012, 2015; Persson 2012; Balksten *et al.* 2013; Mebus och Balksten 2015; Eriksson *et al.* 2016; Eriksson och Lindqvist 2018). Samtidigt visar källor i kapitel 2 att när bruk framställs på kalk med kort lagringstid kan skador uppstå, beroende på att kalken inte är helt släckt. De bruk som utvärderades är använda till grundning av kyrkans murverk, utfyllnad av murverkets fogar samt som ytputs för att ge kyrkan färg och textur. Utvärderingen gjordes i samarbete med de hantverkare som deltagit i putsarbetet vid kyrkans restaurering. Hantverkarna är Erik Andersson, Robert Berglund, Felix Clefberg, Jonny Eriksson, Martin Fernström, Christoffer Gabrielsson, Malena Kindberg, Ann Sofie Svensson, Dag Sävbom Eriksson.

Figur 8. Mallen är gjord av genomskinlig plast i storlek av ett kreditkort. På mallen finns tryckta linjer i olika bredder från 0,1 mm till 2 mm. Vid mätningen läggs mallen på sprickan varefter sprickans vidd jämförs med de markerade linjerna på mallen.



Berörda hantverkare iakttog om krympsprickor och kalkskott uppstod i de bruk som framställdes. Därtill bedömdes brukets arbetbarhet i relation till verktyg, brukets konsistens och underlagets sugning. Kalkskott, krympsprickor i bruk och bruk som inte är arbetbara genererar reaktioner då det är defekter i bruket som förstör resultatet eller hindrar utförandet av arbetet. Dessa defekter hos bruket kan påverkas; genom att blanda bruket magrare kan risken för krympsprickor minskas; genom att lagra kalken kan risken för kalkskott minskas; genom att byta verktyg eller ändra brukets konsistens kan brukets arbetbarhet påverkas. De samlade observationerna, bedömningarna och åtgärderna diskuterades med hantverkarna och dokumenterades i text och foto. Metoden för hantverkliga bedömningar bygger på beprövad erfarenhet (Skolverket 2015). Bedömningarna av brukets användbarhet bygger på att mängden bränd kalk och varmt vatten proportionerades efter vikt när kalken släcktes. Vikt proportionering användes också för att bestämma mängden släckt kalk och sand i de olika bruk som användes i restaureringen.

En känd orsak till kalkskott är att bränningstemperaturen varit så hög att det gett upphov till trög eller långsamt släckande kalk. För att minska denna risk rekommenderas i byggnadslitteratur under 1900-talet att kalken lagras minst en vecka när den skall användas till puts (Paulsson 1936; Hagerman 1946; Bährner 1956). Att mäta temperaturen i ugnen vid bränningen av kalken till putsprojektet bedömdes vara ett sätt att bedöma risken för skador av osläckt kalk. Emellertid säger mätvärdena bara något om temperaturen på den punkt som mätningen görs. Det innebär att det kan vara både lägre och högre temperaturer på andra ställen i ugnen. Ett sätt att förhålla sig till mätvärdenas giltighet har bedömts vara att en tillräckligt stor del av den kalk som bränns används och utvärderas på så stora ytor som möjligt. Utvärderingen av eventuella skador av

osläckt kalk och temperaturen kan sedan vara riktlinjer för fortsatt utveckling av ugnar eller handhavande av ugnen. Stora kostnader kan uppstå av att kalken expanderar och spränger sönder utförda fog och putsarbeten. För att begränsa denna risk inför projektet och under projektet, utfördes prov på mindre ytor. Positiva resultat ledde till att också större ytor putsades med bruk av nysläckt kalk. Proven utfördes genom att borsta in tunna skikt bruk på underlag av puts, förfarandet är analogt med den slutbehandling som är gjord i studien. Eventuella skador i dessa första provputsningar bedömdes ge information om hur stor risk det var för kalkskott. Eventuella skador skulle berört yt-skiktet och varit synliga för ögat och därför lätta att reparera. Av de ca 3,5 kubik kalk som brändes har ca 3 kubik förbrukats vid i restaureringen av Svenneby gamla och nya kyrka. Dessa inledande och kompletterande prov beskrivs i kapitel 4.5.

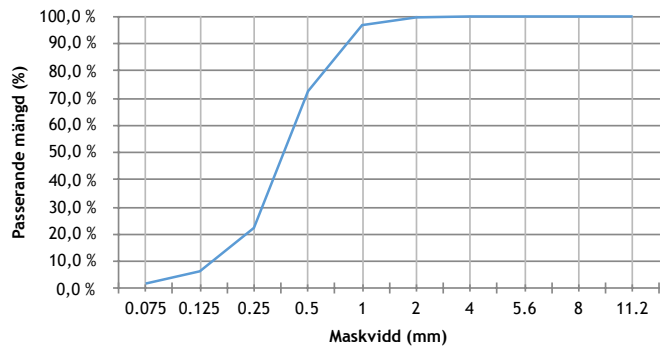
Mätning av ugnens temperatur

Mätningen av temperaturen i ugnen utfördes i utrymmet som kalken är staplad i (se kap. 4, fig. 4). Två givare placerades på höger sida, en vid botten av utrymmet och en ca 10 cm under kalkstenens övre nivå. På samma sätt placerades givarna på vänster sida. Givarna på höger och vänster sida var placerade på ett avstånd av 70- 80 cm från ugnens bakre vägg. Under eldningen mättes temperaturen kontinuerligt, varje timma dokumenterades temperaturen i ett diagram. Under eldningen reglerades temperaturen efter en teoretisk tänkt utveckling (gradient) se Eriksson (2015). Vid eldningen strävades efter att följa den tänkta gradienten samtidigt som max temperaturen inte skulle överstiga 1000°C. Temperaturgivarna var av typ K, modell CEFIR-20. Givarna var anslutna till mätinstrumentet med anslutningsledning av typ KX, modell P/PTW-20F. Anslutningskontakter var av typ K, modell standard (leverantör Pentronic AB, Västervik) Givarna placerades i bottnat skyddsror av 353 MA (leverantör Termalloys AB, Rättvik). Instrumentet som mätte temperaturen var av modell KIMO TM 200 Termometer, leverantör är Kontrollmetod AB, Västra Frölunda. Kalkens genombränning bedömdes, dels efter hur länge temperaturen i toppen av ugnen varit runt 850 °C och dels genom att slå isär prover av kalk från ugnens topp och se om den innehöll obrända kärnor.

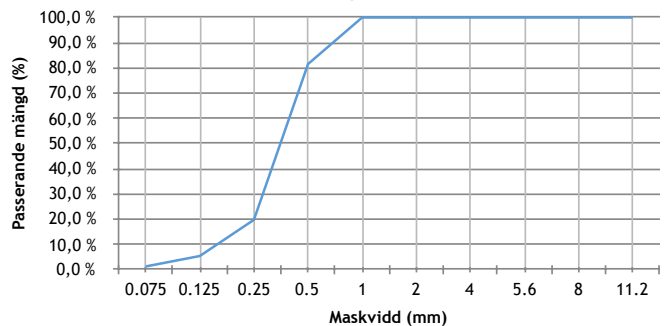
Brukens delmaterial och proportionering

Kalken som användes till bruken i putsrestaureringen av kyrkan kommer från en bergtäkt tillhörande Thorsbergs stenhuggeri AB, Kinnekulle Götene kommun. Geologisk ålder för kalkstenen är ordovicium. Kalken är grå och benämns i folkmun som täljsten. Av Holm (1901) och Shaikh (1990) lämnade uppgifter framgår att täljstenen är den renaste av Kinnekulles kalkstenslager, med förutsättning att ge sub- till svag hydrauliskt hårdnande egenskaper till bruk. Till putsrestaureringens olika arbetsmoment framställdes tre sorters bruk. *Grundningsbruket* användes till att grunda samtliga sten och fogytor på kyrkans fasad. Bruket bestod av 1 viktandel släckt kalk på 1 viktandel naturfuktig sand (ca 5 % fukthalt). *Kantningsbruket* användes till att fylla ut fogarna till murverkets yttre kant. Bruket bestod av 1 viktandel släckt kalk på 2 viktandelar

Sand till grund och kantningsbruk (Svenneby)



In-borstningsbruk (Svenneby)



Figur 9a och 9b visar sandens kornfördelning i de sandsorter som användes vid framställningen av bruk till putsrening av Svenneby gamla kyrka.

naturfuktig sand. *In-borstningsbruket* avslutade putsbehandlingen och gav fasaden färg och textur. Bruket bestod av 1 viktandel kalk på 1 viktandel torr sand. Sanden som användes till *grundning*, *kantning* och *in-borstningsbruk* framgår av figur 9a och 9b. Vid blandningen av grundning och kantningsbruket hälldes hela den uppvägda mängd kalk och sand i en planblandare av märket Baron E 120 och blandades under ca 10-15 minuter utan att något vatten tillfördes. Vid blandningen av in-borstningsbruket tillsattes hela den uppvägda mängden kalk och sand i ett blandningskärl. Bruket blandades sedan med en omrörare (bruksvisp) av märket Festo i ca 3-4 min. Till appliceringen av grundningsbruket användes en fasadfogborste med basina borst. Till appliceringen av kantningsbruket användes kakelslev. Till appliceringen av in-borstningsbruket användes en kalkborste av märket Duhalon.

Som utgångspunkt för framställning av kalkdeg till dessa bruk har använts 18,5 kg bränd kalk till 22 liter varmt släckningsvatten. Kalkpastans densitet var 1,41 kg / dm³, torrhalten är 506 g/1000 g kalkdeg. Inför släckningen delades kalken i bitar till en storlek av ca 50 mm. Vid släckningen placerades kalken i en perforerad korg. Korgen med kalken doppades i kallt vatten under ca 25 sekunder för att kalken skulle suga åt sig vatten och bli genomfuktad. Efter doppningen fick överskottsvattnet rinna av varefter kalken hälldes ner i ett fat med varmt vatten (80°C). På fatet lades ett lock, ovanpå locket placerades fyra lättklinkerblock (ca 56 kg). Efter ca 20 minuter togs den släckta kalken ur fatet, den hade då svalnat något, bildat en fast deg och på ytan utvecklat sprickor.

1.6 Disposition

Arbetet är uppdelat i fyra delar. Första delen består av sex kapitel. I kapitel 1.1 *Inledning* berörs bristen på kunskap om historiska material och metoder och hur den är kopplad till avhandlingens frågeställningar. Övergripande belyses: vad som orsakat kunskapsbristen, behovet av hantverklig kunskap i byggnadsvårdsforskning, vikten av samarbete mellan olika professioner för att återta kunskap som gått förlorad samt en kort beskrivning av hur arbetets frågeställningar undersöks. I kapitel 1.2 *Syfte*, redogörs för arbetets syfte, frågeställningar och mål. I kapitel 1.3 *Terminologi och definitioner*, tydliggörs vad som avses med olika benämningar. I kapitel 1.4 *Hantverkskunskap i historisk byggnadstradition och byggnadsvårdsforskning*, inplaceras vilken betydelse hantverklig kunskap haft i den traditionella byggnadstraditionen samt behovet av den kunskapen i byggnadsvårdsforskningen. I kapitel 1.5 *Metod*, redogörs för material och metoder som använts i avhandlingsarbetet. I kapitel 1.6 presenteras denna *Disposition*.

Arbetets andra del *Förändring av bindemedel och bruks framställning en möjlig källa till krympsprickor i bruk* består av fyra kapitel. I kapitel 2.1 *Krympsprickor- kunskapsläget enligt litteraturen* redogörs för kunskap om vad som orsakar krympsprickor i bruk och hur krympsprickor bedöms. I kapitel 2.2 *Erfarenheter av krympsprickor i framställda bruk* beskrivs observationer av krympsprickor i samband med framställning av bruk till olika projekt och hur det har bidragit till att formulera frågeställningar i avhandlingen. I kapitel 2.3 *Översiktlig analys – industriell utveckling av framställningsmetoder för bindemedel och bruk, en möjlig källa till krympsprickor i bruk*, ges en översiktlig orientering och analys av vad i bruks framställning som förändrats under de sista 200 åren samt hur förändringen är kopplad till avhandlingens frågeställningar. I kapitel 2.4 *Material metoder och förhållningsätt vid framställning av bindemedel och bruk under 1800- och 1900-talet*, belyses och analyseras bedömningar och förhållningsätt i byggnadslitteratur och hur de förändrats i relation till val av material och metod vid framställning av bindemedel och bruk.

Arbetets tredje del består av tre artiklar. Den första artikeln (kapitel 3.1), *Development of mortars in Sweden during the period 1800-1950*, är författad av Jonny Eriksson, Sölve Johansson och Jan Erik Lindqvist (2016). I artikeln presenteras en undersökning om bindemedel och bruks förändring under perioden 1800 till 1950. Tidsperioden omfattar övergången från hantverkligt framställda bindemedel och bruk till industriell framställning.

Den andra artikeln (kapitel 3.2), *Lime render, shrinkage cracks and craftsmanship in building restoration*, är författad av Jonny Eriksson och Jan Erik Lindqvist (2018). I artikeln presenteras en professionsöverskridande studie av krympsprickor i puts. Med kvantitativa och kvalitativa metoder undersöks om lagring och upparbetning av kalk har påverkan på uppkomst av krympsprickor i bindemedelrika bruk.

Den tredje artikeln (kapitel 3.3), *Putsrestaurering av en medeltida kyrka* är författad av Jonny Eriksson (2019). I artikeln undersöks om bindemedelrika bruk framställd på

nysläckt kalk ger upphov till krympsprickor och kalkskott vid en putsrenovering av en kyrka. I undersökningen implementeras erfarenheter från fältstudier, historiska källor som beskriver framställning av bruk på nysläckt kalk, kvalitativa och kvantitativa undersökningar av krympsprickor i bruk. Dessa samlade erfarenheter och undersökningar pekar på att det är möjligt att använda bruk på nysläckt kalk. Denna undersökning syftar till att ge ytterligare belägg för användbarheten av bruk framställd på nysläckt kalk (se fig. 3). Arbetet genomförs i ett professionsöverskridande samarbete mellan forskare och hantverkare. I undersökningen används kvalitativa och kvantitativa metoder.

Arbetets fjärde del *Avslutande kapitel* består av 6 kapitel. I kapitel 4.1 till 4.5 sammanfattas och diskuteras avhandlingens frågeställningar och resultat i relation till framställning av bruk och förändringen av bindemedel och bruks framställningsmetoder. Det avslutande kapitlet avser att ge sammanhang till avhandlingens övergripande mål: att belysa och bidra med kunskap om hur framställning av bindemedel och bruk har förändrats och på vad sätt det kan ha betydelse för uppkomsten av krympsprickor och kalkskott i bruk och dessutom, genom implementering av resultaten, undersöka om bindemedelsrika bruk framställd på nysläckt kalk är användbara i en putsrestaurering av en medeltida kyrka utan att oacceptabel mängd krympsprickor och kalkskott uppstår. I kapitel 4.6 formuleras frågeställningar om fortsatt forskning baserad på avhandlingens resultat och övergripande mål.



KAPITEL 2

Förändring av bindemedel och bruks framställning en möjlig källa till krympsprickor i bruk

Denna andra del i avhandlingen inleds med att sammanställa och belysa kunskapsläget om orsaker till krympsprickor i bruk samt hur krympsprickor i bruk bedöms i litteraturen under 1800-, 1900- och 2000-tal. Därefter beskrivs erfarenheter i fält och de reflektioner som lett fram till avhandlingens frågeställningar. Frågeställningarna kan kopplas till de förändringar av material och framställningsmetoder som skett under 1800- och 1900-talet när hantverkaren fortfarande framställde bindemedel och bruk på arbetsplatsen. Mot denna bakgrund analyseras handböcker och byggnadslitteratur från 1800- och 1900-talet. Analysen avser att tydliggöra vad som utgör skillnad i framställning av bindemedel och bruk under de olika tidsperioderna samt synliggöra de bedömningar och förhållningsätt som ligger till grund för de materiella och metodiska val som förmedlas i litteraturen från tiden.

2.1 Krympsprickor – kunskapsläget enligt litteraturen

Litteratur under 1800- och 1900-talet

I handböcker utgivna under 1800-talet framgår att sprickor som uppstår i bruk är en felaktighet i bruket. Författarna Stål (1854), Henström (1869), och Rothstein (2003) beskriver sprickbildning i samband med att bruk krymper när det torkar, dvs. författarna associerar sina förklaringar till färska bruk. Det indikerar att författarna beskriver vad som under 1900-talet kom att benämnas som krympsprickor. Någon samlad diskussion

om orsaker till sprickbildning framgår inte av Stål, Henström och Rothstein. De nämnda författarna berör materiella och metodiska orsaker till sprickbildning. Rothstein analogt med Stål skriver att sanden har till uppgift att motverka krympning i bruket. Ett gott murbruk är enligt Rothstein ett bruk som inte krymper så mycket att det bildas sprickor när det torkar. Enligt Rothstein spricker putsen mindre om skarpkantig sand används. Skarpkantig sand är enligt Rothstein sand som hårt gnuggad mellan fingrarna känns skarp. Stål skriver att det är bättre att ta något för mycket sand än för lite för att undvika sprickor när bruket krymper. Enligt Stål tillsätts i allmänhet för lite sand då bruket blir lättare att blanda. Enligt Stål blir sådant bruk mer kostsamt och av sämre godhet. Av Henström (1869) och citatet nedan framgår att vattenmängden i bruket är en orsak till att bruket spricker när det torkar.

”Att tillsätta vatten avrådes på det strängaste, emedan dels är det alldeles onödigt, då kalken i sig själv innehåller tillräckligt med vatten och således kan fås tunnflytande om den arbetas tillräckligt, vilket beklagligen allt för oftast åsidosättes; dels har en tillsats av vatten den olägenheten att sådant murbruk, just genom sitt överflöd på vatten spricker när det torkar och byggnadens ägare får sålunda dyrt plikta för det arbete som vid bruksberedningen inbesparas genom att arbeta kalken på ett ofullkomligt sätt, och göra den flytande genom vattentillsats i stället för arbete” (Henström 1869, s. 78).

Hur krympsprickor uppstår

I handböcker och byggnadslitteratur under 1900-talet används benämningen krympsprickor för sprickor som uppstår när applicerat bruk på ett underlag krymper (e.g Nycander och Bährner 1950; Paulsson och Granholm 1953; Dührkop *et al.* 1966). Enligt Saretok (1957) kan de krympspänningar som uppstår när bruket krymper delvis tas upp av sanden, under förutsättning att sanden utgör stommen i bruket.

Av Dührkop *et al.* framgår en teoretisk bild som en förklaringsmodell av sandens funktion i bruket. Teorin innebär att brukets stomme utgörs av sandens större korn. Dessa korn binds samman av ett mikrobruk som i alla bruk består av bindemedel, vatten och filler (filler, korn i sanden som är mindre än 0,075 mm). Enligt Dührkop *et al.* bestäms brukets krympning av mängden bindemedel, vatten och filler.

Att krympsprickor skall undvikas påtalas ofta i facklitteratur under 1900-talet och beskrivs som en felaktighet i bruket (e.g Wästlund *et al.* 1940; Nycander och Bährner 1950; Bährner 1956). Av Bährner och Dührkop *et al.* kan förstås att krympsprickor uppstår när två olika förändringar i bruket samverkar. De samverkande förändringarna är att bruket krymper och att brukets plastiska egenskap ändras från formförändringsbar till mindre formförändringsbar. Av Bährner och Dührkop *et al.* framgår att krympningen orsakas av att brukets innehåll av vatten avgår till luften eller till underlaget. När vattnet avgår beskrivs att bruket styvnar till och bli mer fast eller hård. Både Dührkop *et al.* och Bährner skriver att under kalkbruks första stadium av hårdnade är bruket fortfarande ganska plastiskt varför krympningen sällan leder till sprickor. Allt efter som hårdnandet fortskrider och hållfastheten ökar framkallar krympningen spänningar som kan leda

till sprickbildning. Krympsprickor kan enligt Dührkop *et al.* uppstå mellan det att bruket stockats ut på väggen och att bruket styvnat till så mycket att det kan bearbetas med skurbräda.

Av Bährner (1956) och Dührkop *et al.* (1966) framgår att krympningen i kalkbruk är mycket stor strax efter att bruket är applicerat på underlaget och att kalkbrukets krympning efter två dygn är obetydligt. Analogt uppgifter om kalkbrukets initiala och fortsatta krympning framgår av Saretok (1957). Bährner, Dührkop *et al.* och Saretok hävdar att kalkbruk krymper mer än cementbruk. Av Dührkop *et al.* och Saretok kan även förstås att krympsprickor i cementbruk uppstår senare än i kalkbruk samt att de är allvarigare. Sprickorna kan uppstå av de spänningar som bildas när cementbruket torkar ut i kombination med att bruket uppnått hög hållfasthet enligt Dührkop *et al.* och Bährner. Bährner påpekar även att krympsprickor som uppstår i cementbruk kännetecknas av att de i regel är få men större medan de i kalkbruk är fler och mindre.

Orsaker och orsakssamband till krympsprickor

Samlade uppgifter av flera författare visar att krympsprickor kan bero på materiella och metodiska orsaker men också vara relaterade till hantverkarens bedömningar (Eriksson 1932; Wästlund *et al.* 1940; Nycander och Bährner 1950; Paulsson och Granholm 1953; Bährner 1956; Dührkop *et al.* 1966). Materiella orsaker som beskrivs är användning av bindemedelsrika bruk, hög vattenhalt i bruket och användning av bruk med fin sand (e.g Bährner 1956; Dührkop *et al.* 1966).

En metodisk orsak till krympsprickor som belyses av Nycander och Bährner 1950 är att puts-skiktet applicerats för tjockt. En annan metodisk orsak som belyses är att bruket torkar ut för snabbt denna orsak kan regleras genom förvattning av underlaget (Bährner 1956; Dührkop *et al.* 1966). Bährner och Dührkop *et al.* understryker båda vikten av att förvattna underlaget för att därigenom minska risken för krympsprickor. Enligt Bährner kan en allt för snabb uttorkning bidra till vidhäftningsbrott mellan underlag och puts. Dührkop *et al.* skriver att för liten eller för stor sugning i underlaget kan bidra till vidhäftningsbrott mellan puts och underlag, bäst vidhäftning uppnås genom moderat sugning i underlaget. Därtill berör han hantverkarens ansvar och skriver att några fasta regler för hur mycket underlaget bör förvattnas är inte möjlig att ge då det helt beror på underlaget sugning, brukstyp, luftens temperatur, fuktighet och rörelse.

Andra metodiska orsaker där hantverkarens bedömningar kan påverka uppkomsten av krympsprickor belyses av Nycander och Bährner (1950), Bährner (1956) och Dührkop *et al.* (1966). Av Nycander och Bährner framgår att brukets blandningsmetod, intensitet och blandningstid kan ge upphov till att krympsprickor uppstår. Enligt Bährner tillstynar alla bruk en tid efter brukets blandning. Tillstyvandet minskar brukets arbetsbarhet, genom tillsats av vatten och upparbetning kan arbetsbarheten återställas

men med risk att få större krympning i bruket. Enligt Dührkop *et al.* kan bearbetning av putsens yta under för lång tid leda till ansamling av bindemedel i ytan med ytliga nät av krympsprickor som följd.

Mätmetoder

Enlig Dührkop *et al.* (1966) kan brukets krympning bestämmas genom att mäta hur mycket en bruksprisma förändrar sin längd när det krymper, han skriver att det är värdet av denna sorts mätning som vanligen förekommer i litteraturen. Mätmetoden ger enligt Dührkop *et al.* en felaktig bild av risken för att krympsprickor skall uppstå. Han menar att det beror på att bruk vid användning alltid är förhindrad i sin krympning genom sin vidhäftning till underlaget. För bättre överensstämmelse med verklig risk att sprickor uppstår argumenterar Dührkop *et al.* för att istället mäta de dragspänningar som uppstår i en prisma när längdförändringen av krympningen förhindras. Dessvärre menar han att dessa mätningar kräver dyr apparatur och är både tidskrävande och komplicerade att utföra varför mycket få sådana försöksresultat finns. I en litteraturstudie belyser och diskuterar Saretok (1957) olika provningsmetoder för cement och kalkbruk. En röd tråd i hans resonemang är nödvändigheten och svårigheten att finna provningsmetoder som speglar den verkliga situationen bruk används i. Av Saretok framgår att olika provningsmetoder kan visa olika värden för brukets krympning. En metod är enligt Saretok att mäta brukets krympning på en provkropp framställd i ej sugande form, en annan metod är att mäta krympning på provkropp framställd i en form som suger. Enligt Saretok med stöd av Plummer (1950) är krympning 50 procent mindre i kalkbruk när provningen utförs i sugande form än när det utförs i ej sugande form. För att bättre spegla den verkliga krympningen i bruk argumenterar Saretok för att mätning av brukets krympning skall utföras på en provkropp framställd i sugande form.

Litteratur 1900-talets andra hälft och 2000-talets början

I litteratur som representerar perioden benämns sprickor som uppstår i samband med att bruket krymper som krympsprickor. Av flera författare framgår att krympsprickor bedöms som en felaktighet i bruket (e.g Saretok 1976; Berg 1984; SPEF 2005; Henry och Stewart 2011; Ingham 2012). I boken Hus AMA (1983) formuleras krav som branschen uppfattar som god praxis, allmänt accepterad kvalitet, beprövad teknik och fackmässigt utförande. Enligt Hus AMA skall puts vara fri från estetiskt störande eller tekniskt skadliga sprickor.

Av flera författare framgår att historiska bruk ofta var mer bindemedelrika än nutida (e.g Hidemark och Holmström 1984; Lindqvist *et al.* 1999; Henry och Stewart 2011; Eriksson 2016 *et al.*) Med bindemedels tydliga koppling till krympsprickor borde det vara en angelägen fråga att belysa i byggnadsvårdslitteratur. Dock berörs orsaker och orsakssamband till krympsprickor i likvärdig omfattning i (e.g Hus AMA 1983; Berg 1984; Hidemark och Holmström 1984; Konow 1997; SPEF 2005; Balksten; Henry och Stewart 2011).

I likhet med författare under 1900-talets mitt belyses både materiella och metodiska orsaker till att krympsprickor uppstår. En materiell orsak som ofta beskrivs är hög bindemedelhalt i bruket (e.g. Hidemark och Holmström 1984; Henry och Stewart 2011; Ingham 2012; Sandström Malinowski 2016). Sandström Malinowski indelar krympsprickor efter sin bredd i mikrokrympsprickor och makrokrympsprickor. Hon skriver att mikrokrympsprickor har en typisk bred av 0.01-0.05 mm och är synliga i mikroskop medans makrokrympsprickor har en sprickbred 0.05 mm och uppåt och är synliga för ögat. Enligt Sandström Malinowski uppstår fler makrokrympsprickor och färre mikrokrympsprickor i bruk med hög bindemedelhalt, när bindemedelhalten minskar ökar mängden mikrokrympsprickor och frekvensen makrokrympsprickor minskar. En annan materiell orsak som av flera författare beskrivs ha samband med uppkomst av krympsprickor i bruk är sandens kornfinhet (e.g. Berg 1984; Henry och Stewart 2011; Ingham 2012). Enligt Henry och Stewart behöver av arbetbarhetsskäl mer vatten tillsätts bruk med fin ballast (sand). De menar därför att volymen fina partiklar (mellan 0.063-0.150 mm) i brukets ballast ej bör vara mer än 15 procent. Av Henry och Stewart förstås att det inte är sandens kornfinhet i sig utan behovet av mer vatten i bruket som leder till en ökad risk för krympsprickor. Mängden vatten i bruket som orsak till krympsprickor berörs av flera författare (e.g. Balksten 2005; Henry och Stewart 2011; Ingham 2012; Sandström Malinowski 2017). I rapporten *Kalkputs 2* av Hidemark och Holmström (1984) beskriver Holmström empiriska erfarenheter som visar att krympning i bruket blir allt för stor av lång blandningstid och hög vattenmängd i den släckta kalkdegen. Han nämner inte att det är krympsprickor som uppstår, bara att krympningen är för stor. Av Holmström kan förstås att den allt för stora krympningen i bruket hade påverkan på vilken bindemedelmängd som kunde användas i de bruk som framställdes. I relation till bindemedlets egenskaper skriver Henry och Stewart att risken för krympsprickor är större i icke hydrauliska bruk och minskar med ökad hydraulisk egenskap.

En i litteraturen vanligt omnämnd metodisk orsak till krympsprickor är snabb uttorkning av bruket, för att minska risken för krympsprickor betonas nödvändigheten av att vattna stark sugande underlag (e.g. Berg 1984; STIF 1991; SPEF 2005; Henry och Stewart 2011). Av Berg framgår att hantverkarens erfarenhet avgör hur mycket underlaget behöver förvattnas. Analogt med Henry och Stewart belyser Berg bl.a. behovet av att avskärma väggen mot solbestralning i kombination med eftervattning för att hindra snabb uttorkning av putsen. Vidare förstås av Berg att tunt applicerade skikt är särskilt utsatta för snabb uttorkning. Av Berg framgår även att förvattning av underlaget har två funktioner, dels att minska risken för krympsprickor och dels att säkerställa vidhäftning mellan underlag och puts. Enligt Saretok (1976) är en vanlig orsak till både krympsprickor och att putsen lossnar från sitt underlag är allt för kraftigt eller allt för svagt sugande underlag. Henry och Stewart hävdar att snabb uttorkning leder till bristande vidhäftning mellan underlag och puts och kan härledas till bristande hantverk.

En annan metodisk orsak till krympsprickor som berörs i litteraturen är för tjockt applicerat puts-skikt, i likhet med förvattning av underlaget kan det kopplas till hantverkarens bedömningar (e.g. Hidemark och Holmström 1984, Balksten 2005, Henry och Stewart 2011, Sandström Malinowski 2016). I relation till hantverkaren och utförandet av brädriven puts påtalas av Saretok analogt med Henry och Stewart att överarbetning av putsytan kan ge upphov till krympsprickor i putsens yta. I den litteratur som representerar 1900-talets andra hälft och 2000-talets början belyses materiella och metodiska orsaker till att krympsprickor uppstår. Sett i ett vidare internationellt perspektiv finns överensstämmelser i vilka orsaker som oftast tas upp i relation till krympsprickor i bruk, vilket framgår av presenterade undersökningar vid den återkommande internationella konferensen *Historic Mortar Conference*.

Konferensen samlar olika kompetenser och discipliner för diskussion kring historiska bruk, dock är den murhantverkliga professionen mycket svagt representerad. Till *Historic Mortar Conference* 2010, 2013 och 2016 insändes ca 340 bidrag som belyser olika undersökningar av bruk. De presenterade undersökningarna berör konserveringsarbeten och därtill hörande metoder och bruk, befintlig mur- och putsbruk på byggnader, framställning av bindemedel och bruk, historiska och moderna tillsatser till bruk, samt undersökningar av bruk för stuck, gjutna ornament och golvbeläggning. Enligt Drdäcký (2016) är krympsprickor en felaktighet i putsskiktet. De orsaker till krympsprickor som i huvudsak belyses i de samlade bidragen är relaterade till brukets delmaterial och brukets uttorkning.

Den oftast beskrivna materiella orsaken till krympsprickor är hög bindemedelhalt i bruket (e.g. Cavallo *et al.* 2010; Drdäcký 2016; Carvalho *et al.* 2016). Hög vattenhalt i bruket är en annan materiell orsak som beskrivs bidra till krympsprickor (Carvalho *et al.* 2016). En därtill beskriven materiell orsak till krympsprickor i bruk är användning av fin sand (Drdäcký 2016). Av Válek *et al.* (2016) framkommer att det finns en koppling mellan kalkbindemedlets innehåll av vatten och uppkomsten av krympsprickor i bruket. I relation till bindemedlets egenskaper framgår av Botas *et al.* (2010) att bruk med hydrauliskt bindande egenskaper uppvisar färre krympsprickor än bruk baserad på luftkalk. I förhållande till vad som kan påverkas metodiskt framgår av Cavallo *et al.* (2010) och Bouchar (2010) snabb uttorkning av bruket ger uppkomst till krympsprickor.

Sammanfattning av litteraturen under 1800-, 1900- och 2000-talet

Av den samlade litteraturen under 1800-, 1900- och 2000-talet framgår det att krympsprickor är en felaktighet i bruket. Både materiella och metodiska orsaker belyses under de tre perioderna. Problemet med krympsprickor i bruk belyses i betydligt större grad i den samlade litteraturen under 1900- och 2000-talet än vad som görs i den litteratur som representerar 1800-talet. Detta avspeglar sig i att det inte förs någon sammanhållen eller djuplodande diskussion om krympsprickor i den representerade 1800-tals litteraturen. Brukets bindemedelhalt är en ofta beskriven materiell orsak till krympsprickor

i litteraturen under 1900- och 2000-talet. I handböcker och byggnadslitteratur under 1800-talet beskrivs ingen särskild orsak till krympsprickor mer frekvent än någon annan orsak. Den samlade litteraturen under 1900-talets andra hälft och 2000-talets början uppvisar likheter med litteratur under 1900-talets mitt där natur- och ingenjörsvetenskap har stort inflytande på kunskapsutvecklingen. Det innebär ett tydligt fokus på materiella orsaker till krympsprickor där underlagets sugning är en materiell orsak som metodiskt kan påverkas av hantverkaren. I detta sammanhang betonas hantverkarens ansvar att reglera underlagets sugning genom förvattning. Upparbetning av tidigare blandat bruk beskrivs av Bährner (1956) ge upphov till att bruket krymper mycket. I relation till intensiv blandning av bruk nämner Nycander och Bährner (1950) att det kan ge upphov till att bruket spricker. De beskrivna orsakerna tillhör de minst beskrivna i den sammanställda litteraturen. Kalkbindemedlets innehåll av vatten är en annan orsak till krympsprickor som få källor under 1800-, 1900- och 2000 talet berör (Henström 1869; Hidemark och Holmström 1984; Válek *et al.* 2016). Att bindemedlets hydrauliska egenskaper har betydelse för uppkomsten av krympsprickor är ett annat exempel där det är få källor som lämnar uppgifter (Botas *et al.* 2010; Henry och Stewart 2011).

2.2 Erfarenheter av krympsprickor i framställda bruk

Observationer och reflektioner- lagring och upparbetning

När man arbetar med puts kan det vara svårt att helt undvika att krympsprickor uppstår men det är skillnad på om en krympspricka uppstår på något enstaka ställe eller att det är frekvent återkommande under arbetets gång. De observationer som är gjorda visar att i ett projekt (*Jämtländsk byggnadskalk*) har det varit möjligt att framställa bruk med en hög bindemedelhalt utan att oacceptabla krympsprickor uppstår medan det i ett annat projekt (*Källstorps gårdskapell*) med magrare bruk uppstått krympsprickor i en frekvens som varit oacceptabel. När krympsprickor uppstått har brukets blandningsförhållande, underlagets sugning och applicerad tjocklek reglerats för att motverka krympsprickorna. Detta är fallet i putsprojekten *Källstorps gårdskapell* och *Göteborgs universitets anläggningar* (Eriksson 2012, 2015). Kalken som användes i de båda projekten framställdes av alunskifferkalk som våtsläcktes med Erikssonmetoden (sub-hydraulisk kalk enligt Johansson 2006). I putsprojektet *Källstorps gårdskapell* (Eriksson 2012, 2015) var det beroende på krympsprickor svårt att använda fetare blandningar än 1 del kalk på 3 delar sand. I putsprojektet *Göteborgs universitets anläggningar* (Eriksson 2015) användes initialt, i samband med utförandet av en provyta, volymproportionen 1 del kalk på 2 delar sand utan att oacceptabla krympsprickor uppstod. Efter att putsarbetet pågått en tid uppstod krympsprickor i sådan omfattning att blandningsförhållandet ändrades till 1 del kalk på 2.4 delar sand.

Vid framställning av bruken i de olika projekten användes samma kalksort och släckningsmetod. Det som utgjorde skillnaden mellan projekten var hur kalken behandlades efter att den släckts. I putsprojekt *Källstorp gårdskapell* bearbetades kalken efter

att den var släckt i en blandare. Genom enbart bearbetning i blandaren fick kalken en tjockflytande konsistens som möjliggjorde silning av kalken för att avskilja orenheter, den flytande konsistensen underlättade också paketeringen av kalken. Därefter lagrades kalken från 1 till 2 månader innan den användes i projektet. I putsprojektet *Göteborgs universitets anläggningar* upparbetades inte kalken efter att den var släckt, lagringstiden var också kortare, från ca 1 till 3 veckor. Vid upparbetning av kalken observerades efter några dygn att vatten separerade från kalken och lade sig på ytan i lagringsbehållaren, detta sker inte med kalk som ej är upparbetad. Vid lagring av både den upparbetade och ej upparbetade kalken styvnar den till och blir med lagringen allt tyngre och svårare för maskinen att blanda med sanden. För att underlätta blandningen och reglera brukets konsistens tillsätts vatten. Hur stor skillnad det är mellan projekten i tillsatt mängd vatten vid blandningen är inte uppmätt, men ett ökat behov av att tillsätta vatten i samband med att kalken blir styvare har observerats. I observationen utskiljer sig lagring och upparbetning av kalken som två möjliga orsaker till att brukets krympning var mindre i projektet *Göteborgs universitets anläggningar* (Eriksson 2015).

I putsprojektet *Jämtländsk byggnadskalk* (Persson 2012, Balksten *et al.* 2013, Eriksson 2015) gjordes provputsning av bruk med lokalt framställd kalk. Kalken som användes kom från två olika platser i Jämtland (Näversjöberg och Marieby). Av dess kalksorter framställdes torrsläckt och våtsläckt kalk. Nedan återges observationer från användning av våtsläckt kalk. Kalksorterna släcktes med Erikssonmetoden och blandades med sand snart efter att de var släckta och svalnat något, dvs. någon upparbetning av de släckta kalksorterna gjordes inte. Kalksorterna hade konsistensen av en pasta eller deg efter att de var släckta. Vid blandningen var de mycket lätta att blanda med sanden, något vatten kunde inte tillsättas då bruken skulle bli för lösa att använda. Bruk av båda kalksorterna var något korta och därför mindre smidiga att arbeta med än t.ex. bruk framställd av kalk från alunskifferlagret på Kinnekulle i Västra Götaland. De korta något svårarbetade egenskaper som bruken uppvisade pekade på att kalken hade hydrauliska egenskaper, detta överensstämmer med att bruken ganska fort hårdnade. Bruk på kalk från Näversjöberg var smidigare att arbeta med än bruk baserad på kalk från Marieby. Av de båda kalksorterna framställdes bruk i volymproportionerna 1 del kalk på 1 del sand. Av arbetbarhetsskäl ändrades proportionerna på bruket av kalk från Marieby till ca 1.5 delar kalk på 1 del sand, dvs. båda bruken som blandades var betydligt bindemedelrikare bruk än i de ovan två nämnda projekten. Vid bearbetning av de båda brukssorterna hade de lätt för att bilda en kalkfilm i ytan. Med tanke på de mycket bindemedelrika bruken så förväntades kraftiga krympsprickor med vidhäftningsbrott i anslutning till sprickorna, men det uppstod inte. Däremot observerades ett fint ytligt nät av sprickor, nätet av sprickor bedömdes vara en kombination av bearbetning och ansamling av bindemedel i ytan. Det bruk som uppvisade minst krympsprickor var baserat på kalk från Näversjöberg. Det gjordes också prov med extremt feta bruk baserad på kalk från Marieby där proportionerna 10-20 delar kalk på 1 del sand användes, dessa bruk uppvisade kraftiga krympsprickor och var inte användbara. Några observationer

av kalkskott på grund av att kalken inte skulle vara helt släckt observerade jag inte. Jag återkom till platsen året efter, inte heller då kunde observeras några skador av kalkskott. Risken för kalkskott verkade inte vara så stor, erfarenheten gav kontrast till uppgifter i handböcker som argumenterar för att kalken skall lagras minst en vecka för att inte skador av osläckt kalk ska uppstå (Bährner 1956). En slutsats av erfarenheten var att om risken för kalkskott kan övervakas eller begränsas så skulle bindemedelrika bruk vara möjliga att framställa. Bruken skulle fortfarande vara bindemedelrika även om de tillsattes lite mer sand för att justera arbetbara konsistens, vilket också skulle minska risken för krympsprickor. En annan reflektion var att om inget vatten går eller behövs tillsättas när bruket blandas på nysläckt kalk så bör det ha påverkan på brukets vattenhalt. Mot bakgrunden av att brukets vattenhalt är grundorsak till att bruket krymper så skulle det kunna vara en förklaring till de bindemedelrika blandningsförhållanden som rekommenderas i handböcker från 1800 talet, och därför intressant att vidare undersöka.

Ur ett nutida perspektiv är förfarandet att blanda bruk utan att tillsätta vatten väldig främmande då vatten alltid tillsätts vid blandning av torrbruk och i stort sett alltid vid blandning av bruk på våtsläckt kalk i handeln. I ett historiskt perspektiv där blandning av bruk görs med handkraft bör brukets egenskap att bli lös ha varit en mycket viktig egenskap för att kunna framställa större volymer och blanda bruket homogent. Att som hantverkare metodisk förhålla sig till denna förutsättning bör ha varit vardag för varje hantverkare som historisk framställt bruk för hand. I relation till misstanken om att upparbetning av kalken kunde vara en orsak, så var den svår att förstå. Att det hände något med kalken efter att den bearbetats gick att se då kalk och vatten separerade, detta skedde inte med den kalk som bara släcktes och inte rördes. Huruvida bearbetning av enbart kalken har påverkan på uppkomst av krympsprickor är något som detta arbete ska försöka svara på. Ovan beskrivna erfarenheter och reflektioner vid användning av kalk i fält utgör bakgrunden till avhandlingens frågeställningar och undersökningar om krympsprickor och kalkskott i bruk.

2.3 Översiktlig analys – industriell utveckling av framställningsmetoder för bindemedel och bruk, en möjlig källa till krympsprickor i bruk

Av handböcker och byggnadslitteratur framgår att bruk under 1800-talet är bindemedelrika, vanliga volymförhållanden var 1 del kalk på 1,5-2 delar sand. Under 1900-talet är det tydligt att de bindemedelrika bruken överges och ersätts med bindemedelfattiga bruk i volymförhållande 1 del kalk på 3-5 delar sand (Eriksson *et al.* 2016). En generell uppfattning är att risken för krympsprickor är mycket stor vid användning av bindemedelsrika bruk i volymförhållanden 1 del kalk på 1,5- 2 delar sand, detta framgår av flera författare (e.g. Paulsson 1936; Nycander och Bährner 1950; Bährner 1956; Dührkop *et al.* 1966; Hidemark och Holmström 1984; Eriksson 2015; Sandström Malinowski 2016).

I kapitel 2.1 ovan framgår det tydligt att det finns god kännedom om varför krympsprickor uppstår i bruk. Lika tydligt är det att krympsprickor under de senaste 200 åren har bedömts som en defekt eller felaktighet. Vid sidan av brukets bindemedelshalt som orsak till krympsprickor berörs andra materiella orsaker som t.ex. brukets vattenhalt och användning av fin sand. Dessutom belyses metodiska orsaker till krympsprickor som t.ex. att bruket applicerats för tjockt eller att underlagets kan behöva förvattnas för att reglera stark sugande underlag. I mindre omfattning beskrivs metodiska orsaker till krympsprickor som kan kopplas till brukets blandning och upparbetning av tidigare blandat kalkbruk (Nycander och Bährner 1950; Bährner 1956). De övervägande orsakerna som belyses i kapitel 2.1 ovan är väl kända och möjliga att påverka än i dag och ger inga materiella eller metodisk förklaringar till hur bindemedelrika bruk under 1800-talet kunde framställas utan att krympsprickor uppstår. Frågeställningen förstärks av att krympsprickor belyses ingående under 1900-talet där en motivering var att använda magra bruk för att minska risken för krympsprickor. Det kan därför tyckas att problemet borde vara större i de bindemedelrika bruken under 1800-talet men i handböcker från den tiden berörs orsaker till krympsprickor i liten omfattning. Sett till de samlade beskriva orsakerna till krympsprickor i kap. 2.1 så är de i huvudsak relaterade till sammansättning av brukets delmaterial, brukets blandning, bearbetning och arbetets utförande. I mindre omfattning berörs att våtsläckt kalks vattenhalt och hydrauliska egenskaper kan ha påverkan på uppkomst av krympsprickor. Vid framställning av bruk är kalkens vattenhalt och hydrauliska egenskaper förhållanden som hantverkaren under 1800-talet kunde påverka vid släckning av kalk eller genom att välja en vis sorts kalk. Av Rothstein (1875) framgår att mer vatten går åt till att släcka ren kalk än att släcka kalk med hydrauliska egenskaper. Idag är bedömningar av mängden vatten vid släckning av kalk eller val av mer eller mindre hydraulisk kalk vid framställning av bruk är dock helt främmande för de flesta nutida hantverkare.

Denna kunskapliga förändring som sker under 1900-talets mitt när hantverket i allt större grad skiljs från framställning av bindemedel och bruk. Innebar att ett mer standardiserat förhållningsätt antas där framställning av bruk skulle ske efter recept med bindemedel som var tydligt bestämbara. Som ett led i denna förändring centraliserar och introduceras fabriksframställda torra bindemedel baserad på väldigt ren kalk och cement. Genom denna förändring kom hantverkaren allt längre ifrån att framställa bindemedel och bruk. Förändringen var ett resultat av professionsöverskridande samarbete mellan hantverkare och ingenjörer och bidrog till fördjupade kunskaper om bruks kemi och fysikaliska egenskaper (Eriksson 2015).

Av byggnadslitteratur under 1900-talets mitt som beskriver krympsprickor framgår det att den ökade kunskapen om bruk också bidrog till ökad kunskap om orsaker till krympsprickor (e.g Nycander och Bährner 1950; Bährner 1956; Dührkop *et al.* 1966). Att kunskap om krympsprickor belyses så ingående i byggnadslitteratur under 1900-talets mitt kan bero på att krympsprickor är en felaktighet som behöver förklaras som en

del i allmänbildningen vid implementeringen av de nya bruken. Det är också troligt att kunskap om krympsprickor utvecklats och fördjupats av de orsakssamband som uppstår mellan de nya bruken, introduktion av nya stombyggnadsmaterial och byggmetoder. Med detta vill jag säga att den kunskap vi i dag har är i relation till nutida material och metoder och inte till de material och metoder som användes under 1800-talet.

Hur stor skillnad det var att blanda bruk under 1800-talet jämfört med 1900-talets andra hälft kan tydliggöras av hur vi idag blandar bruk. I stort sett all bruksframställning i dag är baserad på fabriksframställda torrbruk. Vid blandning av torrbruk måste vatten tillsättas när bruket blandas. Vid blandningen bearbetas bruket maskinellt för att finfördela vattnet i bruksmassan. När bruk blandas på våtsläckt kalk finns en del av vattnet i kalkdegen, vattnet är finfördelat genom den kemiska reaktion som sker vid släckningen. Vid blandningen av kalkbruk kan en viss mängd vatten behöva tillsättas, men inte alltid om nysläckt kalk i stället för lagrad kalk används (se erfarenheter i fält kap. 2.2). Under 1800-talet fanns inte tillgång till maskiner i samma utsträckning som under 1900-talet, varför bruket ofta blandades för hand (Rothstein 1856, 2003). Skillnaderna exemplifierar vad som utgör förändringen av hur bruk blandats historisk och hur bruk blandas i dag. Ett annat exempel på skillnader framgår av handböcker och byggnadslitteratur från 1800- och 1900-talets första hälft när kalk fortfarande våtsläcktes på arbetsplatsen. Skillnaden gör sig tydlig i olika förhållningsätt till hur länge släckt kalk skall lagras innan det är lämpligt att blanda bruk på den. Under 1800-talet beskrivs att våtsläckt kalk kan lagras en tid men också beskrivningar som visar att kalken användes snart eller direkt efter att den var släckt (Henström 1869; Rothstein 1875). En konklusion av de dubbla förhållningssätten är att det inte finns någon generell rekommendation för kalkens lagringstid under 1800-talet. I motsats framgår i handböcker under 1900-talet att kalken generellt skall lagras efter att den är släckt för att undvika skador av osläckt kalk. För t.ex. puts rekommenderas att kalken skall lagras i minst en vecka, gärna längre (Paulsson 1936; Bährner 1956). En slutsats av exemplen ovan är att den största skillnaden mellan hur bruk framställdes under 1800-talet och i våra dagar är hur kalken släcks och behandlats efter att den är släckt samt hur bruk blandas på den släckta kalken.

Eftersom det är förhållningssätt som uttrycks, så finns variationer i framställda beskrivningar både under 1800- och 1900-talet. Det är också i detta sammanhang som det för nutida läsare kan vara svårt att helt förstå t.ex. varför kalken å ena sidan skall lagras innan den används för att skador inte skall uppstå, å andra sidan att kalken kan användas snart efter att den är släckt. Att argumenten är svåra att ta till sig beror troligen på att vi inte har någon erfarenhet av vad som utgör den egenskapliga skillnaden mellan bruk framställd på lagrad eller nysläckt kalk. Vi kan därför inte heller avgöra i vilken situation det ena eller det andra bruket är mest lämpligt att använda.

Av den industriella utvecklingen av bindemedel och bruks framställning framgår att den största skillnaden mellan hur bruk framställdes under 1800-talet och i våra dagar är hur kalken släcks och behandlats efter att den är släckt samt hur och i vilka propor-

tioner bruk blandas på den släckta kalken. För att ta reda på hur förändringen kan ha påverkan på uppkomst av krympsprickor i bruk behövs ytterligare undersökningar. Att återta kunskapen om hur bindemedelrika bruk framställdes under 1800-talet kräver med stor sannolikhet både empiriska försök och professionsöverskridande samarbeten mellan hantverkare och forskare från olika discipliner. En ledning och riktning i sådana samarbeten är att studera beskrivningar av använda material och metoder i äldre byggnadslitteratur. I byggnadslitteratur från 1800-talet framgår att hantverkarens bedömningar och förhållningsätt har betydelse för brukets egenskaper men ofta är förklaringen till vad som blir bättre väg eller saknas helt. Förhållningsätten förmedlas ofta som anvisningar eller råd till vad som bör väljas eller iakttas vid t.ex. släckning av kalk, i flera fall utan någon direkt koppling till en specifik metod. Förhållningsätt kan därför sägas representera kunskap om hur en metod är möjlig att variera. Detta kan förklara varför så många olika metoder beskrivs i handböcker under 1800-talet. Professionsöverskridande samarbeten kan göra det lättare att förklara och förstå verkan av dessa förhållningsätt, t.ex. vad Pasch (1824) uppnår för egenskaper i bruket när han skriver att det är bättre att använda hett än kallt vatten vid brukets blandning, eller när Stål (1854) skriver att vattenmängden vid släckningen behöver avstämmas till den kalk som skall släckas. Professionsöverskridande samarbete under 1900-talets mitt gjorde det möjligt att förändra och anpassa bruksframställning till nya krav på egenskaper hos bruk. På samma sätt bör det vara en framkomlig väg att förstå historiska bruks egenskaper men kanske också få mätvärden på mer sentida uppgifter, som exempelvis att upparbetat bruk krymper mer än ej upparbetat bruk enligt Bährner (1956).

2.4 Material, metoder och förhållningsätt vid framställning av bindemedel och bruk under 1800- och 1900-talet

Nedan analyseras litteratur från 1800-talet respektive 1900-talet med avseende på att ge en beskrivning och tolkning av vilka material, metoder och förhållningsätt som användes vid framställning av bindemedel och bruk.

Material, metoder och förhållningsätt – 1800-tal

I handböcker och byggnadslitteratur skrivna under 1800-talet framgår att det inte går att ge några bestämda anvisningar för hur bindemedel och bruk skall framställas. Orsaken är att kalken kan ha varierande sammansättning och egenskaper varför olika metoder för t.ex. släckning av kalk och blandning av bruk behöver användas. Det framgår också att kalkråvaran påverkar brukets proportionering (e.g. Pasch 1824; Stål 1854; Rothstein 2003). Av flera författares anvisningar kan förstås att det är råd som vidare behöver styrkas genom empiriska försök eller av erfarenhet om kalkens egenskaper (e.g. Pasch 1824; Stål 1854; Henström 1869; Rothstein 2003). Av Henström och citatet nedan framgår ett exempel på hur empiri kompletterar det kunskapliga gap som de förmedlade anvisningarna inte förmår överbrygga.

”Så som allmänt bekant består murbruk av kalk, sand och vatten, med eller utan tillsats av cement. Att träffa de rätta proportionerna mellan dessa ämnen är icke möjligt att uppställa regler för, emedan det varierar i förhållande till beskaffenheten hos kalken och cementet mm. Säkraste sättet att utröna de rätta proportionerna bliver därför alltid att anställa försök, så snart man icke förut känner beskaffenheten av den kalk man skall använda” (Henström 1869, s. 76).

De anvisningar som förmedlas kan betraktas som teoretiska riktlinjer för hur bindemedel och bruk kan framställas och inrymmer beskrivningar av metoder men kompletteras ofta med regler eller förhållningsätt, vilkas syfte är att påverka bindemedlet eller brukets kvalitet, exempelvis kan det röra sig om hur lång tid kalken skall lagras eller hur bruket skall blandas.

Motsägande påståenden i handböcker

Av de riktlinjer och förhållningsätt som förmedlas framgår att syftet är att styra processen så att bindemedel och brukets kvalitet säkerställs. Emellertid kan kvaliteten ha olika innebörd beroende på vad som är av betydelse i en viss situation. Ibland saknas information om situationen, varför de förhållningsätt som ges i handböcker kan uppfattas innehålla motsägande påståenden. Ett exempel på motsägande påståenden gällande hur lagring påverkar kalkens godhet eller kvalitet framgår av Rothstein och de två citaten nedan.

”En regel är även att så snart kalken är släckt därav genast bereda murbruk emedan detta eljest förlorar i godhet. På ställen där man ej kan få osläckt kalk tvingas man till denna regels överträdelse men alltid på bekostnad av murbrukets godhet” (Rothstein 2003, s. 197).

”Det bästa släckningsättet för fet kalk är att lägga kalken i en lave och pågjuta så mycket vatten, som behövs till dess förvandling till gröt... När det överflödiga vattnet bortgått och ytan börjar spricka, betäckes kalken med...ett tjockt sandlager, och kan betäckt med jord förvaras i flera år utan att förlora i godhet. Han kallas då syrkalk och är i synnerhet lämplig till rappningsbruk.” (Rothstein 2003, s. 195).

I det första citatet uttrycker Rothstein en allmän regel utan att precisera vilken kalk som avses, dvs. ett generellt förhållningsätt till all sorts kalk. I det andra citatet preciserar Rothstein att det är fet kalk som avses. Vad som avses med ”förlora i godhet och i synnerhet lämplig” utvecklas inte av Rothstein. Den osäkerhet om vad som avses med godhet eller lämplighet bidrar till upplevelsen av motsägande uppgifter. Det som saknas är en beskrivning av vilka egenskaper i relation till beständighet, arbetsbarhet, etc. som bindemedlet och bruket uppfyller i olika situationer. I viss mån är det möjligt att komplettera vad som utelämnats med uppgifter av Rothstein men det går inte att komma ifrån att det blir hypotetiska förklaringar om t.ex. arbetsbarhet eller beständighet.

I det första citatet av Rothstein kan förhållningsättet att inte lagra kalken förklaras av att det är mager luftkalk som avses dvs. kalk med hydrauliska egenskaper. Genom det hydrauliska hårdnandet styvnar kalken till vid våtlagring. Det ger en förklaring till att han skriver att mager kalk förlorar sin smidighet och att han vid ett annat tillfälle

skriver att lagrad kalk förlorar sin bindande förmåga. I det andra citatet kan den feta luftkalkens egenskap att inte hårdna vid lagringen vara en god egenskap, då det ger logistiska fördelar som att stora mängder kalk kan framställas och lagras för senare användning när åtgången är stor.

Av de uppgifter Rothstein (2003) lämnar om lämplig användning för olika sorts kalk kan slutsatsen dras att fet luftkalk endast skall användas över vatten eller i huvudsak på ställen som är torra. Förhållningsättet innebär att lämplig användning för fet luftkalk är till murverksstommar ovan sockel och till invändig puts dvs. till förbrukningen av den huvudsakliga mängden bindemedel och bruk vid uppförande av ett murat hus. Det jag vill visa med citaten av Rothstein och de hypotetiska förklaringarna är vad i relation till situation som saknas för att förstå vad som avses med godhet. Motsägande uppgifter finns också i handböcker av Henström (1869, 1896) och Stål (1854). Till stor del kan dessa förklaras av att ämnet är mycket komplext och kommunikativt svårt att förmedla. Henström uttrycker denna svårighet.

”Jag har varit ganska tvehogsen om huru en bok med detta syfte borde rättast uppställas emedan man icke får säga för litet och ändock icke hopa en mängd uppgifter tillsammans då man i förra fallet alldeles icke och i det senare endast med svårighet kan fina vad man söker” (Henström 1869, Förordet).

En möjlig, om än inte heltäckande, väg är att förmedla generella teoretiska riktlinjer kompletterade med olika förhållningssätt för hur bindemedel och bruk kan framställas i olika situationer. Av Henström framgår att teorins användbarhet i olika situationer vilar på en mycket komplex sammanhangsbunden grund där den empiriska kunskapen är mycket betydelsefull.

”Ty den, som skall leda ett arbete, måste ovillkorligen under dess fortgång mötas av mångfaldiga hinder, om han icke eger en noggrann kännedom om de materialer han använder: deras egenskaper, tillgodogörande, bearbetning, varaktighet under olika omständigheter, deras fasthet, styrka o.s.v. Ingen byggnad kan på ett ändamålsenligt sätt uppföras, om icke byggmästaren genom sin kunskap förstår att urskilja de olika sätt och omständigheter, på och under vilka de särskilda materialen böra användas. Ett visst byggnadsmaterial kan nämligen vara utmärkt till ett ändamål men alldeles odugligt till ett annat, och det är på kännedomen härom som all slags konstruktioner ytterst grundar sig” (Henström 1869, s. 1).

Att kritisera motsägande uppgifter i ett så komplext sammanhang som Rothstein eller Henström uttrycker är inte svårt. Emellertid faller det tillbaka på det nutida kunskapsperspektivet i det att man kan behöva ställa sig frågan: har jag tillverkat olika sorts bruk av olika råkalk eller framställt bruk för olika ändamål av samma sorts råkalk? Sett ur ett nutida bruksperspektiv är frågan på många sätt en utopi i den mening att vi inte längre använder flera av de metoder eller material som beskrivs, dvs. vi har helt enkelt aldrig sett eller upplevt dessa bruks egenskaper. Denna förutsättning väcker frågor om: vad är underförstått vid tiden och vad för sorts kunskap representerar förhållningsätt? Beskrivningar av material och metoder är lättare att förstå. Det som är svårt att komma åt är förhållningsätt och bedömningar. Trots motsägande uppgifter och svaga motiv till

varför något är ett gott bruk är handböcker kanske den enda källa som speglar egenskaper, bedömningar och förhållningsätt i relation till den historiska framställningen och användningen av bruk.

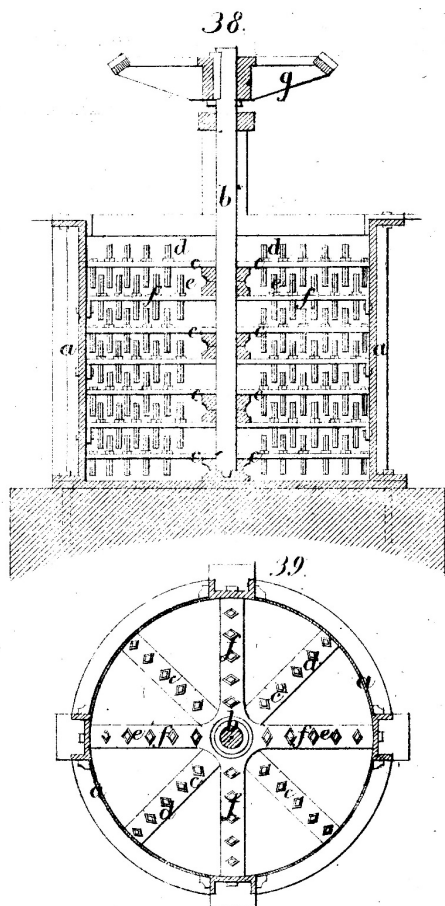
Lagring av luftkalk

I definitionen luftkalk under 1800-talet inryms både fet och mager kalk, dvs. med nutida definition både rent lufthårdnande, sub-hydraulisk och svagt hydraulisk kalk. Av flera författare framgår att den magra luftkalken värderas framför den feta, beroende på att bruk på mager kalk har bättre beständighet. (Pasch 1824; Stål 1854; Henström 1869; Rothstein 2003). Definitioner för hydraulisk kalk utgår från kalken eller brukets lämpliga användning och egenskap att hårdna under vatten (Eriksson 2015). Även om Pasch (1824) beskriver framställning av hydraulisk kalk i mening att bruket skall hårdna under vatten så framgår av hans beskrivningar att det är mager luftkalk med tillsats av alunskifferaska som utgör de hydrauliska bruk han beskriver som användbara för vattenbyggnation.

Av flera författare framgår att våtsläckning av luftkalk kan utföras på olika sätt (e.g. Pasch 1824; Stål 1854; Henström 1869, 1896; Rothstein 2003). Av Pasch och Stål framgår att kalken kan släckas i samband med att bruket blandas. Det som talar för att det är en form av våtsläckning är förhållningsättet att brukets användbara konsistens stäms av mot mängden vatten som används vid släckningen av kalken, därutöver skall minsta möjliga mängd vatten tillsättas. Henström (1869) beskriver en metod där den våtsläckta luftkalken tas upp ur släckningskaret efter 6-48 timmar och är, av Henströms uppgifter att döma, färdig att blandas med sand. Av Rothstein kan förstås att en allmän regel är att kalken skall användas så fort den konstaterats vara släckt, detta oavsett släckningsmetod och kalksort. Av Henström (1896) framgår att luftkalken kan användas strax efter att den är släckt. Av de samlade författarnas uppgifter framgår att fet och mager luftkalk, hydraulisk kalk samt kalk användbar till murbruk i vatten släcks och används direkt eller efter en kortare tids lagring. Den kalk som av flera författare beskrivs vara lämplig att lagra är den feta eller rena luftkalken (e.g. Stål 1854; Henström 1869, 1896; Rothstein 2003). I tabell 1 är en sammanställning av författarnas olika förhållningsätt samlade.

Motiv till kalkens lagringstid

Kort lagringstid för släckt kalk motiveras av flera författare med att det har betydelse för brukets egenskaper. De argument som uttrycks är att kalkens bindande kraft och smidighet försämras samt att framställt bruk på lagrad kalk får sämre beständighet eller att dess godhet går förlorad (e.g. Pasch 1824; Stål 1854; Rothstein 2003). Henström (1869) skriver under rubriken *Olika material för olika puts* att kalk som förvarats längre tid i grop, så kallad syrkalk, är att föredra till utvändig puts. Dock lämnar Henström i samma handbok motsägande uppgifter när han till puts, under rubriken *Beredning av luftmurbruk*, rekommenderar kalk med 10-20 procent hydrauliska komponenter dvs. kalk



Figur. 1. I planschverk ur Rothstein (1856, 1875, 1890) avbildas denna murbruksmaskin. Rothstein skriver, "Figur 38 visar genomskärning och fig. 39 plan av en god bruksmaskin för större murbruksbrukstillverkning; a är en upprätt stående cylindrisk tunna av gjutet järn, b är en vertikal axel, vilket vrids runt genom en utväxling till det koniska hjulet g, och försett med armar c, i vilka snett stående prismatiska järnpinnar är fästa d, som går emellan samma sorts pinnar e, som är infästa på armar f som sitter på tunnans insida. Vid tunnans botten finns en lucka för att tappa ur bruket". Bild ur *Allmänna Byggnadsläran*, Rothstein 1856, plansch 2.

som inte kan våtlagras någon längre tid. Enligt Henström (1896) skall kalken vara nysläckt utan motivering. Som alternativ till att lagra kalken släckt beskrivs i handböcker att osläckt kalk kan lagras genom att mala och packa kalken i täta tunnor (Henström 1869; Rothstein 2003). Förfaringssättet gör det möjligt att framställa bruk av nysläckt kalk för att dra fördel av de egenskaper det ger, men det är bara Rothstein som uttrycker detta. Analogt beskriver Henström (1896) och Pasch (1824) användning av malen osläckt kalk men skriver inget om att det är ett sätt att lagra kalk.

Lagring av släckt kalk är ett sätt att ge kalken förutsättning att helt släcka sig och på så sätt undvika skador på puts och murverk. Av de samlade författarnas uppgifter framkommer förhållningsätt som innebär att kalken används direkt efter den är släckt eller efter mycket kort lagringstid. Det bör ha inneburit en förhöjd risk för skador av osläckt kalk. En risk som rimligen vägdes mot fördelen av att använda kalken så fort som möjligt efter att den var släckt. Osläckt kalk som skadeorsak i puts och murbruk berörs i liten omfattning i den samlade litteraturen. Vikten av att försäkra sig om att kalken i bruket vid användning är riktigt släckt påtalas, men så mycket mer än så utvecklas inte problemet (e.g Pasch 1824; Stål 1854; Rothstein 2003). Enligt Henström (1869) blir bruket sämre om det innehåller osläckt kalk. Ofullständig

släckt kalk i bruk berörs inte av Henström (1896). Någon metod för att kontrollera att kalken är riktigt släckt beskrivs inte av någon av författarna. Pasch, Stål, Henström och Rothstein beskriver olika tecken på att kalken är släckt t.ex. att kalken eller bruket har kallnat och inte längre sväller. Deras uppgifter pekar på att kalken kan bedömas vara släckt genom observation av släckningsförfarandet dvs. under en kort tid i anslutning till momentet eller strax efter.

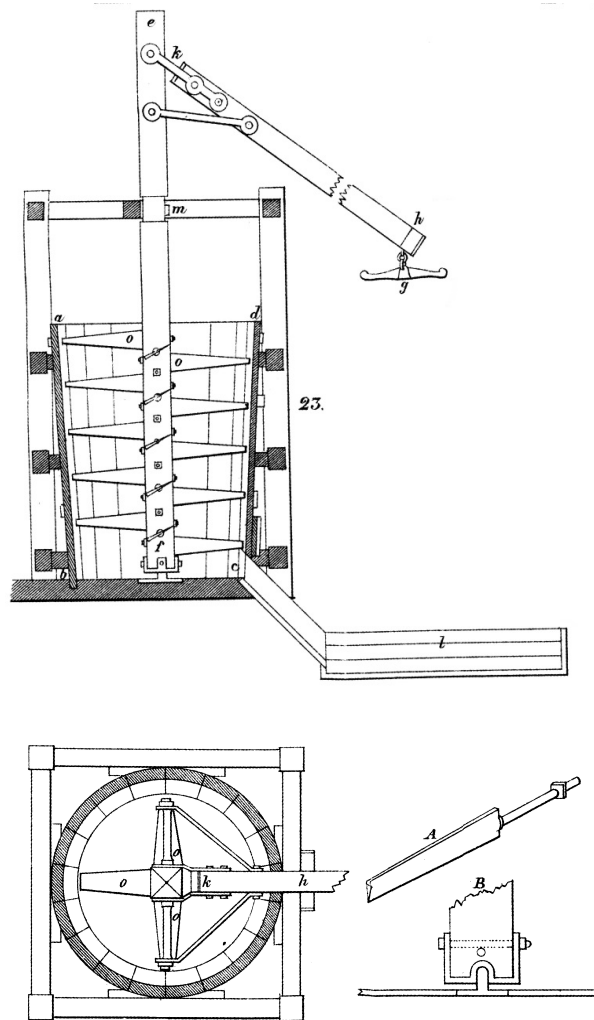
Blandning av bruk upparbetning av bruk som styvnat till

I handböcker under 1800-talet beskrivs blandning av bruk för hand genom bearbetning med järnpiskor, rakor och träklubbor (e.g. Stål 1854, Henström, 1869, 1896, Rothstein 2003). Enligt Stål, Rothstein och Henström (1896) är mindre mängder bruk lämpliga att blanda för hand men till större mängder är murbrukskvarn mer ändamålsenlig (fig.1). Av Henström (1896) framgår att lerbråkor också kan användas som murbrukskvarnar (fig. 2). Henström (1869) beskriver endast blandning av bruk för hand.

Enligt Rothstein kan en arbetare för hand blanda 800 liter bruk på en dag. Rothstein skriver att murbruk i de större städerna tillverkas fabriksmässigt och avlämnas på arbetsplatsen. Enligt Rothstein beror ett bruks godhet inte enbart på kalkens beskaffenhet och mängd, betydelse har också kalkens släckningssätt, brukets beredning och behandling. Brukets behandling sedan det är släckt berörs av flera författare. Sammantaget framgår att sedan bruket är blandat bör det genast användas, förhållningssättet är generellt gällande för all sorts bruk (Pasch 1824, Stål 1854, Henström 1869, 1896 och Rothstein 2003).

Vikten av att inte upparbeta bruk som styvnat med vatten för att åter göra det mjukt poängteras av flera författare. Av författarnas uppgifter kan förstås att det är ett generellt förhållningssätt till alla sorts bruk (e.g Pasch 1824; Stål 1854; Rothstein 2003; Henström 1869, 1896). Enligt Henström (1869) är hårdnat bruk som uppmjukats värdelöst till puts. Enligt Pasch, Stål, Henström (1896) och Rothstein får bruk endast bearbetas utan vatten för att göra det mjukare. Går inte det, skriver Rothstein analogt med Henström (1896) och Stål, så skall det kastas bort. Upparbetat bruk har mindre bindningskraft, enligt Rothstein. Enligt Pasch torkar det långsamt och blir känsligt för frost. För att undvika behovet av att upparbeta bruket bör, enligt Rothstein analogt med Henström (1896), inte större mängd bruk framställas än att det kan förbrukas innan det torkar.

Vid sidan av lagringstiden och att bruket genast skall användas påtalas av flera författare vikten av att vare sig för mycket eller för lite vatten får användas vid släckningen av kalken (e.g Stål 1854; Henström 1869; Rothstein 2003). Av Henström (1869, 1896) framgår att vattenmängden som används vid kalkens släckning skall vara så avstämd att inget vatten behöver tillsättas vid brukets blandning. Vidare framgår av Henström att det är onödigt att tillsätta vatten vid brukets blandning då bruket genom bearbetning kan göras till en tunn gröt samt att kalken på samma sätt kan göras tunnflytande.



Figur 2. I planschverk ur Rothstein (1856, 1875 och 1890) avbildas denna lerbråka. Figur 23 visar genomskärning och plan av en enkel lerbråka i trä; a, b, c, d är en upptill för lerans och sandens inkastning öppen, och med starka järnband beslagen, tunna, som är smalare emot botten. I mitten står en axel (e-f), runtomkring är knivarna (o) fästa i en skruvlinje. Axeln vrids med dragdjur fästade i g vid bommen (k h), eller med maskinkraft. Vid axelns vridning bearbetas och pressas leran neråt genom knivarnas sneda ställning varefter leran till slut genom öppningen vid c rinner ner i laven (l). Fig. A visar en kniv och fig. B visar tapphål av järn fäst i den vridbara axeln (k h) samt tapp av järn fäst i tunnans botten. Bild ur *Allmänna Byggnadsläran*, Rothstein 1875, plansch 1.

Enligt Pasch (1824) och Stål skall som regel minsta möjliga mängd vatten tillsätts vid blandningen utöver vad som åtgår till kalkens släckning. Det framgår också av de båda författarna att det på förhand kan vara svårt att bestämma den precisa mängden. Stål hävdar att om för mycket vatten används vid släckning av kalken blir kalken svårare att blanda med de övriga bruksämnena. Bruket torkar också mycket långsamt och blir ömtåligare för frost. Analogt hävdar Pasch att av för mycket vatten torkar bruket långsamt samt att av för lite vatten vid släckningen av kalken innehåller bruket en mängd osläckt kalk. Av Henström (1869) framgår att bruket spricker av för mycket vatten. Enligt Rothstein (2003) skall man akta sig för att använda vare sig för mycket eller för lite vatten vid blandningen av bruket. Han menar att det är omöjligt att på förhand ange bestämt mått på mängden vatten som åtgår. Med något undantag skriver han att bruket är lagom tjockt när det inte faller av slevens styckevis utan i en klump.

Material, metoder och förhållningsätt – 1900-tal

Under 1900-talet överges den tidigare kvalitativa definitionen av kalkbindemedel och ersätts med en kvantitativ definition. Förändringen sammanfaller med ökad byggnation av bostäder under 1900-talets mitt och behov av kvalitetssäkring av bruk. Ett led i denna kvalitetssäkring är att vid blandning av bruk kunna bestämma dess innehåll av kalkhydrat (rent kalkbindemedel) så att de motsvarar bestämmelserna fastställda av Kungliga byggnadsstyrelsen 1937. Som ett problem i sammanhanget påtalas att den kalk som används, beroende på var den bryts, kan ha stora variationer i sitt innehåll av kalkhydrat. Som lösning på problemet argumenteras i litteraturen för användning av mycket ren, i fabrik framställd torrsläckt kalk (Eriksson 2015). Successivt under 1950-talet ersätts den våtsläckta kalken som framställdes på arbetsplatsen med torrsläckt kalk. Den tidigare våtsläckta kalken kunde vara både fet och mager (svagt hydraulisk). Förändringen innebar användning av ett nytt fabriksframställt bindemedel men också förändrat förhållningsätt till vad som avses med kvalitet hos luftkalkbruk. Det förändrade förhållningsättet skiljer sig i den mening att under 1800-talet värdesätts den magra luftkalken för sin beständighet framför den rena luftkalken. Under 1900-talets mitt förändras förhållningsättet och den rena kalken värdesätts framför den magra, då den ger bättre förutsättning att bestämma brukets innehåll av kalkhydrat (Eriksson 2015).

Lagring av kalk

Under 1800-talet och fram till 1900-talets mitt var det vanligt att luftkalk för mur och putsbruk våtsläcktes på arbetsplatsen. Med ökad bostadsproduktion under 1900-talets mitt påtalas behov av kvalitetssäkring av bruk där materialfel som kalkblåsor orsakade av kort lagringstid omnämns som en ekonomisk riskfaktor (Bährner 1966). Under denna tid argumenterar flera författare för betydelsen av att den våtsläckta

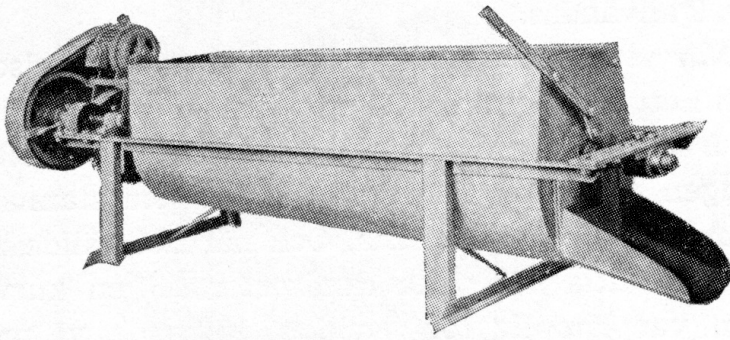
kalken skall lagras en tid efter att den är släckt (e.g Paulsson 1939; Nycander och Bährner 1950; Bährner 1966). Av tabell 1 nedan framgår att den rekommenderade lagringstiden till puts med något undantag bör vara minst en vecka, helst längre (e.g. Kreüger 1920; Paulsson 1939; Paulsson och Granholm 1953; Bährner 1966). Då luftkalk kan innehålla upp till 10 procent hydrauliska komponenter kan luftkalk hårdna genom karbonisering och hydratisering. Enligt Bährner analogt med Paulsson är det först när mängden hydrauliska komponenter överstiger 10 procent som de hydrauliska egenskaperna gör sig tydliga och får praktisk betydelse. Våtsläckning av hydraulisk kalk berörs av flera författare (e.g Paulsson 1939; Nycander och Bährner 1950; Bährner 1966). Av Nycander och Bährner och citaten nedan kan förstås att två olika bruk kan framställas, beroende på vilket förhållningsätt som antas. Ett förhållningsätt innebär att det hydrauliska hårdnade i bruket tas tillvara och ett motsatt förhållningsätt där man accepterar att de hydrauliska egenskaperna går helt eller delvis förlorade, av sammanhanget att döma beroende på valet av längre eller kortare lagring av den släckta kalken.

”Våtsläckt hydraulisk kalk bör användas snarast efter släckningen då i annat fall de hydrauliska egenskaperna mer eller mindre gå förlorade, och kalken vid användning därvid närmast är att betrakta som en luftkalk” (Nycander och Bährner 1950, sid. 27).

Ett överensstämmande sätt att förhålla sig till lagring av kalk med hydrauliska egenskaper framgår av och Paulsson (1939). Av Paulsson och i citatet nedan framgår att svagt hydraulisk kalk lagras en tid och behandlas som om den vore luftkalk. I likhet med Nycander och Bährner är det rimligt att Paulssons förhållningsätt inneburit att man accepterat att egenskapen av det hydrauliska hårdnandet i den svagt hydrauliska kalken mer eller mindre gått förlorad.

”Endast en ringa del av den kalk som i vårt land användes för byggnadsändamål innehåller så stor mängd sådana ämnen som ger kalken hydrauliska egenskaper att bruk därav skiljer sig märkbart från vanligt kalkbruk. Svagt hydraulisk kalk användes på samma sätt som luftkalk. Förbrukare torde i allmänhet icke märka någon större skillnad om de ena gången få luftkalk och den andra svagt hydraulisk kalk. Den senare ger dock ett starkare bruk med bättre vidhäftning. Stark hydraulisk kalk kalk finnes i huvudsak endast i Västergötland, i Närke och på Öland. När halten av kalciumoxid går ner till ca 70 procent eller där under är det inte lämpligt att våtsläcka kalken, emedan den då börjar hårdna under lagringen” (Paulsson 1939, s. 74).

Ett kvantitativt värde på benämningen svagt hydraulisk kalk framgår av Hökerberg (1947). Han uttrycker att fet luftkalk är kalk som innehåller högst 10 procent hydrauliska komponenter. Hydraulisk kalk är kalk som håller 10-30 procent hydrauliska komponenter. Vid den första gränsen, med lägre halt hydrauliska komponenter är kalken svagt hydraulisk. Enlig Krüger är en tydlig gräns mellan vad som är luftkalk och svagt hydraulisk kalk svår att dra.

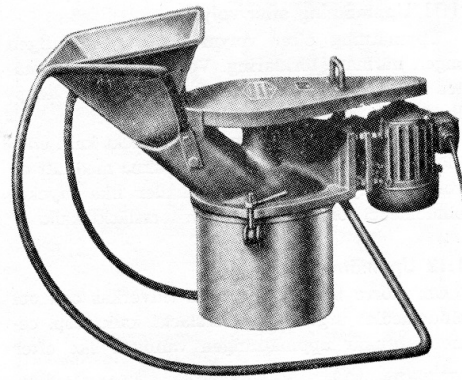
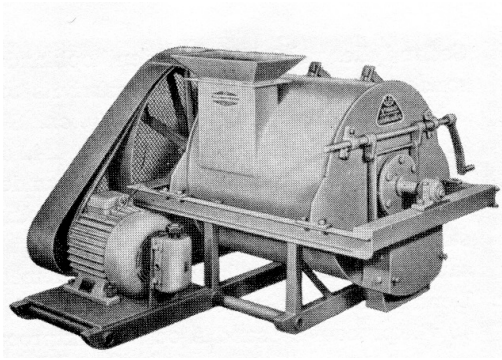


Figur 3. En bruksblandare som arbetar som satsblandare med tio minuters blandningstid. Blandaren består av ett avlångt blandarkar med en längsgående roterande axel som drivs av en motor fäst vid karets ena gavel. På axeln är monterat vingar av plattjärn som bearbetar bruket. Bruket fylls i ovanifrån och töms ur blandaren med en spak som öppnar en lucka vid karets gavel. Blandaren fanns i olika storlekar med satsvolymer från 400 till 1500 L. Bild ur Bährner 1966, kap. 3, s. 4.

Paulsson (1939) anger ingen tid för hur länge det är lämpligt att lagra svagt hydraulisk kalk. Eftersom han skriver att den svagt hydrauliska kalken behandlas på samma sätt som luftkalk är det rimligt att kalken varit möjlig att lagra upp till en vecka, dvs. den kortaste tid han rekommenderar för lagring av kalk till putsbruk. Av Bährner (1966) framgår att när hydraulisk kalk våtsläcks så bör den inte lagras mer än 3-4 dagar, då den hårdnar och blir olämplig att framställa bruk på. Av flera författare under 1900-talets mitt framgår att när våtsläckt hydraulisk kalk används kan inte rekommendationen att kalk till puts skall lagras en tid följas, varför torrsläckt hydraulisk kalk rekommenderas. Utöver risken för kalkblåsor motiveras användningen av torrsläckt hydraulisk kalk framför våtsläckt med att den våtsläckta tillstyvnar eller hårdnar under lagringen och blir olämplig att framställa bruk på. (Paulsson 1939; Nycander och Bährner 1950; Paulsson och Granholm 1953; Bährner 1966).

Blandning av bruk

Flera författare beskriver att bruk som blandas i maskin blir bättre blandat än bruk som blandas för hand (e.g Kreüger 1920; Paulsson 1939, Bährner 1966). Enligt Kreüger analogt med Paulsson och Granholm (1953) blandas på mindre byggarbetsplatser bruk för hand i lave med hjälp av skyfflar. Vid brukets blandning tillsätts vatten, beroende på arbetsuppgift i olika mängd (Krüger 1920; Nycander och Bährner 1950; Bährner 1966). På större byggarbetsplatser och i bruksfabriker blandas bruket maskinellt i murbrukskvarn. Olika sorters maskinella blandare samt deras för och nackdelar beskrivs i handböcker under 1900-talets mitt (Nycander och Bährner 1950; Paulsson och Granholm 1953; Bährner 1966). Enligt Paulsson och Granholm behöver handblandat bruk göras bindemedelrika för att få god arbetbarhet och inte separera (vatten avskiljer sig från bruket). De skriver att ett bättre bruk fås om blandningen av bruket görs i vanliga murbruksblandare under förutsättningen att blandningstiden är tillräckligt lång, ju längre bruket bearbetas desto bättre blir smidigheten. Enligt Bährner kan acceptabelt bruk framställas i murbrukskvarnar (murbruksblandare) under förutsättning att de arbetar som satsblandare med blandningstid av minst tio minuter (fig. 3). Av Paulsson och Granholm framgår att en aktivator, som är en ny typ av blandningsmaskin, är bättre bruksblandare än de murbruksblandare som van-

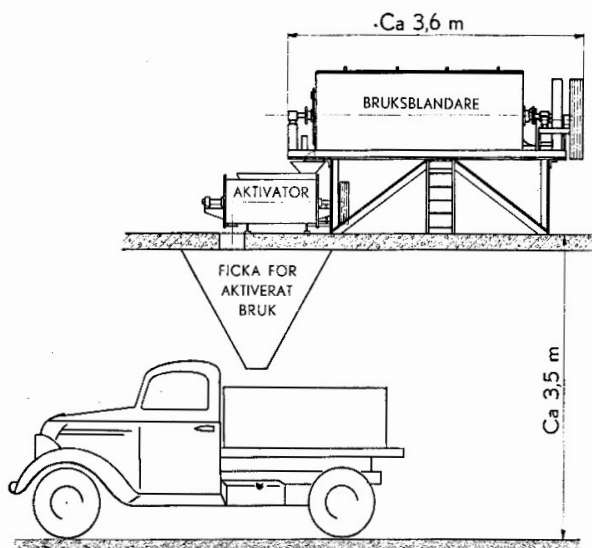


ligen används. Enligt Nycander och Bährner (1950) utgör införandet av aktivatorer vid bruksblandning en milstolpe i bruksteknikens utveckling (fig. 4 och 5).

De fördelar som aktiverat bruk bidrar till, enligt Nycander och Bährner (1950), är att bruket håller sig arbetbart längre tid innan det behöver upparbetas (fig. 6). Bruken kan göras magrare och bruket blir smidigt även vid användning av magra blandningsförhållanden. Analogt med Paulsson och Granholm (1953) samt Nycander och Bährner framhåller Bährner (1966) blandning av bruk med aktivator som den bästa metoden. Bährner beskriver aktivatorn som en mycket snabbgående blandare. Där blandningsvingarna i maskinen piskar bruket med en periferihastighet av 8-10 meter per sekund. Enligt Bährner kan en aktivator fungera som satsblandare eller ytterligare bearbeta bruket efter att det är blandat i bruksblandare. Av Nycander och Bährner (1950) framgår att ju mer ett bruk bearbetas

Figur 4 (u.r.v.). Bruksaktivator typ A-N i.o. avsedd för större arbetsplats. Aktivatorn består av en liggande cylindrisk behållare, i centrum av behållaren går en axel. På axeln är det fäst blandningsvingar av järn. Axeln drivs runt av en elmotor varpå blandarvingarna piskar bruket. Brukets delmaterial fylls i aktivatorn genom öppningen (tratten) på aktivatorn ovansida. Det färdiga bruket töms genom en spak som öppnar en lucka i gavelns nedre del. Aktivatorn har kapacitet att blanda 1200-1600 liter bruk per timma. Satsvolymen är 100 L och blandningstiden ca 3 minuter. Bild ur Bährner 1966, kap. 3, s. 6.

Figur 5 (u.t.h.). Motordriven bruksaktivator typ PA-30, avsedd för reparation och mindre arbeten. Brukets delmaterial fylls i aktivatorn genom tratten det färdiga bruket töms genom det samma genom att tippa aktivatorn framåt på medarna av stål. Aktivator används också för beredning av murbruksfärger. Bild ur Bährner 1966, kap. 3, s. 6.



Figur 6. En principskiss av en murbruksfabrik. Puts och murbruk blandas först i en bruksblandare, det blandade bruket tappas sedan ner i aktivatorn. Efter aktivering under 3-5 minuter tappas bruket ner i en förrådsficka för vidare lastning på bil och leverans till arbetsplatsen. Enligt Nycander och Bährner bidrar den intensiva bearbetningen i aktivatorn till att bruket behåller sin smidighet längre och inte separerar under längre transport. Att aktivera fabriksblandat bruk har enligt Nycander och Bährner bidragit till att uppgörning i murarens balja eller i förrådslavar på arbetsplatsen inte behövs. Bild ur *Modern Putsteknik*, Nycander och Bährner 1950, s. 40.



Figur 7. En mindre släckare med maskinell omrörning. Enligt Bährner är det viktigt för kalkens släckning att god kontakt mellan vatten och kalk skapas. Han skriver att det sker bäst i släckare med maskinell omrörning. Vid släckningen sönderfaller kalken under intensiv värmeutveckling. För att temperaturen inte skall bli för hög tillsätts succesivt vatten under omrörning. Lämplig släckningstemperatur är strax under vattnets kokpunkt. När värmeutvecklingen upphört omrörs och späds kalkdegen med vatten till homogen tunnflytande konsistens. Detta för att genom sikt med 1-2 mm fri maskvidd kunna sila och avskilja små klumpar av osläckt kalk. Bild ur *Handbok om Murbruk och Putsbruk*, Bährner 1966, kap. 2 s. 5.

vid blandningen desto mer vatten måste tillsättas vid brukets blandning. De exemplifierar det och skriver att vid blandning i murbrukskvarn måste mer vatten tillsättas än vid blandning för hand och mer vatten vid aktivering än vid maskinblandning. Vidare kan förstås av Nycander och Bährner att aktiverat bruk måste blandas magrare för att undvika krympsprickor. Risken för krympsprickor utvecklas i relation till bearbetning men det är rimligt att behovet av den större vattenmängden varit en bidragande orsak men det berör han inte. Även Bährner belyser att intensiv bearbetningen av bruket vid blandningen ökar behovet av att tillsätta vatten.

Mekanisk omrörning av bindemedel och upparbetning av bruk som styvnat till

I handböcker och byggnadslitteratur under 1900-talets första hälft beskrivs att maskiner används vid omrörning av kalken när den släcks på fabrik (e.g. Paulsson 1939; Paulsson och Granholm 1953; Bährner 1966). Av Krüger framgår att släckning av kalk görs för hand men vid tillverkning av större kvantiteter kalk görs det maskinellt. Enligt Bährner finns motordrivna släckare i olika storlekar, en mindre släckare för släckning av 200-300 kg kalk på arbetsplatsen framgår av figur 7. Bährners beskrivning som innebär att kalken under släckningen succesivt tillsätts vatten under kontinuerlig omrörning samt att kalken efter släckningen under omrörning ytterligare späds med vatten är väl överensstämmande med beskrivning av maskinell släckning i hantverkets bok *Mureri* (Paulsson 1939; Paulsson och Granholm 1953).

Enligt Nycander och Bährner (1950) är det svårt att ge några generella regler för hur länge berett kalkbruk kan lagras. De skriver att bruk med en kalksort kan bli styvt efter 20 minuter medan en annan sort kan lagras till dagen därpå. Emellertid hävdar de, att som regel är det inte lämpligt att låta kalkbruk stå i laven från dag till dag. Av Paulsson (1939) framgår att: *"Bruk av luftkalk kan efter blandning utan att skadas förvaras under samma betingelser som gälla för syrkalk, nämligen att ytan täckes med ett vattenlager som hindrar karbonatisering"* (Paulsson 1939, s 69). I enlighet med Paulsson och Granholm och citatet nedan kan förstås att bruk på luftkalk lagras i flera veckor efter att det är blandat.

”Den rena luftkalken är mycket omtyckt av byggmästare. Den ger dels ett smidigare bruk, då den blandas i vanlig murbrukskvarn, dels kan bruk av det samma stå på arbetsplatsen i lave och användas vecka efter vecka, även om kvaliteten därvid faller” (Paulsson och Granholm 1953, s. 115).

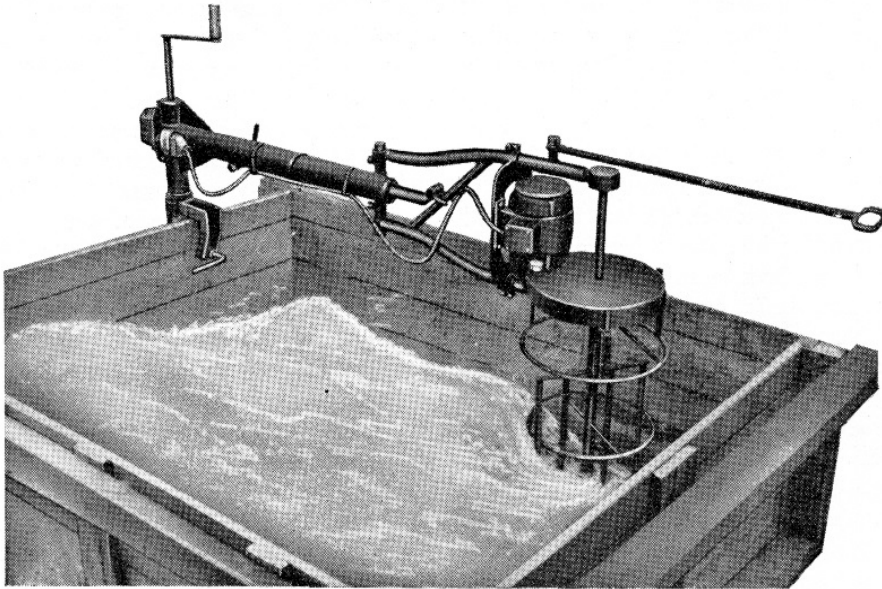
Av flera källor under 1900-talets mitt framgår att när blandat bruk får stå oanvänt i laven en tid styvnar det till och blir oanvändbart (e.g Nycander och Bährner 1950; Paulsson och Granholm 1953; Bährner 1966). För att göra tillstyvnat bruk användbart behöver det upparbetas, så kallad uppgörning av bruk.

”Alla bruk styvnar till vid lagring och blir därigenom svårarbetade genom tillsättning av vatten och omrörning kan den ursprungliga arbetbarheten skenbart återställas. Detta tillvägagångsätt kallas uppgörning” (Bährner 1966, kap. 4, s. 20).

Av min egen erfarenhet som murare kan bruket under en kort tid efter att det är blandat upparbetas utan att vatten tillsätts bruket, efter en längre tid är det nödvändigt att tillsätta vatten till bruket för att få det arbetbart. Av flera författare framgår uppgifter om att upparbetning av tidigare blandat kalkbruk, som i laven tillstyvnat, påverkar brukets kvalitet negativt (Nycander och Bährner 1950; Paulsson och Granholm 1953; Bährner 1966). Av Paulsson och Granholm (1953) uttrycks en medvetenhet om att kalkbrukets kvalitet blir sämre då det upparbetas men av citatet ovan att döma tycks det finnas en utbred acceptans för detta bland byggnadsentreprenörerna. Enligt Bährner är upparbetat kalkbruk aldrig så bra som färskt. Kalkbruk skall därför inte stå oanvändbart en längre tid utan användas omedelbart. Nycander och Bährner analogt med Bährner menar att kalkbrukets kvalitet försämras när det upparbetas med vatten. När bruket upparbetas förstörs brukets ursprungliga homogena sammansättning genom att bindemedel och sands intima förbindelse bryts upp. Av Nycander och Bährner (1950) framgår att kalkbruk kan förvaras längre än kalkcementbruk men att användningstiden i likhet med kalkcementbruk regleras av brukets tillstyvnande. Av Bährner (1966) kan förstås att lagring av berett bruk påverkas eller styrs av arbetsplatsens logistik.

”En av kalkbrukets fördelar är att det kan förvaras på arbetsplatsen längre än kalkcementbruk men även kalkbruk bör vid användning helst var nytillverkat. Om man använder uppgjort bruk riskerar man att få större krympning hos detta bruk än hos nyberett bruk. Genom att tillverka bruket på arbetsplatsen i mån av åtgång undviker man det uppgjorda brukets nackdelar” (Bährner 1966, kap. 3, s. 17).

Enligt Bährner krymper upparbetat kalkbruk mer än nytillverkat kalkbruk. Under rubriken *Fel vid murning och putsning* belyser Bährner hantverkarens ansvar. I den diskussion han för framgår att bruket måste väljas så att det krymper så lite som möjligt för att undvika krympsprickor. Emellertid kan av Bährner (1966) lämnade uppgifter under rubriken *Murning och putsning vintertid* förstås att upparbetning av bruk systematiskt utförs: ”Maskinell bruksomrörare bör finnas för att säkerställande av



Figur 8. En apparat (Alimak) för uppgörning av bruk på arbetsplatsen. Bruksuppgöraren består av en motor-driven visp monterad på burkslavens kant. Med en hävarm kan vispen föras runt i laven och uppjobba bruket med eller utan tillsats av vatten. Maskinen är enligt Bährner (1966) vanlig på arbetsplatser där bruket är blandat och levererat från fabrik. Behovet av uppgörning kommer av att bruket vid lagring styvnar till varför det innan användning behöver bearbetas med eller utan vatten för att bli arbetbart. Bild ur *Hantverkets bok Mureri*, Paulsson och Granholm 1953, s. 115.

jämnare brukskonsistens” (kapitel 4, s. 24). Att uppgörning av bruk är något som planmässigt utförs på byggarbetsplatsen under 1900-talets mitt framgår av de maskiner som har till ändamål att bearbeta bruket så att smidigheten bibehålls (fig. 8).

2.5 Sammanfattning och slutsats material metoder och förhållningsätt: 1800- och 1900-tal

Av handböcker och byggnadslitteratur framgår att det finns skillnader i hur bindemedel och bruk framställs och används under 1800- och 1900-talet. Nedan ges en sammanställning av de skillnader som framkommit i litteraturen.

Sammanfattning 1800-tal

Flera källor visar att bruk under 1800-talet var bindemedelrika (e.g Stål 1854; Henström 1869; Eriksson 2015). Resultaten från analysen av 1800-tals litteraturen visar att både luftkalk och kalk med svagt hydrauliska egenskaper våtsläcks under denna tid. Analysen visar också att inga generella rekommendationer lämnas för att våtsläckt luftkalk skall lagras en tid innan den används. Därtill framgår att våtsläckt kalk används snart efter att den är släckt (se tabell 1). När kalken används direkt bidrar de hydrauliska egenskaper luftkalk kan ha till brukets hårdnande, det sker inte i det fall kalken lagras (Nycander och Bährner 1950; Bährner 1966). Analysen visar även att luftkalk lagras under lång tid samt att osläckt kalk lagras. Vidare framgår av litteraturen att vid blandning av bruk på nysläckt kalk stäms mängden släckningsvatten av mot brukets arbetbara konsistens så att inget eller minsta möjliga mängd vatten behöver tillsättas. Förfarandet innebär att kalkens släckning och brukets blandning är starkt knutna till varandra genom den använda mängden släckningsvatten. Reglering av brukets konsistens kan

då endast göras genom reglering av mängden släckningsvatten eller genom att variera mängden sand i bruket. I det senare följer en logik i det att bruk till tjockare påslag och utfyllnad av fogar behöver ha ett styvare bruk, vilket regleras genom att tillsätta mer sand. Detta motverkar den ökade krympning som uppstår i tjockare brukslager. En förutsättning för utförandet är att kalken vid bearbetning får en lös konsistens. Erfarenheter visar att nysläckt kalk vid omrörning får så lös konsistens att vatten inte behöver tillsättas vid blandning av bruk (Eriksson 2012, 2015). Analogt framgår av Henström (1869). Egenskapen att bli lös vid bearbetning gör det lättare för sanden att blanda sig med kalken (Persson 2012). Resultaten visar även att berett bruk generellt skall användas direkt och kan upparbetas genom bearbetning men inte genom upparbetning med vatten. Vid sidan av handblandning av bruk blandas bruk i speciella maskiner, det senare när större volymer bruk behövs.

Sammanfattning 1900-tal

Flera källor visar att bindemedelhalten i bruk under 1900-talet är ca hälften av bindemedelhalten i bruk under 1800-talet (e.g Kreüger 1920; Bährner 1966; Eriksson *et al.* 2016). Resultaten från analysen av 1900-tals litteraturen visar att släckning av kalk görs för hand i lave samt i släckare med mekanisk omrörning i båda fallen späds kalken till rinnande konsistens så att den kan silas. Lagringstiden för våtsläckt kalk är, för murning 2-3 dagar, för puts minst en vecka (se tabell 1). Av analysen framgår att de hydrauliskt hårdnade egenskaper luftkalk kan ha hårdnar under lagringen och utnyttjas inte i det färdiga bruket. Resultaten visar även att svagt hydraulisk kalk lagras och behandlas som luftkalk. Av rekommendationen att släckt kalk skall lagras dras slutsatsen att inga praktiska problem uppstår av det hydrauliska hårdnande som sker i kalken vid lagringen. Resultaten visar att hydraulisk kalk våtsläcks och används direkt eller efter 3-4 dagars lagring (tabell 1). Dock visar analysen att användning av torrsläckt hydraulisk kalk rekommenderas framför våtsläckt. De argument som framförs för användning av torrsläckt hydraulisk kalk är att våtsläckt hydraulisk kalk hårdnar och blir svår att blanda bruk på samt att den korta lagringstiden kan ge upphov till skador i form av kalkskott. Under 1900-talet blandas bruk för hand och med maskin och litteraturen visar att man argumenterar för att bruket skall blandas mycket intensivt i aktuatorer i stället för i mer långsamt gående murbruksblandare. Därtill visar analysen att aktiverat bruk måste blandas magrare för att inte krympsprickor skall uppstå samt att mer vatten behöver tillsättas bruket vid intensiv blandning än vid mindre intensiv. Resultaten visar också att berett kalkbruk lagras på arbetsplatsen från en dag till flera veckor. Förfarandet innebär att bruket behöver upparbetas. Det görs systematiskt trots vetenskap om att brukets egenskaper försämras.

Slutsats material metoder och förhållningsätt vid framställning av bindemedel och bruk under 1800- och 1900-talet

- Bindemedelrika bruk på nysläckt kalk har använts under 1800-talet. Förfarandet bidrar till att de hydrauliska egenskaper luftkalk kan ha tas tillvara något som inte sker under 1900-talet när den våtsläckta kalken lagras.
- Mekanisk bearbetning vid framställning av bindemedel och bruk är den tydligaste förändring som sker mellan 1800- och 1900-talet.
- Under 1900-talet kan vatten tillsättas i flera steg av framställningen av bindemedel och bruk. Vatten tillsätts vid släckning av kalken och brukets blandning samt vid upparbetning av blandat bruk. I jämförelse med att blanda bruk på nysläckt under 1800-talet framkommer uppgifter som visar att vatten i huvudsak tillsätts vid kalkens släckning, som ett direkt föregående moment till brukets blandning. Där den använda mängden vatten stäms av mot det färdiga brukets arbetbara konsistens. Men det finns också uppgifter som visar att detta är en svår avvägning varför ytterligare vatten kan behöva tillsättas.
- Känd kunskap under 1800- och 1900-talet är att tidigare blandat bruk som upparbetats är av sämre kvalitet än ny berett bruk. Med kunskap om kvalitetsnedsättningen upparbetas kalkbruk planmässigt med speciella maskiner under 1900-talet. Av litteraturens uppgifter att döma görs inte det under 1800-talet. Det tyder på en större omsorg om luftkalkens egenskaper vid tillverkning av bruk under 1800-talet än under 1900-talet.
- Det finns inga uppgifter i litteraturen som visar på att lagring av luftkalk ger mer krympsprickor i bruk. Dock kan ett möjligt samband utläsas genom den mindre användningen av vatten när kalken släcks som ett direkt föregående moment till brukets blandning. Några uppgifter som pekar på att bearbetning av kalk ger upphov till krympsprickor har inte framkommit i analysen. Dock framgår av Bährner (1966) ett möjligt samband mellan krympsprickor och bearbetning av bruk när han skriver att upparbetat bruk krymper mer än färskt bruk. I relation till blandning av bruk framgår av Nycander och Bährner (1950) att intensiv blandning med aktivator ger upphov till krympsprickor. Enligt Nycander och Bährner (1950) samt Bährner (1966) behövs mer vatten tillsättas bruket vid intensivare blandning än när det blandas mindre intensivt. Mot bakgrund att vatten är grundorsak till att bruk krymper pekar uppgifterna på ett möjligt samband mellan krympsprickor och intensivt bearbetning när bruket blandas.

Tabell 1. Förhållningsätt- lagringstid för våtsläckta bindemedel och olika användningsområden

Författare	Lagringstid för luftkalk till puts	Lagringstid för luftkalk till murning	Ospecificerad användning av luftkalk	Ospecificerad användning av hydraulisk kalk
Henström (1896)			3-4 veckor benämns syrkalk, i mindre satser direkt efter att kalken är släckt	Används efter att den är släckt i samband med bruksberedningen
Rothstein (2003 [1890]) Faksimilutgåva	Kan lagras i flera år (benämns syrkalk)		Några dagar – veckor	Snart efter att kalken är släckt
Henström (1869)	Den vanliga kalken kan lagras under längre tid (benämns syrkalk)		6-48 timmar tills hettan avtagit	6-48 timmar tills hettan avtagit.
Stål (1854)	Kan lagras längre tid, ett eller flera år, benämns syrkalk		Används efter att den är släckt och kallnat	Kalken släcks i samband med bruksberedningen, används efter att bruket kallnat
Pasch (1824)				Kalken släcks i samband med bruksberedningen,
Bährner (1966)	7-14 dagar, helst längre	7-14 dagar		Inom 3-4 dygn
Paulsson och Granholm (1953)	Ej understiga 1 vecka	Ej mindre än 2 dagar		
Nycander och Bährner (1950)	Lång lagringstid, vissa rena kalk sorter 4 dagar	Lång lagringstid, vissa rena kalk sorter 4 dagar		Snarast efter att kalken är släckt
Paulsson (1939)	Ej under 1 vecka, helst 3-4 v	2-3 dagar, helst 1 vecka		
Kreüger (1920)	Ca 1 vecka	1-2 dagar		Mager luftkalk släcks med vatten överskott och lagras på samma sätt som fet.

Citat av författarna som kan relateras till tabellen och förhållningsätt till kalkens släckning och lagring

Henström (1896):

”Murbruk av svagt hydraulisk kalk beredes på samma sätt som luftmurbruk, men till syring i grop lämpar sig kalken endast när den är mycket svagt hydraulisk, d.v.s. håller högst 10 % lera” (hydrauliska komponenter) (Henström, 1896, s. 8).

Rothstein (2003[1890]) Allmänna byggnadsläran. Faksimilutgåva:

”Att köpa kalken släckt är högst ofördelaktigt, emedan ju längre han får ligga släckt, dess mera förlorar han sin bindande kraft” (Rothstein, 2003, s. 189).

”En regel är äfven, att så snart kalken är släckt, däraf genast bereda murbruk, emedan detta eljest förlorar i godhet. På ställen, där man ej kan få osläckt kalk, tvingas man dock till denna regels överträdande, men alltid på beskostnad af murbrukets godhet” (Rothstein, 2003, s. 197).

Henström (1869):

”Huru man vid murbruksberedning skall tillvägagå för att erhålla det bästa murbruket, finnas många anvisningar, hvarvid hvar och en särskild metods fördelar framhållas. Hvar och en af dessa metoder är i och för sig mer eller mindre riktig, men ingen av dem eger allmän tillämplighet, utan är metoden beroende på: dels huru beskaffad kalken är, dels huru den blivit släckt” (Henström 1869, s. 77).

Stål (1854):

”Till murning i vatten bör man ej använda sådan kalk, som efter släckningen varit länge förvarad och därjämte varit utsatt för luftens åtkomst; ty murbruket torkar då ganska långsamt och bibehåller sig ej i vatten, samt skadas lätt av frost. För murning i luften är åter bäst att antingen släcka kalken först då murbruket skall tillredas nämligen då den är mycket rik på främmande bestånds delar”... (Stål, 1854, s. 56).

Pasch (1824):

”Kalkens behandling efter bränning verkar ganska mycket på murbrukets kvalitet. Till sådant murbruk som snart skola exponeras för vatten, bör man icke nyttja kalk som för längre tid sedan blivit släckt på det vanliga sättet. Murbruket blir då otjänligare därigenom att det långt senare hårdnar och således lätt bortsköljes i synerhet av pressvatten. Även annars torkar ett sådant murbruk ganska långsamt och skadas merendele av den påföljande vinterns köld” (Pasch 1824, s. 220).

Bährner (1966):

”När det gäller våtsläckning av hydraulisk kalk är det däremot nödvändigt att använda den nysläckta kalken så fort som möjligt, inom 3-4 dygn” (Bährner 1966, kap.2, s. 4)

”När det gäller bindemedel för bruk kan man skilja på två grupper: den ena gruppen omfattar, vad man brukar kalla luftkalkerna... Den andra gruppen omfattar, vad man kallar hydrauliska bindemedel, vilka beroende på bindemedlets kemiska uppbyggnad, kan vara svagt hydraulisk eller starkt hydrauliska. Bland de senare inräknas bindemedlet cement” (Bährner 1966, kap.2, s. 2)

Nycander och Bährner (1950):

”Vätsläckt hydraulisk kalk bör användas snarast efter släckningen då i annat fall de hydrauliska egenskaperna mer eller mindre gå förlorade, och kalken vid användning därvid närmast är att betrakta som en luftkalk” (Nycander och Bährner 1950, s. 27).

Paulsson (1939):

"Endast en ringa del av den kalk som i vårt land användes för byggnadsändamål innehåller så stor mängd sådana ämnen som ger kalken hydrauliska egenskaper att bruk därav skiljer sig märkbart från vanligt kalkbruk. Svagt hydraulisk kalk användes på samma sätt som luft kalk. Förbrukare torde i allmänhet icke märka någon större skillnad om de ena gången få luft kalk och den andra svagt hydraulisk kalk. Den senare ger dock ett starkare bruk med bättre vidhäftning" (Paulsson 1939, s. 67).

Kreüger (1920):

"Man brukar med hänsyn till lerhalten tala om stark hydraulisk kalk, medelhydraulisk och svagt hydraulisk kalk. Någon bestämd fixerad gräns för dessa tre slag av hydraulisk kalk kan naturligtvis lika litet fixeras som gränsen mellan svagt hydraulisk kalk och luftkalk" (Kreüger, 1920, s. 133).

"Hydrauliskt kalkbruk framställs i allmänhet genom blandning av hydraulisk kalk i pulverform" (Kreüger 1920, s. 133)

Kapitel 3

Artiklar

Kapitel 3.1

Artikel 1

Eriksson, J., Johansson, S. & Lindqvist J. E. (2016).
"Development of mortars in Sweden during the period 1800-1950".
4th Historic Mortars Conference HMC-2016, Santorini, Greece.

Kapitel 3.2

Artikel 2

Eriksson, J. & Lindqvist J. E. (2018).
"Lime render, shrinkage cracks and craftsmanship in building restoration",
i *Journal of Cultural Heritage*. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.10.017>

Kapitel 3.3

Artikel 3

Eriksson, J. "Putsrestaurering av en medeltida kyrka".

Manuskript



KAPITEL 4

Avslutning

En röd tråd i denna avhandlingsdel och i licentiat uppsatsen *Bruk av kalk och sand – ur ett hantverkligt perspektiv* (Eriksson 2015) har varit att skapa förståelse för hur kunskapen om bruk förändrats från 1800-talets början fram tills i dag. Behov av att förstå denna förändring har haft påverkan på de frågeställningar som belysts och undersökt i de två delarna som tillsammans utgör min avhandling för filosofie doktorsexamen. Mot denna bakgrund ges i kapitel 4.1 en summering av licentiatuppsatsens resultat samt avhandlingsdelens mål och frågeställningar därefter i kapitel i kapitel 4.2–4.5 sammanfattas och diskuteras avhandlingens resultat. I kapitel 4.6 beskrivs framtida forskningsbehov.

4.1 Summering - licentiatuppsatsen och avhandlingsdelens mål och frågeställningar

Resultat i licentiatuppsatsen visar att det är flera samverkande faktorer som bidrar till att kunskapen om bruk förändras. Ytterst är det samhälliga behov som driver på forskning om bindemedel och bruk, så som t.ex. industrialisering under 1800-talet där behov av vattenleder för transport av varor bidrar till forskning om lämpliga bruk för byggnation i vatten. Denna tidiga forskning om bruk ökar kunskapen om bindemedels kemiska sammansättning och leder b.l.a. till att den rådande kvalitativa definitionen av bindemedel i handböcker och byggnadslitteratur successivt ersätts med en kvantitativ definition.

En annan faktor som påverkar är att människor under 1900-talet flyttar från landsbygden till städer vilket driver på byggandet av bostäder. Den ökade byggnadstakten bidrar till utveckling av nya stombyggnadsmaterial och bruk varpå de tidigare bruken fasas ut.

Hantverkarens roll som kunskapsbärare är tydlig och framgår i handböcker under 1800- och 1900-talet (Eriksson 2015). I handböcker under 1800-talet redogörs för brukets delmaterial, putsens uppbyggnad samt hantverkliga metoder för provning och framställning av bindemedel och bruk. Förmedlingen är huvudsakligen baserad på empirisk kunskap och speglar det hantverkliga utförandet samt materiella och metodiska bedömningar i de olika processer som ingår i bruksframställning. Kunskapen är gemensam för hantverkare, ingenjörer och arkitekter, något som bekräftas av att de är utformade som läromedel för husbyggnation, lantmannabyggnader och vattenbyggnadskonstruktioner. Under 1900-talet förändras framställningen av bruk för att vara kompatibel med nya byggnadsmaterial och snabbare byggnadstakt. I den forskning som tar fart ur detta behov har hantverklig kunskap en central roll vilket framgår av att hantverkare ingår i professionsöverskridande samarbeten med ingenjörer men också av att de är kritiska granskare av de handböcker som forskningen resulterar i (Eriksson 2015).

Fram till 1900-talets mitt framställdes bindemedel till bruk på arbetsplatsen genom våtsläckning. Utveckling av nya byggnadsmaterial och snabbare byggproduktion bidrar i ett första skede till att framställning av bindemedel på arbetsplatsen upphör. Bruk av kalk och sand blandas fortfarande på arbetsplatsen men med fabriksframställt torrsläckt bindemedel. I ett andra skede framställs färdiga torrbruk på påse innehållande sand och bindemedel som på arbetsplatsen blandas med vatten. Detta förfarande är fortfarande detsamma i dag. För den hantverkliga kunskapen fick förändringen genomgripande påverkan i det att hantverket inte längre upprätthåller kunskap om sambandet mellan framställt bindemedel och bruk och vad det skall användas till (Eriksson 2015). Den kunskapsförlust som uppstår i hantverket samt att bindemedel och bruks framställning förändras uppmärksammas av kulturminnesvården under slutet av 1960-talet i samband med att de nya brukstyperna börjat ge skador på kulturfastigheter. Kunskapsbristen definierades som ett prioriterat forskningsområde och behov att återta kunskap om historiska material och metoder uttrycks. Litteraturanalysen visade även att under 1900-talets slut i ämnesområdet kalkbruk finns en tudelning i byggnadsvårdslitteraturen där kunskap om arbetsutförande är knutet till hantverket och kunskap om bruk är knuten till ingenjörsprouffionen. De forskningsfrågor som behandlas i byggnadsvårdslitteraturen har tydliga kemiska och fysikaliska inriktningar, en orientering som samtidigt tycks bidra till en distansering till hur bruket förhåller sig till den praktiska användningen. Det gör sig tydlig i att det i stor utsträckning saknas anvisningar eller normativa riktlinjer för blandningsförhållan-

den, putsens maximala tjocklek, putslagrens antal och tjocklek samt sandens grovlek, kornfördelning och hur det påverkar arbetbarheten (Eriksson 2015).

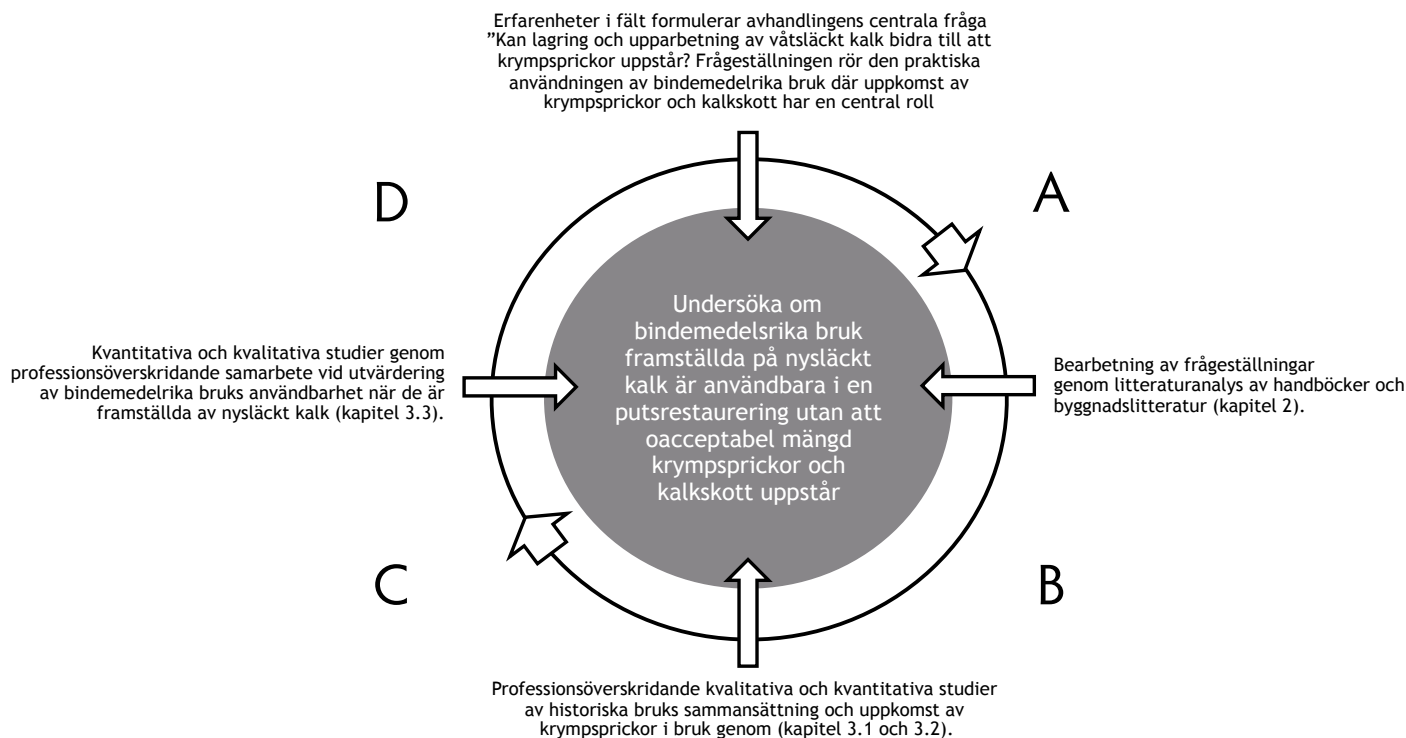
Med erfarenhet av de skador som de cementbaserade bruken bidrar till riktas inom byggnadsvården intresset mot i historien tidigare använda bindemedel som våtsläckt kalk. Av rapporten *Kalkputs 2* (Hidemark och Holmström 1984) som är en sammanställning av kunskapsläge och forskningsbehov framgår att rapporten är orienterad till ren luftkalk med geografisk koncentration till Gotland. Inriktningen återkommer också i andra publikationer (Gotlandskalk 1987; Kjellberg och Lisinski 1998). Under senare delen av 1900-talet och början på 2000-talet kan en förändring av den tidigare inriktningen till ren kalk ses genom undersökningar som beskriver användning av bruk med sub- och svagt hydraulisk kalk i historiska byggnader (Lindqvist 1999; Johansson 2004, 2006; Sandström Malinowski 2016). Av undersökningarna kan förstås att kalk med svagt hydrauliska egenskaper haft stor spridning och användning sedan medeltiden i Sverige.

Avhandlingens mål och frågeställningar

Avhandlingsdelen tar på samma sätt som licentiat uppsatsen utgångspunkt i material och metoder vid framställning av historiska bruk. Även arbetsmetodiskt finns likheter i det att empiriska försök varvas med litteraturstudier som i sin tur väcker ny frågor som därefter ytterligare bearbetats i olika studier. I de båda arbetena har frågorna initialt rests ur empiriska erfarenheter. De empiriska studierna och min bakgrund som murare har därför haft påverkan på hur detta arbete utförts. Dock finns tydliga skillnader i sättet att arbeta i de olika delarna. I denna avslutande del har jag ingått professionsöverskridande samarbeten med flera olika professioner som t.ex. geologer, arkitekter och murare. I dessa samarbeten har vi tillsammans försökt svara på de frågor som är formulerade eller utvärdera egenskaper hos verktyg och bruk vid empiriska försök. Tre sådana professionsöverskridande samarbeten presenteras i kapitel 3.

Att arbeta professionsöverskridande är på många sätt lättare sagt än gjort, det innebär ju att två eller flera personers kompetens och perspektiv på ämnesområdet kalkbruk skall smälta samman för att undersöka frågeställningar men också lyfta nya. Sättet att arbeta innebär att stor respekt behöver visas för andra personers kunskaper och perspektiv samtidigt som vi tillsammans behöver acceptera att det finns saker vi inte riktigt förstår i varandras kunskapsperspektiv. Dessa professionsöverskridande samarbeten hör till de finaste upplevelser som avhandlingsarbetet givit mig och har på många sätt format hur de frågor som formulerats i avhandlingsarbetet undersökts. Som framgår av kapitel 1 ovan har syftet med detta arbete varit att undersöka och synliggöra följande frågeställningar:

- Hur har brukets sammansättning förändrats under de senaste 200 åren?
- Vilken förhållningsätt till lagring av kalk och blandning av bruk beskrivs i litteraturen?



Figur 1. **A:** Observationer i fält pekar på att bindemedelrika bruk kan framställas av nysläckt kalk utan att skador av krympsprickor eller kalkskott uppstår, men att vidare studier behövs. **B:** Litteraturanalysen visar på vad sätt framställning av bindemedel och bruk har förändrats mellan 1800- och 1900-tal. Analysen visar bl.a. att Bindemedelrika bruk på nysläckt kalk har använts under 1800-talet. Förfarandet bidrar till att de hydrauliska egenskaper luftkalk kan ha tas tillvara. Under 1900-talet rekommenderas generellt att våtsläckt kalk skall lagras. Vid lagringen går de hydrauliska egenskaper kalken kan ha förlorade. Inga uppgifter framkommer som kopplar lagring och upparbetning av kalk till krympsprickor. Uppgifter om att upparbetning ökar brukets krympning framkommer. Vidare studier behövs. **C:** Kvalitativa och kvantitativa studier visar att bindemedelrika bruk historiskt har framställts samt att bindemedelrika bruk kan framställas utan att krympsprickor uppstår, en förutsättning är att kalken inte lagras eller upparbetas. Att framställa bruk på nysläckt kalk innebär en risk för att kalkskott kan uppstå. En risk som kan utvärderas i vidare studier genom empiriska försök. **D:** Hantverkliga bedömningar i en putsrestaurering visar att bindemedelrika bruk kan framställas av nysläckt kalk utan att oacceptabla krympsprickor eller kalkskott uppstår. Det empiriska försöken utvecklar också ny frågor.

- Har förändringen av metoder för bindemedel och bruks framställning påverkat brukets egenskap att bilda krympsprickor i bindemedelrika bruk?
- Uppstår krympsprickor och kalkskott vid framställning och används bindemedelrika bruk

Ett viktigt mål i avhandlingen är att belysa och bidra med kunskap om hur framställning av bindemedel och bruk har förändrats och på vad sätt det kan ha betydelse för brukets egenskaper. Som framgår av kapitel 1 ovan har utgångspunkten för arbetet varit att undersöka hur hantverkarens materiella och metodiska val påverkar bruks egenskap att bilda krympsprickor i puts. Frågeställningen rör den praktiska användningen av bindemedelrika bruk där uppkomst av krympsprickor och kalkskott har en central roll. I figur 1 illustreras hur arbetets centrala fråga "Kan lagring och upparbetning av våtsläckt kalk bidra till att krympsprickor uppstår?" först väcktes och formulerades genom erfarenheter i fält (Eriksson 2012, 2015; Persson 2012; Balksten, Persson och Eriksson 2013, kapitel 2). Frågeställningen bearbetades, utvecklades och undersöktes vidare ge-

nom en analys av publicerad litteratur (Eriksson 2015, kapitel 2) och genom kvalitativa och kvantitativa studier (Eriksson *et al.* 2016; Eriksson och Lindqvist 2018, kapitel 3.1 och 3.2). Resultat och erfarenheter testades därefter genom implementering i en putsrestaurering (kap. 3.3) som i sin tur väckte nya frågor.

4.2 Hur har brukets sammansättning förändrats under de senaste 200 åren?

En del av den kunskap som gått förlorad i samband med förändringar av bindemedel och bruks framställning, går att återta genom litterära uppgifter eller genom analyser av bruk. Handböcker och byggnadslitteratur är källor som kan bidra med kunskap om hur bruks sammansättning förändrats och vad som utgör skillnad mellan hur bruk framställts och använts under olika tider. Ett sådant exempel på litteratur är *Puts och putsning ett kritiskt litteraturstudium* av Saretok (1957). I litteraturstudien framkommer att Romarna arbetade med mycket feta bruk i volymförhållande 1 del kalk på 1.8 delar sand samt att i Tyskland användes tidigare volymproportionerna 1 del kalk på 2 delar sand. Ett annat exempel på information baserad på analyser av bruk och uppgifter i handböcker som pekar på skillnader i bruks sammansättning, framställning och användning mellan olika tidsperioder framgår av kapitel 3.1, *Development of mortars in Sweden during the period 1800-1950* (Eriksson, Johansson och Lindqvist 2016).

Övergripande visar resultaten att:

- Mager eller svagt hydraulisk kalk har använts sedan medeltiden. Användningen av våtsläckt svagt hydraulisk kalk upphör i samband med industriellt framställd torrsläckt kalk under mitten av 1900-talet. Av handböcker under 1900-talets mitt framgår att våtsläckt och svagt hydraulisk kalk lagras ett eller några dygn innan det används.
- Under perioden 1800-1950 går bruken från att vara bindemedelrika till bindemedelfattiga. Under 1800-talet är ett typiskt blandningsförhållande i volym för ren kalk 1 del kalk på 2 delar sand, och för sub- eller svagt hydraulisk kalk är volymproportionerna 1 del kalk på 1.5 delar sand. Efter 1945 rekommenderas högre innehåll av sand i bruken från 1 del kalk till 3-4 delar sand (volymandelar).
- Under 1800-talet byggs puts upp i två till tre lager med en total tjocklek av ca 12 mm. Under 1900-talets mitt blir putsen tjockare: puts byggs upp i två till tre lager till en tjocklek av ca 15-20 mm.
- Under perioden 1800-1950 blir sanden i bruken grövre. Till ren kalk rekommenderas under 1800-talet grov sand med en kornstorlek av ca 2 mm, till svagt hydraulisk kalk fin sand med en kornstorlek av ca 1.3 mm. Under 1900-talets mitt är den allmänna rekommendationen oavsett bindemedel att sanden skall ha en maxkornstorlek av 3 mm.

Resultat i kapitel 3.1 (Eriksson, Johansson och Lindqvist 2016) visar att bruk under 1800-talet var bindemedelrika där volymproportionerna 1 kalk på 1.5- 2 sand var vanligt förekommande. I motsats var bruk under 1900-talet ca hälften så bindemedelrika.

Analogt visar bruksundersökningar gjorda av Schottis Lime Center Trust att bruk i äldre tid är bindemedelrika. Undersökningen omfattade 4500 historiska bruk som visar att de historiska brukens blandningsförhållanden övervägande är omkring 1 del kalk på 1,5 delar sand. Av de 4500 bruksproverna var ca 80 procent gjorda i Scotland, 10 procent i England och kvarvarande 10 procent i andra länder (Lynch 2012). Att bruk historisk varit bindemedelrikare än vad de är i dag är en allmänt uttryckt uppfattning och påtalas av flera författare (e.g. Hidemark och Holmström 1984; Konow 1997; Henry och Stewart 2011; Forster 2012). En slutsats av Eriksson *et al.* (2016) är att den historiska användningen av bindemedelrika bruk förändras först under 1800-talet andra hälft och 1900-talets början. I detta sammanhang utvecklar Hidemark och Holmström (1984) en hypotes som bygger på att övergången till magrare och mer vattenrika bruk är en anpassning till att bearbeta bruk med skurbräda, ett verktyg som börjar användas under 1700-talet. Med erfarenhet som murare så menar jag att denna hypotes är riktig, men en ökad användning av tegel under 1700-talet kan också haft betydelse (Eriksson 1932; Paulsson 1936). Reflektionen grundar sig i att bindemedelrika bruk sätter sig fort på sugande underlag som tegel medan magra vattenrika bruk bromsar den initiala sättningen och därigenom ger mer tid att bearbeta bruket. Sambandet skulle inbära att förändringen från bindemedelrika till bindemedelfattiga bruk också kan vara kopplad till en övergång från ej sugande stommaterial som granit till sugande som tegel. Vidare studier kan ge svar på samband mellan brukets bindemedelhalt och arbetsbarhet på olika sugande underlag.

4.3 Vilket förhållningsätt till lagring av kalk och blandning av bruk beskrivs i litteraturen?

Lagring av kalk

Under de senaste 200 åren har framställning av bindemedel och bruk utvecklats från att vara produkter framställda av hantverkare till produkter framställda i fabrik. Kapitel 2.4 visar att denna utveckling bidragit till diametralt olika sätt att framställa bindemedel och bruk på. Under 1900-talet argumenteras starkt för att den våtsläckta kalken skall lagras innan den används för att inte skador av osläckt kalk skall uppstå (e.g. Kreüger 1920; Paulsson 1936; Wästlund *et al.* 1940; Bährner 1966). Av Nycander och Bährner (1950) samt Bährner (1966) framgår att våtsläckt hydrauliska kalk behöver användas direkt eller efter några dygn om de hydrauliska hårdnandet i bruket skall kunna tas tillvara. Men förfaranden rekommenderas inte i stället rekommenderas användning av torrsläckt kalk. Dock framgår av Kreüger (1920), Paulsson (1939) samt Paulsson och Granholm (1953) att mager eller svagt hydraulisk kalk våtsläcks och lagras en tid. Förhållningsättet eller ställningstagandet innebär att verkan av de hydrauliska hårdnandet i bruket bortses ifrån och inte utnyttjas. Att det inte görs kan bero på att det hydrauliska hårdnandet kan kompenseras med tillsats av cement som under 1900-talets mitt allt mer används i bruk.

I byggnadslitteratur under 1800-talet framförs inga rekommendationer för att kalken *skall* lagras. I stället och i direkt motsats reses argument för att använda kalken nysläckt eller med kort lagring (6-48 timmar). De argument som framhålls för denna framställningsmetod är att brukets bindande kraft och smidighet förbättras samt att brukets beständighet blir bättre (Pasch 1824; Stål 1854; Henström 1869, 1896; Rothstein 2003).

Av flera författare framgår att blanda bruk på nysläckt kalk är en traditionell metod som också varit använd i andra länder. Metoden går under benämningen hot-mix eller hot-lime mortar och definieras av att kalken släcks tillsammans med sanden, därefter bearbetas delmaterialen till bruk (Henry och Stewart 2011; Forster 2012). Av Henry och Stewart kan förstås att både fet och mager kalk har använts vid framställning av hot lime mortar under 1800-talet. Enligt Forster är det viktigt att förstå att denna typ av bruk kan framställas på lite olika sätt. Dels kan framställt bruk används direkt efter att kalken är släckt och dels kan framställt bruk lagras en längre tid. Vidare skriver Forster att ett modernt sätt att framställa hot lime mortar är att lagra bruket i ca 24 tim.

Enligt Henry och Stewart har användning av hot lime mortar en stor fördel vid arbete med natursten då bruket snart sätter sig och styvnar till, av författarna förstås att kalken är nysläckt. Emellertid påtalas av Henry och Stewart samt Forster att när bruket är använt kort efter att kalken är släckt finns en risk att skador på murverk och puts kan uppstå om inte kalken är helt släckt. Enligt Forster, och analogt med Henry och Stewart, är bruk av hot lime mortar ofta bindemedelrika och vanligt använda i äldre tid. Forster menar att den information eller kunskap som finns om hot lime mortar är baserad på personlig erfarenhet. I detta sammanhang nämns att i Skottland finns entreprenörer som använder hot-mix för att det ger god arbetbarhet och beständighet till bruket. Erfarenheten att brukets beständighet blir bättre om kalken används kort efter att den är släckt har god överensstämmelse med beskrivningar av Pasch (1824) och Stål (1854) om att beständigheten hos bruk blir bättre när kalk släcks i samband med att bruket blandas.

I ett försök att tydliggöra vad som händer i hot lime mortar vid användning belyser Forster (2012) möjliga fysikaliska och kemiska förlopp i bruket. Forster kommer till slutsatsen att det fortfarande saknas mycket kunskap och efterlyser fler undersökningar i ämnet. Hot-mix eller hot lime mortar skiljer sig ifrån hur bruk på nysläckt kalk är framställt i två av avhandlingens artiklar (Eriksson och Lindqvist 2018) bl.a. på det sätt att kalken inte är släckt tillsammans med sanden (se kapitel 3.2 och 3.3).

Av ovanstående framgår att brukets egenskaper kan påverkas genom att använda kalken snart efter att den är släckt. Emellertid har jag inte kunnat finna någon litteratur som berör frågan om lagring av våtsläckt kalk kan påverka uppkomsten av krympsprickor i bruk. Mot denna bakgrund har undersökningen *Lime render, shrinkage cracks and*

craftsmanship in building restoration bidragit till att minska kunskapsbristen genom att påvisa samband mellan lagring av våtsläckt kalk och krympsprickor i bruk (se Eriksson och Lindqvist 2018, kap. 3.2 samt kap. 4.4 nedan).

Lagringens påverkan på brukets blandningsbarhet

Erfarenheter av att tillverka bindemedel har visat att våtsläckt sub-hydraulisk kalk efter en tids lagring styvnar till och blir svår att hantera när den skall tas ur lagringsfaten (Eriksson 2012). Upp till ett par veckor funkar bra för sub-hydraulisk kalk men därefter blir kalken allt hårdare och mer svår att blanda med sanden. I de projekt där kalken upparbetats och lagrats har det i samtliga fall varit nödvändigt att tillsätta vatten vid brukets blandning.

Erfarenheter och resultat av att använda nysläckt sub-hydraulisk kalk visar att bindemedelrika bruk får en lös konsistens, som i vissa fall är så lös att det påverkar arbetsutförandet vid t.ex. applicering av puts i tjocklekar av ca tio mm, att tillsätta vatten skulle göra bruket obrukbart. Den lösa konsistensen uppkommer av att bindemedelpastan blir tjockflytande när kalken bearbetas (Eriksson 2012, 2015; Eriksson och Lindqvist 2018). Beroende på mängden sand som tillsätts kalken vid brukets blandning reglerar sanden brukets konsistens från lös till styvare konsistens. I ett historiskt perspektiv där blandning av bruk gjordes för hand bör brukets egenskap att bli lös vid bearbetning varit en mycket viktig egenskap för hur mycket tid och tungt arbete som behövdes för att kalk och sand av en viss volym skulle bli väl blandad. Införandet av maskiner under 1900-talet kan därför antas ha bidragit till att blandning av bruk på nysläckt kalk inte har samma betydelse i meningen att underlätta tungt och tidskrävande arbete.

Av Henry och Stewart (2011) framgår att torrsläcka kalk i sand är ett sätt att snabbt framställa stora mängder bruk och minska det arbetsamma momentet att blanda sand och kalkpasta med varandra. Vidare beskriver Henry och Stewart (2011) att vid framställning av hot lime mortars släcks kalken tillsammans med sanden så att den bildar ett färdigt bruk att använda med en gång dvs. våtsläckning. Det är rimligt att även denna metod underlättar blandning av bruk på samma sätt som vid torrsläckning men det argumentet utvecklas inte. Dock påtalas att detta sätt att framställa bruk medför en risk att putsarbeten kan blir förstörda om kalken inte är helt släckt.

Erfarenheter av att framställa bruk i olika projekt och resultat i undersökningar "*Lime render, shrinkage cracks and craftsmanship in building restoration*" visar att blandning av bruk underlättas om kalken våtsläcks strax innan bruket blandas (se Eriksson och Lindqvist 2018, kap. 3.2 samt kap. 4.4 nedan). Resultatet är analogt med Henry och Stewarts uppgifter i den meningen att blandning av bruk underlättas vid användning av nysläckt kalk. Dock med den skillnaden att undersökningens resultat är baserat på våtsläckt kalk samt att kalken inte är släckt tillsammans med sanden. I relation till skador av osläckt kalk har undersökningen *Putsrestaurering av en medeltida kyrka* visat att våtsläckt kalk

kan släckas som ett föregående moment till brukets blandning och användas till putsbruk bruk utan att skador uppstår (se kapitel 3.3 samt kap. 4.5 nedan).

Blandning av bruk

Av kapitel 2.4 framgår att i byggnadslitteratur under 1800-talet framförs argument för att inget vatten skall tillsättas bruket utöver vad som åtgår för att släcka kalken (Pasch 1824; Stål 1854; Henström 1869, 1896). Det innebär att det vatten som används vid kalkens släckning behöver vara avstämt i relation till brukets arbetbara egenskaper. Henström (1869) är den författare som argumenterar starkast för att inget vatten skall tillsättas vid blandningen av bruk medan Pasch och Stål menar att avstämningen kan vara svår att göra, varför en mindre mängd vatten kan behöva tillsättas. Henström (1896) framför inga argument. Pasch, Stål och Henström framför olika skäl till varför vatten inte skall tillsättas. De skäl författarna nämner är att krympsprickor uppstår (Henström), samt att bruket torkar långsamt och blir ömtåligt för frost (Pasch och Stål). Av författarnas samlade uppgifter kan förstås att flera egenskaper hos bruket kan påverkas genom att inte lagra den släckta kalken samt knyta släckning och blandningsprocesserna till varandra. De samlade egenskaperna författarna berör är bruks: hårdnande, krympning, beständighet, arbetbarhet och torkegenskaper.

Enligt Nycander och Bährner (1950) analogt med Bährner (1966) behövs mer vatten tillsättas bruket när det blandas maskinellt än när det blandas för hand. Av Nycander och Bährner framgår att ihållande bearbetning med snabbgående blandare bidrar till ökad frekvens krympsprickor i bruket. En förklaring till den ökade frekvensen krympsprickor framgår av Dührkop *et al.* (1966) som skriver att intensiv blandning av bruket bidrar till att bruket får ett högre vattenbindemedelstal i förhållande till långsamt blandat bruk. Av Bährner kan förstås att detta beror på att bindemedelkornen eller flockarna bättre sönderdelas i de snabbgående blandarna. Sönderdelningen bidrar till att bruket styvnar och mer vatten behöver tillsättas för att få den tänkta arbetbara konsistensen. Av författarna under 1900-talet kan förstås att det finns ett samband mellan mekanisering av brukets blandning och en ökning av brukets vattenhalt och krympning. En slutsats mot denna bakgrund är att mekaniseringen bidrog till en ökad risk för krympsprickor i bruk. Ett sätt att kompensera för den ökade risken var att blanda magrare bruk vilket också rekommenderas under 1900-talets mitt. Kapitel 2.4 visar att under 1800-talet finns en metodisk koppling mellan kalkens släckning och brukets blandning. Kopplingen framgår av förhållningsättet att mängden släckningsvatten skall stämmas av mot det färdiga brukets konsistens. Motsvarande förhållningsätt eller metodiska koppling återges inte i handböcker eller byggnadslitteratur under 1900-talet.

Upparbetning av tidigare blandat bruk och mekanisk omrörning av kalken vid släckning

Av källuppgifter i kapitel 2.4 framgår att under 1900-talet används maskiner för att röra om kalken vid våtsläckning samt för att upparbeta redan blandat bruk i fabrik och på arbetsplatsen. Upparbetning av redan blandat bruk sker med för ändamålet konstruerade maskiner, där syftet är att bibehålla eller återställa brukets arbetbarhet (Nycander och Bährner 1950; Paulsson och Granholm 1953; Bährner 1966). Enligt Paulsson och Granholm är kalkbruk uppskattat av entreprenörerna då färdigblandat bruk kan lagras under flera dagar och upparbetas med eller utan vatten allt efter behov. Av Paulson och Granholm kan slutsatsen dras att det är logistiska skäl som ligger bakom att färdigblandat bruk lagras. Av Nycander och Bährner (1950) samt Paulsson och Granholm (1953) framgår att upparbetning av blandat kalkbruk görs med och utan vattentillsats samt att upparbetat bruk blir av lägre eller avsevärt lägre kvalitet men att det systematiskt ändå görs. Av Bährner (1966) framgår att upparbetning görs med vetskapen att förfarandet bidrar till att bruket krymper mer än ej upparbetat bruk.

I byggnadslitteratur under 1800-talet framkommer direkt motsatt förhållningsätt till upparbetning av redan blandat bruk. Det förstås av att flera författare framför argument för att sedan bruket är blandat bör det genast användas, förhållningssättet är generellt gällande för all sorts bruk och avser att säkerställa brukets kvalitet (e.g Pasch 1824; Stål 1854; Henström 1869, 1896; Rothstein 2003). Förhållningssättet att inte lagra färdigt bruk har som mål att undvika upparbetning där användning av vatten helt skall undvikas. Enligt Pasch, Stål, Henström (1896) och Rothstein får bruk endast bearbetas utan vatten för att göra det mjukare. Går inte det skriver Rothstein analogt med Henström (1896) och Stål att det skall kastas bort. Enligt Rothstein har upparbetat bruk mindre bindningskraft. Enligt Pasch torkar det långsamt och blir känsligt för frost. För att undvika behovet av att upparbeta bruket uttrycker Rothstein analogt med Henström (1896) att inte större mängd bruk skall framställas än att det kan förbrukas innan det torkar.

Upparbetning av kalk och bruk görs fortfarande. Enligt Daniel Nymberg (2018) ägare till Målar kalk AB bearbetas våtsläckt kalk maskinellt vid förpackning av kalk på hink. Av Henry och Stewart (2011) framgår att färdigblandat bruk på våtsläckt kalk tillhandahålls av fler leverantörer i England samt att bruket vid användning behöver upparbetas. Vidare framgår att vid upparbetning av bruket bör man vara restriktiv med att tillsätta vatten så att bruket inte blir så blött att vissa arbetsuppgifter inte går att utföra. Dock framgår att till puts kan det vara nödvändigt att upparbeta bruket med vatten. Att den mekaniska bearbetningen i sig skulle ge upphov till oönskade egenskaper berörs inte.

Källorna i detta kapitel som berör bearbetning av bruk samt uppgifter i kapitel 2.4 pekar på att upparbetning av bruk kan påverka bruket negativt på flera olika sätt. Upparbetning av bruk är metodisk nära besläktad med upparbetning av kalk och syftet är

också det samma att göra tillstyvnat bruk eller kalk mer lös i sin konsistens. Av Bährner (1966) framgår att upparbetat bruk krymper mer. Enligt Nycander och Bährner (1950) finns ett samband mellan intensiv bearbetning av bruk och uppkomst krympsprickor. Några uppgifter som pekar på att upparbetning av kalk eller att intensiv bearbetning av kalk skulle bidra till att krympsprickor uppstår har jag inte kunnat finna. I detta sammanhang har resultat i undersökningen ”*Lime render, shrinkage cracks and craftsmanship in building restoration*” bidragit med ny kunskap genom att påvisa samband mellan och upparbetning av våtsläckt kalk och krympsprickor i bruk (se Eriksson och Lindqvist 2018, kap. 3.2 samt kap.4.4 nedan)

4.4 Har förändringen av metoder för bindemedel och bruks framställning påverkat brukets egenskap att bilda krympsprickor i bindemedelrika bruk?

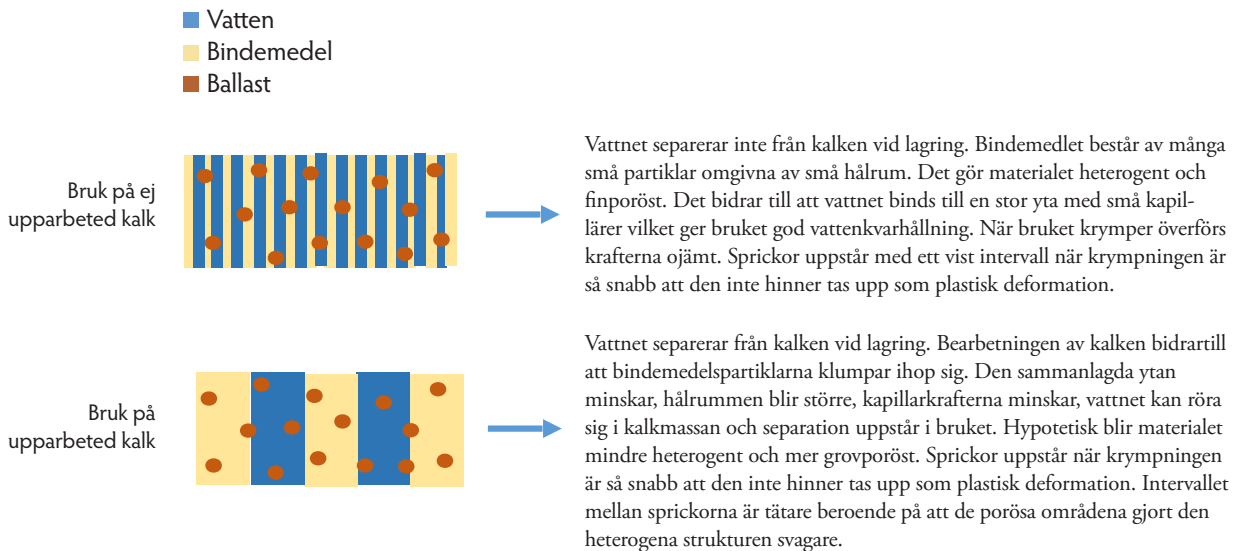
Sammanställd känd kunskap i kapitel 2 ovan visar att under 1800, 1900- och 2000-talet bedöms krympsprickor i bruk som en felaktighet. För att undvika krympsprickor rekommenderas och används under 1900-talet magra bruk. I motsats rekommenderas och används under 1800-talet bindemedelrika bruk. De motsatta rekommendationerna ger intryck av att krympsprickor i bruk med hög bindemedelhalt inte är ett problem under 1800-talet men att det är det under 1900-talet.

Som framgår av kapitel 2.4 litteraturanlys sker tydliga förändringar av hur bindemedel och bruk framställs från 1800- talets början och fram till 1900-talet mitt. Till den mest påtagliga förändringen hör att framställningen av bindemedel och bruk mekaniserats. Maskiner används vid släckning av kalk, blandning av bruk, upparbetning av färdigt bruk på arbetsplats och i fabrik. Av analysen i kapitel 2.4 framgår också att förhållningssättet till hur länge våtsläckt kalk skall lagras förändras. Det förändrade förhållningssättet gör sig tydlig i att under 1900-talet påtalas i byggnadslitteratur behovet av att våtsläckt kalk skall lagras en tid innan användning för att undvika skador av osläckt kalk. Någon generell rekommendation att våtsläckt kalk bör lagras innan den används ges inte i byggnadslitteratur under 1800-talet, det framgår bl.a. av rekommendationen att blanda bruk på nysläckt kalk. Resultat av litteratur analys kapitel 2.4 samt erfarenheter i fält kapitel 2.2 utgör underlag för nedanstående undersökning.

I artikeln ”*Lime render, shrinkage cracks and craftsmanship in building restoration*” undersöks kvalitativt och kvantitativt hur framställning och användning av bruk påverkas av att våtsläckt kalk upparbetas och lagras, med särskilt focus på bildandet av krympsprickor i puts (se Eriksson och Lindqvist 2018, kapitel 3.2).

Resultaten som redovisas i artikeln visar att:

- Lagring och upparbetning av våtsläckt sub-hydraulisk kalk ökar frekvensen av krympsprickor i puts.
- Upparbetning av kalk bidrar till att bibehålla bruket blandningsbarhet och arbetbarhet men på bekostnad av en ökad frekvens krympsprickor.



Figur 2. Figurer och text avser att ge en möjlig förklaring till skillnaden i sprickfrekvens mellan bruk baserad på upparbetad och ej upparbetad kalk.

De kvantitativa resultatet är analogt med det kvalitativa och visar att upparbetning och lagring av sub-hydraulisk kalk påverkar arbetsbarhet, blandningsbarhet och öppentid på det färska bruket. Våtsläckt sub-hydraulisk kalk blir svårare att blanda med sand ju längre kalken lagras samt att blandningsbarheten och arbetbarhet fortare försämras vid användning av kalk som inte upparbetats än vid användning av kalk som upparbetats.

Undersökningen visar att frekvensen krympsprickor ökar med lagringstiden både i bruk med upparbetad och ej upparbetad kalk. Den ökade sprickfrekvensen kan förklaras av att vatten behöver tillsättas båda bruken efter en tid när de inte längre är arbetbara. Av Dührkop *et al.* (1966) och Henry och Stewart (2011) framgår att brukets krympning ökar när mer vatten behöver tillsättas bruket. Att tillsätta för mycket vatten till bruket ökar risken för krympsprickor i bruket enligt Ingham (2012).

I serie Day 1 uppnåddes arbetbar konsistens i båda bruksorterna genom att enbart blanda kalk och sand utan att vatten tillsattes. Vattenmängden kan därför inte vara en förklaring till varför frekvensen krympsprickor är högre i bruk med upparbetad kalk än i bruk med ej upparbetad kalk (se kapitel 3.2, tabell 2, serie Day 1). Att sprickfrekvensen är högre i bruk med upparbetad kalk antas bero på att det uppstår mer porösa och svaga områden i brukets inre struktur än i den struktur som uppstår när bruket blandas på ej upparbetad kalk. I figur 2 ges en möjlig förklaring till den observerade skillnaden i sprickfrekvens mellan bruk baserad på upparbetad och ej upparbetad kalk. Bild och bildtext är gjord efter samtal (2018-10-15) med Jan Erik Lindqvist (Geolog vid RISE AB) och Zareen Abbas (O-organisk kemist vid Chalmers).

En annan påtaglig skillnad mellan de olika kalksorterna är att ej upparbetad kalk snabbare blir hård och svår att blanda med sanden (se kap 3.2 tabell 2). Det bidrar till att vatten

tidigare behöver tillsättas vid blandning av bruket än vad som är fallet när bruk blandas på upparbetad kalk. Behovet att tillsätta vatten tidigare kan vara en förklaring till den utjämning i sprickfrekvens som sker mellan bruken efter en tids lagring. Vilka fysikaliska förändringar eller kemiska reaktioner som bidrar till skillnaden i hur fort de olika kalksorterna styvnar till eller hårdnar behöver vidare undersökas.

4.5 Uppstår krympsprickor och kalkskott vid framställning och användning av bindemedelrika bruk i en putsrestaurering av en medeltida kyrka?

Vilka observationer och reflektioner genererar framställning och användning av bindemedelrika bruk?

I kapitel 2.4 *Material metoder och förhållningsätt vid framställning av bindemedel och bruk under 1800- och 1900-talet* framgår att olika metoder och förhållningsätt påverkar egenskaper hos bindemedel och bruk. Att återta kunskap om bedömningar så att de kan artikuleras som förhållningsätt kan vara mycket svårt eller inte ens möjligt. Kunskapen har stor påverkan då den ligger till grund för en viss metods utformning t.ex. hur mycket vatten som skall användas vid släckning av kalk eller hur länge kalken behöver lagras för att släckas helt, dvs. erfarenheten speglar hantverkarens metodiska kompetens. Svårigheten med att återta kunskapen beror på att vi har mycket liten erfarenhet av de bruk och metoder som i äldre tid användes för olika användningsområden. I byggnadslitteratur under 1800-talet framgår att det förs en dialog mellan författaren och läsaren. Dialogen är möjlig tack vare att båda parter har förståelse för att det finns variationer i kalks egenskaper och att metoder behöver anpassas till dess egenskaper (e.g Stål 1854; Henström 1869; Rothstein 2003).

I detta sammanhang är det högst troligt att den metodiska kompetensen och erfarenheten av de lokala materialen haft stor betydelse för att kunna ta till sig informationen i byggnadslitteraturen. En möjlig väg att överbygga en del av kunskapsbristen är att rekonstruera de processer som ingår i framställning och användning av bruk. Utöver att svara på formulerade frågor kan rekonstruktioner utveckla forskningsfrågor som på annat sätt inte kan formuleras. Genom hantverkarens metodiska erfarenhet kan hen göra bedömningar och uttrycka hur t.ex. ett bruk framställt med en viss metod vidhäftar ett visst underlag, vilket verktyg som är mest lämpligt att använda till olika bruk, hur fort ett bruk torkar och hårdnar på ett visst underlag eller om krympsprickor uppstår i ett visst blandningsförhållande och utförande situation. De nämnda situationerna och egenskaperna påverkar arbetets planering, brukets arbetbarhet och beständighet men också estetisk uttryck som t.ex. en putsytas textur. Det som hantverkaren uttrycker speglar den sammanhangsbundenhet som präglar många hantverk när material och metoder samverkar under de förutsättningar som råder i situationen, inte sällan inom mycket korta tidsintervall t.ex. vid applicering av bruk.



Figur 3. Svenneby Bohuslän, strax söder om kyrkan på ett fält byggdes ugn C. Under eldningen uppträder rörelsesprickor på ugnens ytterväggar. Att sprickor kan uppstå hänger samman med den längdförändring som uppstår i byggnadsmaterialen när temperaturen förändras. Problemet förutsågs och diskuterades där en tanke var att förse ugnen med stålband för att hålla ihop den. Men vi provade utan för att se hur temperaturrörelserna påverkar konstruktionen. Temperaturrörelserna gav sprickbildning i konstruktionen och dessa tätades under hand. För att inte större problem skulle kunna uppstå stabiliserades ugnens sidor med plank vilket fungerade väl. I ett fortsatt utvecklingsarbete av ugnen är erfarenheten av betydelse för hur nästa ugn bör konstrueras. I bild Martin Fernström.

Mot denna bakgrund implementeras och utvärderas i studien *Putsrestaurering av en medeltida kyrka*, (kap. 3.3) empiriska erfarenheter, källuppgifter och resultat presenterade dels i Eriksson (2012, 2015), Persson (2012), Balksten *et al* (2013) dels i kapitel 2.4 *Material metoder och förhållningsätt vid framställning av bindemedel och bruk under 1800- och 1900-talet*, dels i kapitel 3.1 *Development of mortars in Sweden during the period 1800-1950* (Eriksson *et al.* 2016), och dels i kapitel 3.2 *Lime render, shrinkage cracks and craftsmanship in building restoration* (Eriksson och Lindqvist 2018). Studien är genomförd vid putsrestaureringen av Svenneby gamla kyrka. En central fråga i studien är: Uppstår krympsprickor och kalkskott vid framställning och användning av bindemedelrika bruk i en putsrestaurering? Frågeställningen är sammanhangsbunden och berör flera processer vid framställning och användning av bruk. Studiens syfte är att utvärdera och svara på frågeställningar som berör bränningstemperaturen i den kalkugn (fig. 3) som kalken till projektet är bränd i; om kalkskott uppstår i bruk med nysläckt kalk; om krympsprickor uppstår i de framställda bindemedelrika bruken. I syftet ingår även att utvärdera användningen av borste som verktyg vid putsutförande.

Resultat av studien *Putsrestaurering av en medeltida kyrka* visar att:

- Inga skador på grund av osläckt kalk har observerats i de tre bruk som är framställda i putsprojektet. Det pekar på att temperaturen i ugnen inte gett upphov till svårsläckt kalk samt att kalken släcker sig helt med den variant av Erikssonmetoden som är använd (se nedan)
- I grundningsbruk och kantningsbruk har det varit möjligt att reglera brukets arbetbara konsistens genom att reglera mängden vatten vid släckningen. Vid användning av inborstningsbruket uppstod återkommande behov av att justera arbetbar konsistens efter att bruket var blandat.

Figur 4. Svenneby gamla kyrka, södra långhusväggen. Figuren visar en närbild av grundningsskiktet (se också fig. 11a). Vid de vita pilarna framträder mycket fina korta krympsprickor. Grundningsskiktet har borstats in i underlaget och över sten och fog. Bruket är mycket bindemedelrikt (1 viktandel kalk på 1 viktandel sand).



- Bindemedelmängden i de tre framställda bruken har god överensstämmelse med uppgifter i handböcker och byggnadslitteratur om bruks bindemedelmängd i äldre tid.
- Grundning, kantning och inborstningsbruket är möjligt att använda i en verklig situation utan att oacceptabel frekvens krympsprickor uppstår. Enstaka krympsprickor har uppstått där grundningsbruket ansamlats i tjockare skikt (fig. 4). I kantning och inborstningsbruket har inga krympsprickor uppstått.
- Borsten är bäst lämpad som verktyg vid tunna appliceringar av bruk. Detta beror i huvudsak på att bruket är mycket klistrigt och häftar vid slevan på ett sätt som gör bruket svårarbetat. Slevan är däremot mer lämplig vid applicering av tjockare lager bruk.

Kalken som användes i undersökningen släcktes med en variant av Erikssonmetoden (se Eriksson 2015). Varianten innebar att kalken släcktes som ett föregående moment strax innan bruket blandades och användes. Varianten innehåller därför inte de i Eriksson (2015) beskrivna momenten upparbetning och lagring av den släckta kalken. Vid släckning med varianten av Erikssonmetoden är mängden vatten avstämd till brukets arbetbara konsistens. Den mängd vatten som är använd till de framställda bruken i putsrestaureringen varierar mellan 22-27 kg. Som framgår av Eriksson kap. 5 (se fig. 68, 70, 71), så kan övre delar av kalken i släckningskärlet blir torrsläckt vid en vattenmängd av 22-24 liter. Enligt Hagerman (1946) kan vattenbrist vid torrsläckning av kalk resultera i att kalken innehåller osläckt kalk. För att vattenbrist inte skall uppstå släcktes kalken så att ett övertryck av ånga ansamlas i kärlets övre del. Åtgärden är analog med Hagerman (1946) som beskriver släckning med ånga som ett sätt att motverka vattenbrist. Problemet med torrsläckta delar var mer utbrett när två släckningar utfördes i samma kärle. För att motverka att torrsläckta delar uppstår vid framställning av bruk

till putsrestaureringen av kyrkan har endast en (1) släckning gjorts i släckningskärlet i stället för som vid tidigare studier två (2) släckningar (se Eriksson 2012, 2015).

Bränningstemperatur

I byggnadslitteraturen beskrivs ofta att en orsak till skador och svårsläckt kalk är kalkens bränningstemperatur (e.g Paulsson 1936; Hökerberg 1947; Bährner 1966). Att som i fallet med Svenneby gamla kyrka (Kap. 3.3) använda bruk på nysläckt kalk står helt i strid med rekommendationer under 1900-talet som hävdar att kalk till puts behöver eller skall lagras minst en vecka för att undvika skador av osläckt kalk (se kap. 2.4, tabell 1, e.g Paulsson 1939; Nycander och Bährner 1950; Bährner 1966). En förklaring till att skador inte uppstått är att bränningstemperaturen hållits så låg som tidigare erfarenhet visat vara praktiskt möjligt. Studier har visat att temperaturintervallet 850-1000°C ger väl genombränd kalk utan att kalken blir överbränd eller dödbränd samt att eldningstiden kan hållas till mellan 3-4 dygn (Eriksson 2012, 2015). Byggnadslitteratur som beskriver temperaturen i Svenska ugnar för kalkbränning under 1900-talet anger dock temperaturintervall som är betydligt högre än 850-1000°C. Hagerman (1946) beskriver temperaturområdet i olika kalkugnar använda i Sverige. Enligt Hagerman uppgår temperaturen i ringugnen till 1100-1200°C, för roterugnen anges 1250-1300 °C och för schaktugnen anges att temperaturen är något högre än i ringugnen. Av Hagerman kan förstås att temperaturerna som används i svenska ugnarna kan variera och vara svåra att bestämma samt att temperaturerna är så höga och att de kan orsaka svårsläckt eller dödbränd kalk. Analog framgår av Paulsson (1939) att kalk bränns vid 1200-1300°C, av Hökerberg (1947) att temperaturer upp till 1400 °C används. Temperaturerna som beskrivs av författarna ger en dimension och förståelse för det ofta påtalade behovet eller kravet att våtsläckt kalk skall lagras en tid.

Syftet med det valda temperaturintervallet (850-1000°C) vid bränning av kalk till putsrestaureringen är att skapa en lucker vattensugande struktur med stor reaktionsyta mellan kalciumoxid och vatten, detta för att kalken väl och snabbt skall släcka sig (Eriksson 2015). I relation till källuppgifter framgår av Hagerman (1946) med stöd av Azbe (1939) samt undersökningar av Hedin (1956, 1962) att kalkens inre struktur förändras med ökad bränningstemperatur, en förändring som påverkar kalkens släckning. Enligt Hedin (1956) får kalk som bränns vid en låg temperatur 910°C en öppen struktur som vatten kan tränga in i (lösbränd kalk). En sådan struktur är lucker och ger enligt Hedin en stor reaktionsyta mellan vatten och kalciumoxid vilket bidrar till en snabb släckning av kalken. Vid 1020°C har denna struktur börjat förändra sig, vid 1120 °C har den luckra öppna strukturen blivit mer kompakt och tät. Förändringen minskar enligt Hedin reaktionsytan mellan vatten och kalciumoxid vilket ger mindre reaktiv och långsamsläckande kalk.

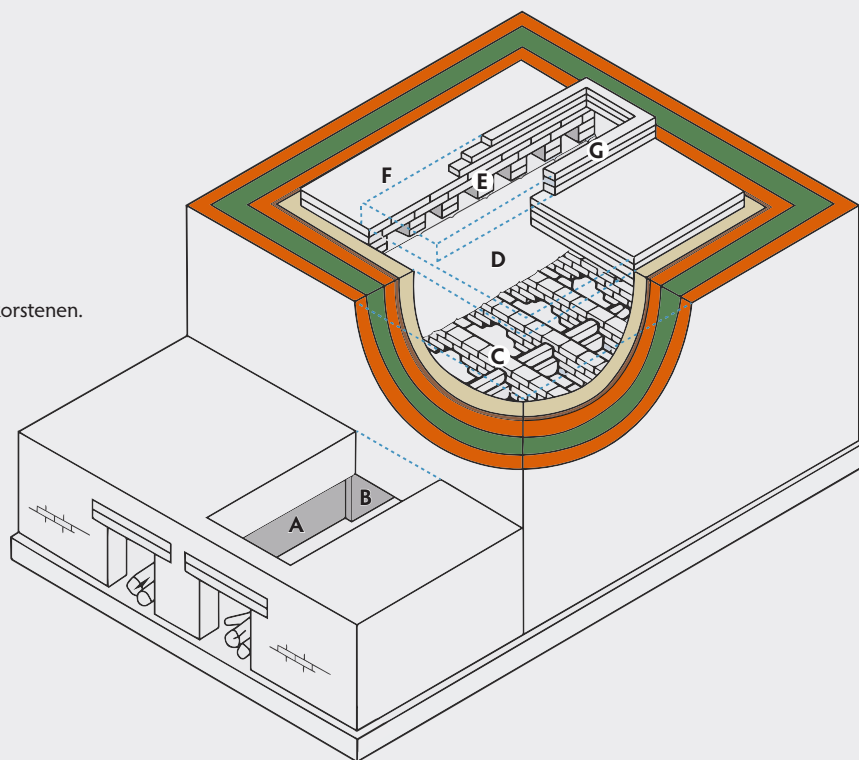
Historisk bedömning av bränningstemperatur

I relation till bränningstemperaturen så formulerar det frågor, dels om de historiska ugnarnas konstruktion men också hur temperaturen historisk har bedömts. Av Rothstein (2003) framgår förhållningsätt och bedömningar baserad på perception. Av Rothstein analogt med Stål (1854) och Henström (1869) framgår att förhållningsätt och bedömningar kan kopplas till vilken kalk som bränns, Rothstein skriver: *”Under eldningen måste en mycket större uppmärksamhet användas vid bränningen av oren än av ren kalksten, emedan den förra lättare dödbrennes, varför dess bränning bör ske genom en sakt eld, varemot till den senare, som ej smälter i ugnshetta, en starkare och häftigare eld kan användas vid slutet av bränningen. De naturligt hydrauliska kalkarterna måste brännas mycket försiktigt. Vid de flesta får rödglödning icke överskridas...”* (Rothstein 2003, s. 188).

För att Rothstein uppgifter skall vara användbara behövs erfarenheter av att vara ”uppmärksam” i den meningen att det som skall uppmärksammas är kopplat till en vis ugnskonstruktion dvs. erfarenhet av ugnars funktion så att bränningens resultat kan förutbestämmas. Att bränna kalk kan tyckas vara en enkel process, det uttrycks av Hedin (1962). Han skriver, att bränna kalk i en industriell skala av god och jämn kvalitet är än i dag ett obemästrat problem. I *Teknisk tidskrift* 1956 sätter samme Hedin (1956) fingret på det som är svårigheten med att bränna kalk i produktion. Han skriver *”Undersöker man närmare hur bränningsprocessen påverkar den brända kalkens egenskaper, finner man att en stor mängd kända och okända faktorer är av betydelse.”* (s. 851). I detta sammanhang nämner han kalkens innehåll av föroreningar, dess kornstorlek och struktur samt bränslets art och renhet. Han beskriver också ett flertalet metodiska faktorer som tyder på att han tar utgångspunkt i ugnar med kontinuerlig bränning, däribland materialtransporten genom ugnens förvärmningszon, brännzon och kylzon. Men han understryker att det viktigaste är ugnens skötsel eller handhavande, här nämner han analogt med Rothstein (2003) temperaturens stegring i relation till tiden under bränningen. Men för att kunna sköta ugnen och styra temperaturen så att kalken blir jämnt bränd utan att bli underbränd eller överbränd så behöver ugnens konstruktion vara på ett sådant sätt att temperaturen blir jämnt fördelad i ugnen. Genom att bygga och konstruera olika ugnar, elda desamma och mäta temperaturer i ugnen har jag empiriskt utvecklat konstruktionsprinciper till hur en periodisk ugn kan vara konstruerade för att utveckla temperaturer mellan 850 -1000°C (Eriksson 2012, 2015 samt kap. 3.3). Nedan beskrivs utvecklingen av dessa principer i relation till ugn A och B som är två tidigare byggda ugnar i avhandlingen, beskrivna i kapitel 5, Eriksson (2015). Principerna berör följande delar av ugnens konstruktion: förugn, förträngning, ugnens dimensioner samt övertäckning av ugnens topp.

- A. Förugn
- B. Kanal som förbinder förugn och utrymmet under rostret som kalken vilar på.
- C. Roster av eldfast sten
- D. Kalksten som vilar på rostret
- E. Kanaler som bär upp övertäckningen av tegel och leder de heta gaserna från ugnen fram till skorstenen.
- F. Övertäckning av tegel
- G. Skorsten

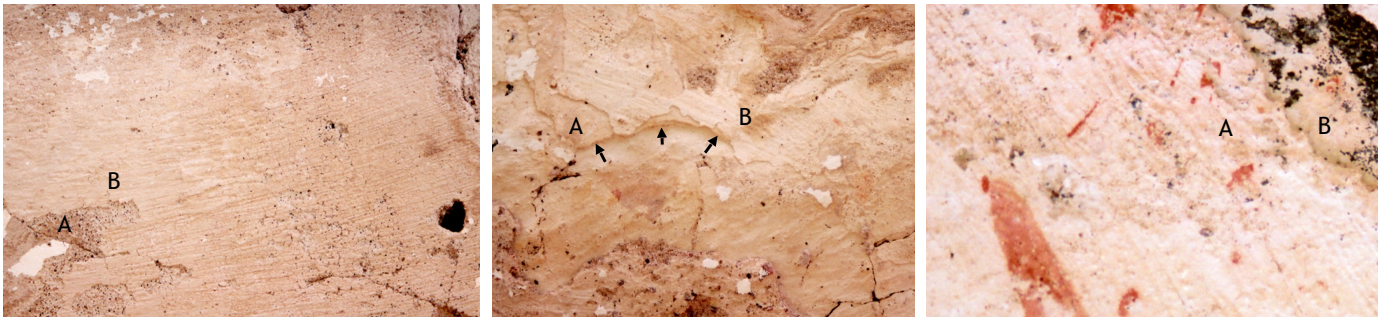
- Tegel
- Vermikulit (isolering)
- Lerputs (förhindra kovektion)
- Eldfast tegel



Figur 5. Ugn Cs konstruktion. Sprängskiss: Jonathan Westin, med element från illustration av Christoffer Gabrielsson.

Konstruktion av ugnar för bränning i temperaturintervallet 850-1000 °C

Den ugn som byggdes i projektet benämns ugn C (fig. 5). En tidigare ugn B utgör förlaga för ugn C konstruktion. Ugn C eldas med ved som förbränns i en förugn. Mellan förugn och utrymmet under kalkstenen finns en kanal eller förträngning, dess funktion är att motverka kallras i ugnen samt motverka att förbränningen av veden påverkas av koldioxidavgången vid kalkens kalcinering. Vid förbränningen bildas stycken av glödande kol, denna kol skjuts in i kanalen i samband med att ny ved tillförs. I kanalen är hastigheten på luft och förbränningsgaser snabbare än i förugnen vilket påskyndar förbränningen av det kol som har bildats. De heta gaser som bildas vid förbränningen av veden fördelas över lika stor bottenyta som kalken upptar i ugnen. Utrymmet som kalken är staplad i, är i ugn C bredare än vad det är högt. I ugn A var förhållandena de omvända (se utveckling av ugn B i Eriksson 2015). Vid eldning i ugn A observerades stora skillnader mellan topp- och botten temperatur. Denna observation ledde till att utrymmet i ugn B gjordes bredare än vad det är högt. Förändringen bedöms ha bidragit till den jämnare temperaturfördelning som är uppmätt mellan topp- och botten temperatur i ugn B. Analogt uppnås en jämn temperaturfördelning i ugn C. I ugn B observerades att den kalk som var i toppen av ugnutrymmet var svår att bränna



igenom. Orsaken bedömdes vara att det uppstod stora värmeförluster i toppen av ugnen. Som åtgärd placerades en övertäckning i form av isolering, övertäckningen bärs upp av utlagda tegelstenar så att ett fritt utrymme i form av kanaler bildas mellan kalkstenen i ugnens topp och isoleringens underkant. I ugn C är denna konstruktion ersatt med en övertäckning av tegel.

Putsutförande

Det putsutförande som är använt i undersökningen *Putsrestaurering av en medeltida kyrka* (kap. 3.3) är en tolkning av äldre befintliga putslager på Svenneby gamla, Gillstad och Väla kyrka (fig. 6a till 6c). De spår av tidig puts som finns på Svenneby gamla kyrkas norra kor- och långhusvägg pekar på att kyrkan tidigare har haft en mycket tunn puts samt att en borste varit använd vid bearbetning och applicering, (se kap.3.3 och fig. 6a och 6b). Putsutförandet präglas av att fogens utfyllnad samverkar med ett mycket tunt skikt bruk (2-3 mm) på murverkets yttre stenytter. Utförandet bidrar till att murverkets stenar och fogar framträder i putsskiktet. Att applicera och bearbeta bruk med borste har gjorts och görs fortfarande. Beroende på typ av borste och hur momenten utförs benämns det kvastad eller slammad puts (Nycander och Bährner 1955; Dührkop *et al.* 1966). Bearbetningsspåren på Gillstad, Väla och Svenneby gamla kyrka pekar på att applicera och bearbeta bruk med borste är en mycket gammal metod som än i dag används.

Det beskrivna utförandet skiljer sig estetiskt från putsarbeten där ett tjockare skikt puts är appliceras över sten och fog och på så sätt döljer murverkets konturer. Under 1900-talet och även nuförtiden är det vanligt att puts har en tjocklek av 15-18 mm. Vid en skiktjocklek på 2-3 mm utanpå murverket används betydligt mindre bruk. Skillnaden i materialanvändning och estetiskt uttryck kan ses i relation till underhåll och dess kostnader. Svenneby gamla kyrkas norra långhusvägg är mycket omsorgs-

Figur 6a, 6b och 6c. De tre figurerna visar äldre putsskikt från Gillstad kyrkas södra långhusfasad. Putsskiktet återfanns i samband med renoveringen av Gillstad kyrka år 2008. I figur 6a, syns en bindemedelrik puts uppbyggd i två skikt. Det undre lagret som är ca 15 mm innehåller grov sand (A), det yttre lagret som är tunt (1-2mm) innehåller i huvudsak bindemedel med inslag av fin sand (B). På ytan av det yttre lagret framträder tydliga ränder efter bearbetning med borste. Putslagret är samtida med bredning av kyrkans kor år 1680 (Eriksson 2012, 2015). Under detta lager återfanns flera tunna bindemedelrika lager puts som bar spår efter bearbetning med borste. I figur 6b syns vid pilarna en tidigare skada i putsen (A). Putsen är reparerad genom att borsta ut en tunn bindemedelrik puts (B) över skadan. Det visar att tunna skikt bruk som borstas ut tidigare är använt vid underhåll av kyrkan. Figur 6c visar en tunn bindemedelrik puts (A) med tydliga verktygsspår av borste. Putslagret är applicerat på murverkets stomme ovanpå ett tunt lager bruk eller färg (B). Åldern på putslagren i fig. 6a och 6b är okänt men de är applicerade vid olika tidpunkter före 1680. De röda stänken i bild 6c härstammar troligen från när det tidigare spåntaket på kyrkan rö-tjärats.



Figur 7. Murverket och rester av en tunn puts på Svenneby gamla kyrkas långhus. Fogen runt de större stenarna i murverket är omsorgsfullt skolad eller pinnad med mindre sten. Med orange punkt är några exempel på skolsten markerad i bilden. Skolstenen är intryckt i fogen något innanför stenens yttre kant. Sättet att skola minskar fogbredden, låser stenen i sitt läge och minskar bruksåtgången.

fullt skolad förfarandet har bidragit till att minska åtgången av bindemedel och sand (fig. 7). Med mindre utfyllnad av bruk i fogen mellan skolstenen och tunna skikt som borstas ut på murverkets yta blir underhållet lättare och mindre kostsamt. Det skador som uppkommer i ett tunt skikt framträder inte heller lika tydligt som en skada i ett putsskikt på 15-18 mm som lossnat från underlaget.

Provytor, in-borstningsbruk & kantningsbruk

Inför putsrestaureringen av Svenneby gamla kyrka gjordes under november 2015 provvytor i Göteborgs universitets verksamhetslokaler i Mariestad. Syftet var att utvärdera arbetsmetodik och sammansättning för den ytputs som var tänkt att användas på invändiga och utvändiga väggytor. I figur 8a till 8d visas den arbetsmetodik som användes vid utförandet av den utstockning som gjordes invändigt på Svenneby gamla kyrka. Utstockningen utgjorde sen underlag för ytputsen, bruket till ytputsen benämns inborstningsbruk. Inborstningsbruket framställdes på nysläckt sub-hydraulisk kalk bruten i Kakeled kalkbrott på Kinnekulle (Kakeled kalkbrott se Eriksson 2015). Som utgångspunkt för brukets sammansättning låg tidigare erfarenheter från putsrestaureringen av Gillstad och Väla kyrka, dock med den skillnaden att inborstningsbruket framställdes på upparbetad och lagrad våtsläckt kalk (Eriksson 2012, 2015). Inga kalkskott observerades på provvytorerna i verksamhetslokalerna i Mariestad.



Det gjorde att inborstningsbruk framställt på nysläckt kalk från Kakeled under våren 2016 användes till ytputs av ca 250 m² invändiga väggytor i Svenneby gamla kyrka (fig. 9a och 9b). Inga skador av kalkskott är observerade på de nämnda invändiga ytorna. Under hösten 2016 och 2017 framställdes inborstningsbruk på nysläckt kalk till ca 200 m² invändiga ytor i Svenneby nya kyrka. Kalken som bindemedlets framställdes av kom från Thorsbergs stenhuggeri AB på Kinnekulle. Inte håller på dessa ytor har skador i form av kalkskott uppstått. Kalken som användes har en grå kulör och benämns i folkmun ”täljstenen”. Av Holm (1901) och Shaikh (1990) lämnade uppgifter framgår att täljstenen är den renaste av Kinnekulles kalkstenslager, med förutsättning att ge sub- till svag hydrauliskt hårdnande egenskaper till bruk.

Erfarenheterna från provytor i Mariestad och invändig puts på Svenneby gamla kyrka bidrog till att de tre bruk som framställdes till putsrestaureringen av Svenneby gamla kyrkas yttre fasad under sommaren 2016 och 2017 också framställdes på nysläckt

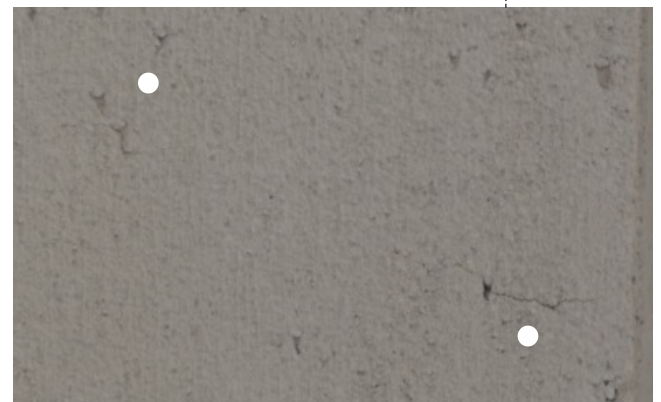
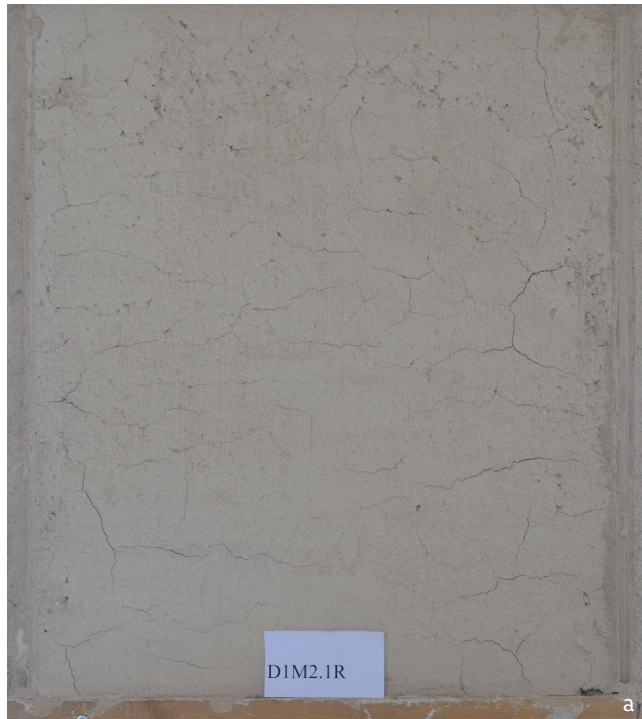
Figur 8a-d. Göteborgs Universitets verksamhetslokaler. På invändiga väggar uppfördes putsytor som skulle efterlikna det utstockningsbruk som skulle användas till att avjämna Svenneby gamla och nya kyrkas inre väggar. Utförandet gjordes i tre moment, först appliceras bruket genom att med slev slå det på underlaget (fig. 8a) därefter (fig. 8b) avjämns ytan med baksidan av sleven först vertikalt därefter horisontalt. Att det görs med sleven har att göra med att underlaget i kyrkorna är väldigt ojämnt varför ett större verktyg är svårt att använda. Ytan på utstockningen skrapas/skärs med slevens kant (fig 8c). Detta görs när bruket har satt sig så mycket att det ger motstånd när man trycker med fingrarna på ytan samt att det bruk som skrapas av släpper från sleven. Figur 8d visar att skrapningen avlägsnar det yttre bearbetade skiktet. Skiktet som tas bort är omkring 1 mm tjockt. Den främre delen av sleven (A) vilar mot det som tidigare är skrapat medans den nedre delen från mitten av sleven (B) och mot handen skrapar/skär av den tidigare bearbetade ytan. Arbetet görs med svepande underarms rörelser. Vid tidsstudie bearbetades ca 6 m² på 45 min. Sättet att bearbeta ytan är sedan använt vid bearbetning av kantningsbruket på kyrkas yttre fasad. I bild Dag Sävbblom Eriksson.



Figur 9a och 9b. Invändigt Svenneby gamla kyrka. Christofer Gabrielson applicerar det framställda in-borstningsbruket på den tidigare skrapade utstockningen (fig. 9a). Inborstningsbruket fyller ut ojämnheter i utstockningens yta och ger ytan enhetlig färg och textur. När inborstningsbruket används som ytputs behöver ytan inte avfärgas efteråt med t.ex. kalkfärg. Andra fördelar jämfört med kalkfärg är att en strykning räcker i stället för fyra till fem som annars kan vara nödvändigt.

Inborstningsbruket kritar inte heller av sig på kläder på samma sätt som kalkfärg gör. Bruket har en beige kulör när det är blöt men ljusnar när det torkar. Figur 9b visar kyrkans kor och långhusväggar efter att ytputsen är applicerad och torkat.

kalk. Kalken som användes var den ovan nämnda täljstenen från Thorsbergs stenhuggeri. Bruk till ytputsen benämns inborstningsbruk, detta bruks sammansättning var vägledande för grundningsbruket sammansättning då appliceringsmetod och putstjocklek hade stora likheter (se kapitel 3.3). Bruket till utfyllnad av murverket benämns kantningsbruk (se kap. 3.3). Som utgångspunkt för kantningsbruket låg resultat i studien *Lime render, shrinkage cracks and craftsmanship in building restoration* (Eriksson och Lindqvist 2018) som visar att bruk framställt på kalk med kort lagringstid och som inte upparbetats har mycket få krympsprickor, (se kap. 3.2, table 2, serie Day 1, Mix L 2.1 N). Fortsättningsvis benämns detta bruk "förlaga". I studien appliceras förlagan i en tjocklek av 9 mm. Tjockleken och det låga antalet krympsprickor pekade på att ett bruk med samma egenskaper skulle vara användbart till utfyllnad av fogarna på Svenneby gamla kyrka (fig. 10a och 10b). Kantningsbruk framställt på kalk från Thorsbergs stenhuggeri visade sig vara mycket lämplig för sin användning då inga krympsprickor eller skador av osläckt kalk uppstod. Brukets proportioner är 1 viktandel kalkdeg på 2 viktandelar naturfuktig sand omräknat i volym är förhållandet 1 kalk på 1.7 delar sand. I relation till källor som beskriver kalk och sands proportioner i äldre tiders bruk så är kantningsbru-



kets proportioner sand till kalk analoga med uppgifter i svensk och engelsk litteratur (e.g Stål 1854; Henström 1869; Henry och Stewart 2011; Lynch 2012; Forster 2012; Eriksson *et al.* 2016).

Kalk från Kakeled och Thorsbergs stenhuggeri är bruten ur två olika kalkbrott på Kinnekulle. De bruk som är framställda av de båda kalksorterna är släckt med olika mycket vatten och använda under olika förutsättningar. En exakt jämförelse mellan de framställda brukens egenskaper är inte gjord. För detta krävs ytterligare undersökningar detsamma gäller vid jämförelse med andra sorters kalk. Emellertid finns materiella och metodisk likheter i brukens framställning. Båda bruken är baserade på sub-hydraulisk kalk; överensstämmande proportioner mellan kalk och sand; inget vatten behöver tillsättas till bruket när det blandas (gäller förlaga, grundning och kantnings bruk); bruken är blandad med våtsläckt kalk där bruket är använd kort tid efter att kalken är släckt (förlagan efter 12 tim. och kantningsbruket efter ca 20 min-1 tim.).

Figur 10a och 10b. Putsytorna i figur 10a och 10b är framställda med samma sand, samma proportioner kalk till sand, har samma tjocklek, är blandade och applicerade samma dag intill varandra. Det som skiljer är att bruket till provytan i fig. 10a är framställt av kalk som upparbetats medan bruket till provytan i fig. 10b är framställt av kalk som inte är upparbetad (se kapitel 3.2 serie Day 1, Morter L 2.1 R och Morter L 2.1 N). Bruket med upparbetad kalk har ett nät av sprickor över hela ytan. Bruket med ej upparbetad kalk har två sprickor (ovan de vita punkterna i fig. 10b). Den tydliga skillnaden i sprickfrekvens mellan de olika bruken utjämnas med lagringstiden av kalken.



a



b



e



f

Borste

Med utgångspunkt från putsarbetena på Svenneby gamla kyrkas södra långhusväg ges i figurerna 11a till 11g en sammanfattning av framställda brukstyper och putsutförande (se även kap. 3.3). De framställda bruken uppvisar egenskaper som jag inte observerat vid användning av torrbruk eller bruk framställd på våtsläckt kalk som handelsvara. Bruken har mycket stor benägenhet att vidhäfta svagt sugande underlag som granit men också till slevan. Egenskapen är mer påtaglig vid bindemedelrika bruk än vid magrare. Det bindemedelrika grundning och inborstningsbruket är applicerat och bearbetat med borste i tunna skikt, förfarandet är mer lämplig att utföra med borste än att först slå på bruket för att sen bearbeta bruket med borste. Det är dock inte enbart arbetsuppgiften i sig som gör borsten mer lämplig. Brukets egenskap att vidhäfta gör också att bruket har svårare att släppa från slevan vid applicering av bruket. En annan egenskap som utmärker bruket är att det fort sätter sig eller styvtnar till på svagt sugande underlag det gör det möjligt att bearbeta bruket kort tid efter att det är applicerat. I relation till granit eller andra underlag med svag sugning är egenskapen att häfta vid och snart sätta



Figur 11a. Vid grundning appliceras bruket med borste. Bruket borstas ut över stenen och in i den öppna fogens håligheter. I fogen och mellan mindre stenar ansamlas lite tjockare skikt bruk än på stenytan. I bild: Ann Sofie Svensson.

Figur 11b. Inför kantningen dimmas lätt de öppna fogarna och området runt om med vatten. I bild diskuteras momentet i arbetslaget. Syftet är att få en god vidhäftning mellan underlag och kantningsbruk. Om förmycket vatten påförs upphör sugningen i de områden som har ett tunt skikt bruk vilket medför att bruket kasar och inte fäster. Om inget eller för lite vatten tillförs blir sugningen kraftig i de områden som har mer bruk, med risk för krympsprickor och vidhäftningsbrott.

Figur 11c och 11d. Inför kantningen borstas först ett tunt lager kantningsbruk in i fogen och på stenens kant (fig 11c). Därefter appliceras vått i vått kantningsbruket med slev (fig. 11d). Bruket är applicerat med ett litet övermått (se nästa bild). På de områden som anses för djupa att fylla ut i ett påslag kompletteras på samma sätt som tidigare kantningen med ytterligare påslag av bruk.

Figur 11e och 11f. Figur 11e, sedan kantningsbruket satt sig och styvnat till men fortfarande är formbart skrapas övermåttet av bruk bort med slevens kant så att utfyllnaden ansluter till stenarnas yttre kanter. Figur 11f visar det färdiga resultatet efter kantning är utförd. I bild: Dag Sävsblom Eriksson.

Figur 11g. Sedan kantningsbruket hårdnat och torkat appliceras inborstningsbruket. Vid appliceringen är det på samma sätt som vid avfärgning med kalk viktigt att underlaget har en jämn tork och att arbeta vått i vått förutom att det ger enhetlig färg och textur underlättar det arbetet. Den applicerade ytputsen ger fasaden sin slutliga färg och textur. I bild: Christofer Gabrielson, Robert Berglund och Malena Kinberg.

sig optimala. Skillnaden är tydlig när dessa egenskaper jämförs med konventionella torrbruk som när de appliceras på samma sätt torkar långsammare, kasar runt och inte bygger upp något skikt av bruk.

4.6 Framtida forskningsbehov

Avhandlingsarbetet har gett svar på flera frågor men också gett upphov till nya frågor. Framtida forskningsbehov berör framförallt följande:

- Den vidhäftning till granit och hårdhet som bruket uppvisar i studien bryter mot föreställningen om att kalkbruk är ett mjukt och svagt material. För att kunna beskriva egenskaperna och skillnaden i relation till andra bruk, framställda med andra metoder, behövs vidare undersökningar göras.
- Inborstningsbruket sammansättning behöver vidareutvecklas så lösare arbetbar konsistens uppnås helst enbart genom reglering av släckningsvattnet.
- Vidare undersöka hur material och metoder påverkar olika bruksskiktets vidhäftning till varandra.
- En vidare utveckling av ugnens konstruktion så att den blir billigare och lättare att bygga.



Referenser

Allmänna bestämmelser angående materialier och arbete vid Kungl. Byggnadsstyrelsens husbyggnadsarbeten: fastställda av Kungl. Byggnadsstyrelsen den 26 juli 1937. 9., oförändr. uppl. (1948). Stockholm:

Andersson, Erik (2015). *Vedeldade bakugnar*. Mariestad: Hantverkslaboratoriet, [Göteborgs universitet]

Balksten, Kristin & Klasén, Kenth (2005). The influence of craftsmanship on the inner structures of lime plasters. Proceedings of the International RILEM Workshop Repair Mortars for Historic Masonry. Delft, Holland.

Balksten, Kristin (2007). *Traditional lime mortar and plaster: reconstruction with emphasis on durability*. Doktorsavhandling. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Balksten, K., Persson, C., Eriksson, J. (2013). *Lime burning tradition in field kilns - a case study of the Jämtland tradition in Sweden*. 3rd Historic Mortars Conference HMC-2013, Glasgow, Scotland.

Barbero-Barrera, M.d.M., Maldonado-Ramos, L., Van Balen, K., García-Santosa, A., Neila-González, F.J. (2014). *Lime render layers: An overview of their properties*. Journal of Cultural Heritage 15 (pp. 326-330).

Berg, Rolf (red.) (1984). *Handboken Bygg M Material, produkter och arbetsteknik*. Stockholm: LiberFörlag.

Bernerman, Maja (2015). *Lime burning in a field kiln: Building method and firing*. In Swedish abstract in English 2015. <http://www.uppsatser.se/om/Maja+Bernerman/>

- Botas, S., Rato, V., Faria, P. (2010). *Testing the freeze/thaw cycles in lime mortar*. 2nd Historic Mortars Conference HMC-2010 and RILEM TC 203-RHM final workshop 22-24 September 2010, Prague, Czech Republic.
- Boynton, Robert S. (1980). *Chemistry and technology of lime and limestone*. 2. ed. New York:
- Bouchar, Marie (2010). *Petrographical study of meroitic mortars from an amun temple (el-Hasa)*. 2nd Historic Mortars Conference HMC-2010, 22-24 September 2010, Prague, Czech Republic.
- Brocklebank, Ian (red.) (2012). *Building limes in conservation*. First edition. Michigan: Donhead Publishing Ltd.
- Bährner, Viktor (1956). *Murbruk och putsbruk: praktisk handbok för murbruk och putsbruk*. Malmö: Svenska Cementföreningen.
- Bährner, Viktor (1966). *Murbruk och putsbruk: praktisk handbok för murbruk och putsbruk*. 4., oförändrade uppl. Malmö: Svenska cementfören.
- Carvalho, C., Cordeiro, P., Turino, T., Avellar, G. (2016). *The conservation and restoration of architectural surfaces as a learning process*. 4th Historic Mortars Conference HMC-2016, Santorini, Greece.
- Cavallo, G., Jornet, A., Mosca, C., Corredig, G. (2010). *Mortars from historical buildings in Switzerland: Petrographic examination*. 2nd Historic Mortars Conference HMC-2010 and RILEM TC 203-RHM final workshop 22-24 September 2010, Prague, Czech Republic.
- Cohen, M.D., Olek, J., Dolch, W.L. (1990). *Mechanism of plastic shrinkage cracking in portland cement and portland cement-silica fume paste and mortar*. Cement and Concrete Research 20 (pp.103-119).
- Drdáčký, Miloš (2016). *Defects of surface mortar layers*. 4th Historic Mortars Conference HMC-2016, Santorini, Greece.
- Dührkop, H., Saretok, V., Sneck, T., Svendsen, S. D. (1966). *Bruk - murning - putsning*. Stockholm: Svensk byggtjänst.
- Eckel, Edwin. C. (2005[1928]). *Cement, limes and plasters*. Reprinted by Donhead Publishing 2005. Eriksson, Axel (1932). *Murtegel och tegelmurverk ur byggnadsteknisk synpunkt*. Stockholm
- Eriksson, Jonny (2012). *Erfarenheter av bränning och släckning av Kinnekullekalksten*. Mariestad: Hantverkslaboratoriet, Göteborgs universitet.
- Eriksson, Jonny (2015). *Bruk av kalk och sand: ur ett hantverkligt perspektiv*. Licentiatavhandling Göteborg : Göteborgs universitet, 2015
- Eriksson, J., Johansson, S., Lindqvist J. E. (2016). *Development of mortars in Sweden during the period 1800-1950*. 4th Historic Mortars Conference HMC-2016, Santorini, Greece.

- Feilden, Bernard M. (1994). *Conservation of historic buildings*. Rev. ed. Oxford: Butterworth Architecture.
- Forster, Alan. (2012). Hot-Lime Mortars: A Current Perspective. In I. Brocklebank (Ed.), *Building Limes in Conservation* (pp. 252-269). Michigan: Donhead Publishing Ltd.
- Gilly, David (1820). *Handbuch der Land-Bau-Kunst: vorzüglich in Rücksicht auf die Construction der Wohn- und Wirthschafts-Gebäude für angehende Kameral-Baumeister u. Ökonomen* (Band 1): Kupfer-Sammlung.
- Gilly, David (1821), *Handbuch der Land-Bau-Kunst: vorzüglich in Rücksicht auf die Construction der Wohn- und Wirthschafts-Gebäude für angehende Kameral-Baumeister u. Ökonomen* (Band 2):Kupfer-Sammlung.
- Gotlandskalk: beskrivning av traditionell kalktillverkning i Hejnum-Djupqvior* (1987). Stockholm: Riksantikvarieämbetet
- Hagerman, Tor H. (1946). *Svenska kalksorter: råmaterial, tillverkning samt provning för byggnadsändamål*. Stockholm: Generalstab:s lit. anst.
- Hedin, Rune. (1956). Strukturen hos bränd kalk. I G. Hambræus (Red.), *Teknisk tidskrift: årgång 86, 1956* (s.851-852). Norrköping: Norrköpings tidningars aktiebolag.
- Hedin, Rune. (1962). Strukturen hos bränd kalk. I G. Hambræus (Red.), *Teknisk tidskrift: årgång 92, 1962* (s.101-106). Norrköping: Aktiebolaget trycksaker.
- Henry, Alison & Stewart, John D. (red.) (2011). *Mortars, renders & plasters*. [New ed.]. Farnham, England: Ashgate.
- Henström, Arvid (1869). *Praktisk handbok i landtbyggnadskonsten: innefattande läran om byggnadsmaterialierna, byggnadsmaterialiernas bearbetning och sammanfogning, byggnadsdelarnes form, dimensioner och styrka*. Örebro: Beijer.
- Henström, Arvid (1896). *Landtbyggnadskonsten. 5, Murarens handverk*. Stockholm: Chelius
- Hidemark, Ove & Holmström, Ingmar (red.) (1984). *Kalkputs. 2, Historia och teknik: redovisning av kunskaper och forskningsbehov*. Stockholm: Riksantikvarieämbetet.
- Historic England (2015). *Practical building conservation*. Ashgate Publishing Group
- Holm, Gerhard & Munthe, Henrik (red.) (1901). *Kinnekulle: dess geologi och den tekniska användningen af dess bergarter*. Stockholm.
- Hughes, J.J., Swift, D.S., Bartos, P.M.J., Banfill, P.F.G. (2002). *A traditional vertical batch lime kiln: Thermal profile and quicklime characteristics*. ASTM Special Technical Publication Issue 1432 (pp.73-87). Masonry: Opportunities for the 21st Century; Salt Lake City, UT; United States; Code 63886.

Hus AMA 83: allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten. RA 83 Hus: råd och anvisningar till Hus AMA 83. (1983). Stockholm: Svensk byggtjänst

Hökerberg, Otar (red.) (1936-1939). *Husbyggnad*. Stockholm.

Ingham, Jeremy (2012). Diagnosing Defects in lime-Based Construction Materials. In I. Brocklebank (Ed.), *Building Limes in Conservation* (pp.176-198). Michigan: Donhead Publishing Ltd.

Jarefjäll, Patrik (2016). *Navarsmide: en metodstudie ur ett hantverksperspektiv*. Licentiatavhandling: Göteborgs universitet, 2016. Johansson, Sölve (2004). *Hydrauliskt kalkbruk: kunskaps- och forskningsläge: tillgången på kalksten med hydrauliska komponenter, naturligt cement och hydrauliska tillsatsmaterial för byggande i Sverige från medeltid till nutid*. Lic.-avh. Göteborg: Univ., 2004.

Johansson, Sölve (2006). *Hydrauliskt kalkbruk: produktion och användning i Sverige vid byggande från medeltid till nutid*. Diss. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, 2006.

Johansson, Sölve & Lindqvist, Jan Erik (2010). *Historic mortars with burned alum shale as artificial pozzolan*. HMC 2010 proceeding on CD. Historic Mortars Characterisation, Assessment, Conservation and Repair Series: RILEM Book series, Vol. 7 Válek, Jan; Hughes, John J.; Groot, Caspar J. W. P. (Eds.) June 2012, Springer (pp. 77-88).

Kjellberg, Henrik & Lisinski, Jan (1998). *Kalkputsarbeten 1980-1990: inventering av utförande och projektstyrning*. 1. [uppl.] Stockholm: Riksantikvarieämbetet.

Konow, Thorborg von (1997). *Restaurering och reparation med puts- och murbruk*. Diss. Åbo: Åbo akademi.

Konow, Torborg von (2008). *Design of non-hydraulic and hydraulic lime mortars appropriate for restoration in the Nordic Climate*. 1st Historical Masonry Conference HMC-2008, Lisbon, Portugal.

Kreüger, Henrik (red.) (1920). *De tekniska vetenskaperna: bibliotek för teknisk vetenskap och dess tillämpning på svensk industri och byggnadskonst. Avd. byggnadskonst, Bd 1, Byggnadsmaterialier*. Stockholm: Bonnier

Lassen, Ulrik Hjort (2014). *The invisible tools of a timber framer [Elektronisk resurs] : a survey of principles, situations and procedures for marking*. Diss. Göteborg : Göteborgs universitet, 2014

Lilja, Joakim (2015). *Handbok i kallmurning*. Mariestad: Hantverkslaboratoriet, Göteborgs universitet
Lindqvist, Jan Erik (1999). *Gammal kalkputs: analys och utvärdering*. 1. uppl. Stockholm: Riksantikvarieämbetet
Lindqvist JE & Sandström M (2000) *Quantitative analysis of historical mortars using optical microscopy*. Materials and Structures vol 33, (pp. 612-617).

Lindqvist, Jan Erik & Johansson, Sölve (2009). *Sub-hydraulic binders in historical mortars*. Workshop RILEM TC RHM Repair Mortars for Historic Masonry hosted by TU-Delft. Ed. Caspar Groot. RILEM Proceedings proo67 Repair Mortars for Historic Masonry (pp. 224-230).

Lindqvist, Jan Erik & Johansson, Sölve (2019). The Development of Binders and Mortars in Sweden. In: Hughes J., Válek J., Groot C. (eds) *Historic Mortars*. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-319-91606-4_19.

Lura, P., Pease, B., Mazzotta, G.B., Rajabipour, F., Weiss, J. (2007). *Influence of shrinkage reducing*

admixtures on development of plastic shrinkage cracks. ACI Mater J 104 (pp.187-194).

Lynch, Gerard (2012). Lime Mortars: The Myth in the Mix. In I. Brocklebank (Ed.), *Building Limes in Conservation* (pp.222 - 228). Michigan: Donhead Publishing Ltd.

Löfroth, Carl (red.) (1925). *Byggnadsindustrien: praktisk uppslagsbok för byggnadsverksamhetens olika grenar av fackbildade på hithörande områden*. Stockholm:

Margalha, G., Veiga, R., Silva, A.S., De Brito, J. (2011). *Traditional methods of mortar preparation: The hot lime mix method*. Cement and Concrete Composites, vol 33 (pp. 796-804).

Materialguiden [Elektronisk resurs]. (2013). Stockholm: Riksantikvarieämbetet

Mebus, Ulrika & Balksten, Kristin (red.) (2015). *Visby ringmur: kulturarv som rasar och återuppbyggs*. Stockholm: Riksantikvarieämbetet

Nycander, S[ven Hilding] & Bährner, Viktor (1945). *Modern putsteknik: med särskild hänsyn tagen till användning av puderkalk och cement*. 1. uppl. Stockholm: Svenska cementföreningen

Nycander, Sven & Bährner, Viktor (1950). *Modern putsteknik med särskild hänsyn tagen till användningen av puderkalk och cement*. 2. uppl. Malmö: Svenska cementföreningen

Nycander, Sven & Bährner, Viktor (1955). *Modern putsteknik: med särskild hänsyn tagen till användningen av puderkalk och cement*. 4. uppl. Malmö: Svenska cementföreningen

Pasch, Gustav Erik (1824). *Berättelse om de vid Motala station anställda Murbruks-försök, inlämnad till Göta Canals Direktion år 1818 och 1822*. Jernkontorets annaler. Stockholm 1824.

Pasley, Charles William (1826). *Practical architecture*. Reprinted by Routledge. Publishing 2015.

Pavlík, Vladimír & Uzaková, Michaela (2016). *Effect of curing conditions on the properties of lime, lime-metakaolin and lime-zeolite mortars*. Construction and Building Materials 102 (pp. 14-25).

Paulsson, Gregor (red.) (1936). *Hantverkets bok. 4: Mureri*. Stockholm: Lindfors.

Paulsson, Gregor (red.) (1939). *Hantverkets bok: Mureri*. 2., rev. o. utök. uppl. Stockholm: Lindfors.

- Paulsson, Gregor & Granholm, Hjalmar (red.) (1953). *Hantverkets bok*. [4], Mureri. 3., omarb. uppl. Stockholm: Lindfors.
- Persson, Cristina (2010). *Ovikens gamla kyrka- förundersökning av putsen på kyrkan och bogårdsmuren*. Rapport Jamtli 2010. ISSN 1654-2045
- Persson, Christina (2012). *Jämtländsk byggnadskalk - redovisning av projekt 2010-2011*. Rapport Jamtli 2012. ISSN 1654-2045.
- Pozo-Antonio, J.S. (2015). *Evolution of mechanical properties and drying shrinkage in lime-based and lime-cement based mortars with pure limestone aggregate*. Construction and Building Materials 77 (pp. 472-478).
- RILEM TC 203-RHM, Performance requirements for render and plaster mortars. In *Repair mortars for historic masonry*. Rilem TC-203-RHM: State of the art report (pp110-126).
- Rothstein, Edvard von (2003[1890]). *Allmänna byggnadsläran*. Faks.-utg. Kristianstad: Accent
- Rothstein, Edvard von (1875). *Handledning i allmänna byggnadsläran med hufvudsakligt afseende på husbyggnadskonsten samt kostnadsförslagers uppgörande*. 2. öfversedda, tillökta och delvis omarb. uppl. Stockholm: Beijer
- Rothstein, Edvard von (1856). *Handledning i allmänna byggnadslärans praktiska del med hufvudsakligt afseende på byggnadskonsten samt kostnadsförslagers uppgörande*. Stockholm: J. F. Meyer
- Sandström Malinowski, Ewa (1988). *Renovering och restaurering av putsade fasader: studier av murade hus i Göteborg*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Sandström Malinowski, Ewa (1992). *Puts på gamla hus*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Sandström Malinowski, Ewa (red.) (2000) *Kalk & hantverk för byggnadsvård och nybyggnad*. Stockholm: Riksantikvarieämbetets förl.
- Sandström Malinowski, Ewa & Seir Hansen, Torben (2014). *Hot Lime Mortar in Conservation – Repair and Replastering of the Façades of Läckö Castle*. Published online: 16 Jan 2014 Journal of Architectural Conservation Volume 17 Issue 1 (pp 95-118).
- Sandström Malinowski, Ewa (2016). *Historiska bruk på Läckö slott: fasadrestaurering och forskningsinsatser 2002-2009*. Göteborg: Institutionen för kulturvård, Göteborgs universitet. Tillgänglig på Internet: <http://hdl.handle.net/2077/49953>
- Saretok, Vitold (1976). *Underhåll och reparation av putsade och oputsade murverksfasader*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning
- Saretok, Vitold (1957). *Puts och putsning: ett kritiskt litteraturstudium*. Stockholm:

- Shaikh, Naz Ahmed (1990). *Kalksten och dolomit i Sverige. D. 3, Södra Sverige*. Uppsala: SGU.
- Skolverket (2018). *Forskningsbaserat arbetsätt, några nyckelbegrepp*. Hämtad 2019-01-04, från <https://www.skolverket.se/skolutveckling/forskning-och-utvarderingar/forskningsbaserat-arbetssatt/forskningsbaserat-arbetssatt-nagra-nyckelbegreppSMHI>
- SPEF (2005). *Rätt murat och putsat*. Sveriges Murnings- och Putsentreprenörsförening, Svensk byggtjänst. Stockholm.
- STIF (1991). *Murverkshandboken MUR 90*. Sveriges tegelindustriförening (STIF), Helsingborg.
- Stål, Carl (1854) *Utkast till allmän byggnadslära*. Falun: Åkerblomska Boktryckeriet
- Tedeschi, C., Binda, L., Condoleo, P. (2013). *Repair mortars studied for the conservation of temple G1 in my són, Vietnam*. RILEM Book series Volume 7 (pp 153-164).
- Torraca, Giorgio (1988). *Porous materials building: materials science for architectural conservation*. 3. ed. Rome: ICCROM
- Underwood, Ervin E. (1970). *Quantitative stereology*. Reading, Mass.: Addison-Wesley
- Válek, J., Matas, T., Machová, D., Petrářová, V., Frankeová, D., Zeman, A. (2013). *Assessment of properties of lump lime produced in a 'traditional' flare kiln*. The 3rd Historic Mortars Conference, J.J. Hughes, University of the West of Scotland, Glasgow.
- Válek, J., Halem, E., Viani, A., Skružná, O. (2016). *Replication of historic mortars using six different quicklimes*. 4th Historic Mortars Conference HMC-2016, Santorini, Greece.
- Vicat, L. J. (1997 [1837]) *Mortars and cements*. Shaftesbury: Donhead.
- Westerlund, Tina (2013). *Trädgårdsmästarens förökningsmetoder: schema och katalog över förökningsdelar vid vegetativ förökning av fleråriga örtartade växter*: licentiatuppsats i kulturvård. Licentiatavhandling Göteborg: Göteborgs universitet, 2013.
- Wyrzykowski, M., Trtik, P., Weiss, J., Vontobel, P., Lura, P. (2015). *Plastic shrinkage of mortars with shrinkage reducing admixtures and light weight aggregates studied by neutron tomography*. Cement and concrete research 73 (pp. 238-245).
- Wästlund, G., Royen, N., Kreüger, H., Gedda, S. (1940). *Putsproblemet i Sverige: Preliminärt förslag till bestämmelser angående fasadputs*. Malmö: Skånska cementgjuteriet.