



HAMPAKALK

Tilläggsisolering på reveterade trähus och saltskadat tegelmurverk

Redaktörer – Kristin Balksten & Paulien Strandberg-de Bruijn

Slutrapport 2019



Energimyndigheten



LUNDS
UNIVERSITET

LTH
LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA



UPPSALA
UNIVERSITET
CAMPUS GOTLAND

Hampakalk – Tilläggsisolering på reveterade trähus och saltskadat tegelmurverk

Denna antologi är resultatet av två forskningsprojekt finansierade av Energimyndigheten genom forskningsprogrammet Spara & bevara; sparaochbevara.se. Projektet har drivits som ett samarbete mellan Avdelningen för Byggnadsmaterial, LTH, Lunds Universitet och Kulturvård, Campus Gotland, Uppsala universitet.



LUNDS
UNIVERSITET

LTH
LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA



UPPSALA
UNIVERSITET
CAMPUS GOTLAND

Nyckelord: hampakalk, tilläggsisolering, revetering, trähus, bulhus, Visby innerstad, tegelmurverk, tegel, saltskador, energieffektivisering, fuktmätning, värmefflöde, mögelpåväxt, akustik, brandegenskaper, lera, gjuthus

Redaktörer: Kristin Balksten & Paulien Strandberg-de Bruijn

Grafisk form: Kristin Balksten

Tryckeri: ...

2019 Copyrights © Författarna

Varje författare ansvarar för sin text och sina illustrationer

ISBN 978-91-7895-034-8 (print)

ISBN 978-91-7895-035-5 (pdf)

Avdelningen för Byggnadsmaterial
Lunds Universitet
Lunds Tekniska Högskola
P.O Box 118
SE-221 00 Lund, Sweden

Förord

De båda projekten som redovisas i denna antologi är finansierade av Energimyndigheten genom Forskningsprogrammet *Spara och bevara*, www.sparaochbevara.se. Projektet har genomförts som ett samarbete mellan Avdelningen för Byggnadsmaterial vid LTH och Kulturvård, Campus Gotland, Uppsala universitet samt Gotlands Museum. Många personer har bidragit till projektet, vilket har genererat mycket resultat och ett genomgående tvärvetenskapligt förhållningssätt. Gruppen har bestått av forskare inom byggnadsmaterial, kulturvård och mikrobiologi, byggnadsantikvarier, labtekniker och murare samt många studenter inom såväl Kulturvård som Brandteknik. Även fastighetsägare i Visby och Svenska kyrkan har bidragit genom att upplåta sina fastigheter som fallstudier. En referensgrupp för bulhusbebyggelsen i Visby innerstad har deltagit i en workshop i Visby och för saltproblematik har en referensgrupp deltagit i två saltworkshops i Skåne.

Vi vill härigenom tacka alla som på olika sätt bidragit med finansiering, kunskap, tid och engagemang i de båda projekten.

Paulien Strandberg & Kristin Balksten

Sammanfattning

Historiska byggnaders energiprestanda behöver hållbart förbättras samtidigt som kulturhistoriska värden bevaras. Ett byggnadsmaterial som hampakalk skulle kunna uppfylla en ny funktion i renovering av historiska byggnader. Syftet var att finna en effektiv och resurssnål metod för tilläggsisolering av reveterade och putsade historiska trä- och tegelhus som är kompatibel med stommen, ökar energieffektiviteten, skapar en hälsosam och god inomhusmiljö samt bidrar till att bevarade kulturhistoriska värden.

Målet med projektet var att utreda lämplighet och användbarhet av hampakalk som tilläggsisoleringsmaterial i ett kallt svenskt klimat med svåra fuktförhållanden. Det var väsentligt att klargöra förutsättningarna för eventuell mikrobiell påverkan på materialet. Ett delmål med projektet var därför att utvärdera risken för mikrobiell påväxt på hampakalk och att ta fram nyckeltal för dess kritiska fuktnivåer.

Huruvida hampakalk skulle kunna fungera som tilläggsisolering på saltvittrande tegelmurverk har också undersökts. Här har det dels handlat om att förstå salternas beteende och skadeverkan samt vad som kan bidra till ett minimerande av skador. Där har hampakalk som invändigt tilläggsisoleringsmaterial provats och utvärderats för att se om det kan bidra med ändrat mikroklimat och ändrad salttransport och därigenom minskade saltskador på putsytan.

Det finns ett stort bestånd av hållbara byggnader, företrädesvis från perioden 1700-tal till 1930-tal, som uppförts dels med trästomme som putsats, dels av tegel. Framförallt blev båda dessa byggnadstekniker allt vanligare under 1800-talet då städerna började byggas med ett utökat krav på brandskydd och termisk komfort. Idag är dessa byggnader ofta i behov av underhåll eller renovering och i samband med detta behöver de kunna anpassas efter moderna krav på termisk komfort och energieffektivisering. Samtidigt besitter de höga kulturhistoriska värden och skall därmed förändras/underhållas/renoveras med stor varsamhet, med traditionella material och metoder och med kompatibla lösningar.

Resultatet av projektet har visat att hampakalk fungerar utmärkt för att tilläggsisolera historiska trä eller tegelbyggnader. Uppmätt minskning av energianvändning för uppvärmning var 33-53 % i fallstudierna jämfört med originalkonstruktionen. Tilläggsisolering av hampakalk gav en bra fuktbalans i såväl murverket som trästommen, förutsatt att det kombineras med en för konstruktionen anpassad kalkputs. Som invändig putsbärare på saltskadat tegelmurverk gav hampakalken ett stabilt mikroklimat med minskat antal saltkristallisationscykler och därmed ett fördröjt skadeförlopp. Hampakalk kan bidra till god ljudmiljö och ett bibehållet brandskydd. Hampakalk kan användas där kulturhistoriska värden skall bevaras. Det gäller framförallt byggnader som står inför renovering eller omrenovering, där ett material behövs som är kompatibelt med såväl trä- och tegelstommar som traditionell kalkputs vilka skall fortsätta utgöra kulturhistoriska värdebärande element för byggnaden.

Summary

The energy performance of historic buildings needs to be improved in a sustainable way while preserving cultural-historical values. A building material such as hemp-lime could fulfill a new function in the renovation of historic buildings. The objective of this project was to find an appropriate and resource-efficient method for additionally insulating plastered historic buildings that is compatible with the timber or brick structure, increases energy efficiency, creates a healthy indoor environment and contributes to preserving cultural-historical values.

The aim of the project was also to investigate hemp-lime as an additional insulation material in a cold Swedish climate with tough moisture conditions. It was essential to clarify the conditions for microbial growth on the material. An additional aim of the project was therefore to evaluate the risk of microbial growth on hemp-lime and to find key values for its critical moisture levels.

Use of hemp-lime as additional internal insulation on salt-withering brick masonry has also been investigated. Here the project has also focussed on understanding the behaviour of salts in masonry, their harmful effects and measures that can contribute to minimizing damage. Therefore, hemp-lime was tested and evaluated as internal additional insulation material to see if it could contribute to an altered microclimate with altered salt transport and thereby reducing salt damage to the plaster surface.

There is a large stock of durable historic buildings, built between the 1700s and the 1930s, that were built with lime-rendered timber or brick structures. Both of these building techniques became more common during the 19th century when cities were built with increased demands on fire protection and thermal comfort. Today, these buildings are often in need of maintenance or renovation, and in connection to this they need to be adapted to modern requirements on thermal comfort and energy efficiency. At the same time they possess high cultural-historical values and they must therefore be adapted/ maintained/renovated with great care, with traditional materials and methods and with compatible solutions.

The result of this project has shown that hemp-lime works very well for additional insulation of historic timber or brick buildings. Measured reduction of energy use for heating was 33-53% in the case studies compared to the original design. Additional insulation of hemp-lime gave a good moisture balance in both the masonry and the wooden structure, provided that it is combined with an appropriate lime render that is customized for the construction. As an internal insulation on salt-damaged brickwork, the hemp-lime gave a more stable microclimate with reduced number of salt crystallization cycles and therefore delayed damage mechanisms. Hemp-lime can contribute to a good acoustic environment and maintained fire protection. Hemp-lime can be used where cultural historical values should be preserved. This applies primarily to buildings that are facing renovation needs where a material is required that is compatible with both timber and brick walls as well as the traditional lime render, all of which will continue to constitute cultural-historical value-bearing elements in the building.

Publikationslista

Följande publikationer har genererats inom ramen för detta forskningsprojekt.

Populärvetenskapliga artiklar

- [1] Strandberg-de Bruijn, P. B., Donarelli, A., Balksten, K. (2017)
Hållbar energieffektivisering av historiska trä- och stenbyggnader med hampakalk. Sid 26-29. Stockholm: Bygg&Teknik. Tema: Sunda Hus/Energi. ISSN: 0281-658x.

Konferensbidrag

- [2] Strandberg-de Bruijn, P. B., Balksten, K. Donarelli, A. (2017)
Sustainable insulation of historical wooden and stone buildings with lime-hemp in the Hanseatic town of Visby, a project overview. 2nd International Conference on Bio-based Building Materials ICBBM 2017, Clermont-Ferrand, France
- [3] Johansson, P., Donarelli, A., Strandberg, P. (2018)
Performance of insulation materials for historic buildings: case studies comparing a super insulation material and hemp-lime. The 3rd International Conference on Energy Efficiency in Historic buildings, EEHB2018, Visby Sweden

Vetenskapliga paper

Nedanstående paper är färdiga manus att sändas till internationella vetenskapliga tidskrifter:

- [4] Strandberg-de Bruijn, P. B., Balksten, K. Donarelli, A.
Full-scale studies of improving energy performance by renovating historic Swedish timber buildings with hemp-lime
- [5] Strandberg-de Bruijn, P. B., Balksten, K
Moisture levels in historic timber walls insulated with hemp-lime
- [6] Strandberg-de Bruijn, P. B., Balksten, K
Energy and moisture in historic masonry walls retrofitted with hemp-lime
- [7] Johansson, S., Strandberg-de Bruijn P. B.
Risk for mould growth on hemp-lime at different relative humidities
- [8] Balksten, K., Strandberg-de Bruijn P. B.
Understanding deterioration due to salt crystallization in massive brick masonry

Ovanstående vetenskapliga paper finns summerade i denna antologi och presenterade genom ett antal artiklar med olika teman. Paper 4-6 ligger till grund för resultaten som presenteras i "Hampakalk för tilläggsisolering". Paper 7 ligger till grund för resultat presenterade i "Hampakalkens risk vid mikrobiell påväxt". Paper 8 baseras på studier presenterade i "Saltvittrande tegelmurverk" samt "Hampakalk mot saltvittring".

Examensarbeten

[10] Olsson, E., (2017)

Ler- och långhalm – En studie av lera som byggnadsmaterial i svensk äldre bebyggelse.

Kandidatuppsats i Kulturvård. Visby: Uppsala universitet

[11] Johansson, F., (2017)

Från slott till koja – en studie av det svenska murtegets historia. Kandidatuppsats i

Kulturvård. Visby: Uppsala universitet

[12] Källgren, V., (2017)

Ljudmiljö i Kulturmiljö - Hampakalks akustiska egenskaper och tillämpbarhet

i kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Kandidatuppsats i Kulturvård. Visby: Uppsala universitet

[13] Edbladh, J. & Persson, J., (2018)

Hampakalk – en jämförelsestudie med avseende på brandegenskaper, Examensarbete på

Brandingenjörsutbildningen. Lund: LTH

[14] Nygren, S. (2017)

Reveterande bulhus i Visby. Magisteruppsats i Kulturvård, *under färdigställande.* Visby:

Uppsala universitet

Innehåll

Förord	I
Sammanfattning	II
Summary	III
Publikationslista	IV
1 Introduktion till hampakalkprojektet	3
av Kristin Balksten och Paulien Strandberg-de Bruijn	
2 Reveterade bulhus i Visby	9
av Sofie Nygren och Kristin Balksten	
3 Lera i svensk byggtradition	25
av Ellen Olsson	
4 Tegelmurverkens utveckling i Sverige	37
av Frida Johansson	
5 Saltvittrande tegelmurverk	45
av Kristin Balksten	
6 Hampakalk som byggnadsmaterial	65
av Paulien Strandberg-de Bruijn och Kristin Balksten	
7 Hampakalk för tilläggsisolering	75
av Paulien Strandberg de Bruijn, Kristin Balksten och Anna Donarelli	
8 Hampakalk mot saltvittring	91
av Kristin Balksten och Paulien Strandberg-de Bruijn	
9 Hampakalkens risk för mikrobiell påväxt	99
av Sanne Johansson, Paulien Strandberg-de Bruijn och Kristin Balksten	
10 Hampakalk för brandskydd på reveterade trähus	105
av Josefin Edbladh och Joar Persson	
11 Hampakalk för god akustik	113
av Viktor Källgren	

1 Introduktion till hampakalkprojektet

Författare: Kristin Balksten & Paulien Strandberg-de Bruijn

Inledning

Huvudprojektet *"Hållbar energieffektivisering av historiska trä- och stenbyggnader med hampakalk"* samt tilläggsprojektet *"Att förebygga saltutfällning genom hampakalkputs i äldre tegelbyggnader"* som ligger till grund för denna antologi har båda finansierats genom *Spara och Bevara*¹, Energimyndighetens forskningsprogram för energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Programmet syftar till att öka kunskapen kring energieffektivisering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader utan att kulturhistoriska värden går förlorade.

Bakgrund

Många historiska trä- och tegelbyggnader i Sverige har de senaste decennierna renoverats och isolerats med moderna isoleringsmaterial såsom cellplast och mineralull. Skador på historiska byggnader som orsakas av fukt och mögel har ökat under de senaste decennierna, bland annat till följd av ökad användning av värmeisolering vilket gör väggarna mer sårbara för kondensproblem.

Hampakalk är ett hållbart byggnadsmaterial som består av hampans vedämnen och byggkalk. I början av 1990-talet började hampans vedämnen användas i kombination med kalk som byggnadsmaterial i Frankrike. Hampakalk fungerar annorlunda än konventionella isoleringsmaterial då det utöver bra värmeisoleringsförmåga är diffusionsöppet och har bra termisk massa samt fuktbufferingsförmåga. Dessutom är materialet formbart, har bra vidhäftningsförmåga och är lätt att applicera vilket gör att byggnadens estetiska och kulturhistoriska värden kan bibehållas.

Projektmål

Syftet med huvudprojektet är att hållbart förbättra historiska byggnaders energiprestanda samtidigt som kulturhistoriska värden bevaras. Ett byggnadsmaterial som hampakalk skulle kunna uppfylla en ny funktion i renovering av historiska byggnader. Värmeisolering av historiska trä- och tegelväggar med hampakalk skulle kunna förbättra fuktförhållanden i väggen. Det skulle också förbättra byggnadens energiprestanda utan att göra byggnaden mer benägen till fuktproblem.

Målet var att finna en effektiv och resurssnål metod för tilläggsisolering av reveterade och putsade historiska trä- och tegelhus som är kompatibel med stommen, ökar energieffektiviteten, skapar en hälsosam och god inomhusmiljö och som bidrar till att de kulturhistoriska värdena kan bevaras.

Målet med projektet var även att utreda lämplighet och användbarhet av hampakalk som tilläggsisoleringsmaterial i historiska trä- och tegelbyggnader i ett kallt svenskt klimat med svåra fuktförhållanden.

Det nordiska klimatet innebär en stor fuktbelastning på byggnadsmaterial varför projektets resultat är oerhört viktiga att erhålla innan materialet kan börja användas i större skala. Det är väsentligt att frågetecken kring eventuell mikrobiell påverkan på materialet klargörs, och att fuktegenskaper hos materialet studeras om det ska kunna bidra till att ge sunda hus. Ett delmål med projektet var därför att utvärdera risken för mikrobiell påväxt på hampakalk och att ta fram nyckeltal för dess kritiska fuktnivåer.

Syftet med tilläggsprojektet var att fastställa huruvida hampakalk skulle kunna fungera som tilläggsisolering på saltvittrande tegelmurverk. Här har det dels handlat om att förstå salternas beteende och skadeverkan samt förstå vad som kan bidra till ett minimerande av skador. Där har hampakalk som invändigt tilläggsisoleringsmaterial provats och utvärderats för att se om det kan bidra med ändrat mikroklimat och därigenom minskad salttillförsel till den invändigt putsade murytan.

Projektupplägg

Projektet genomfördes i ett tvärvetenskapligt samarbete mellan Lunds Tekniska Högskola och Uppsala Universitet Campus Gotland. Projektet bestod av en kombination av arkiv- och litteraturstudier, materialstudier, fullskaleförsök samt en renovering av en gavelvägg i Visby. Materialprover utsattes för olika fuktbelastningar för att fastställa känslighet för mikrobiell påväxt. Fullskaleförsök i form av ytterväggar innehållandes ett lager med hampakalk genomfördes på Lunds Tekniska Högskola. Sensorer följde fuktbelastning och temperatur i väggar, inneklimat och värmeförbrukning.

Projekttiden var september 2016 t.o.m. februari 2019.

¹ www.sparaochbevara.se

Medverkande i projektet

Forskargruppen

Inom forskargruppen har ett tvärvetenskapligt samarbete kunnat ske. Gruppen har förutom fyra ansvariga forskare haft många personer knutna till sig.

Forskargruppen har utgjorts av:

Paulien Strandberg, Tekn. Dr

Avd. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola

Kristin Balksten, Tekn. Dr

Kulturvård, Uppsala universitet Campus Gotland

Anna Donarelli, Byggnadsantikvarie

Kulturvård, Uppsala universitet Campus Gotland
(numera vid Riksantikvarieämbetet i Visby)

Sanne Johansson, Tekn. Dr

Avd. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola

Övriga medverkande i projektet

I projektet har flera studenter deltagit genom att utföra sina examensarbeten inom ramen för projektets frågeställningar:

Sofie Nygren

Examensarbete för Magisterexamen i Kulturvård,
Campus Gotland UU. (kap. 2)

Ellen Olsson, Frida Johansson och Viktor Källgren

Examensarbete för Kandidatexamen i Kulturvård,
Campus Gotland UU. (kap. 3, 4 och 11)

Josefin Edbladh och Joar Persson

Examensarbete vid Brandingenjörsutbildningen LTH
(kap. 10)

Studenternas arbeten har möjliggjort både en breddning och fördjupning som i denna antologi presenteras genom deras egna artiklar, se respektive kapitel 2, 3 och 4 samt 10 och 11.

Gotlands museum har deltagit med antikvarisk expertis genom **Pär Malmros** (numera vid Visby stift) och **Ulrika Mebus** (numera vid Skansen). De har varit behjälpliga med arbetet kring fallstudien Biskopen 5 i Visby, bidragit till workshops och kunskapsspridning samt bidragit med text till *Hampakalk för tilläggsisolering*, genom den antikvariska förundersökning som gjordes inför omputsningen. De har även bidragit med handledning för Sofie Nygren som skrev sitt examensarbete med arbetsplats på Gotlands museum.

Murare **Tom Yttergren** och Murarmästare **Henrik Nilsson** samt deras medhjälpare har ansvarat för arbetet med fallstudien i Visby respektive uppbyggnaden av provväggar i Lund. Murare **Bertil Larsson** har putsat tegelväggarna i Högsäters kyrka samt bidragit med kunskaper och reflektioner. Murarnas yrkesskicklighet som

hantverkare har varit ovärderlig i samband med att metoder och materialsammansättningar har finjusterats. De har förutom de fysiska väggarna bidragit med värdefulla reflektioner kring materialet och dess möjligheter.

Fastighetsägarna till Biskopen 5, **Bjerne och Annabritta von Schulman** har upplåtit sitt hus i Visby Innerstad för att möjliggöra ett fullskaleprov med ett reveterat trähus. De har upplåtit huset inte bara för själva arbetet utan också för pågående mätningar av fuktnivåer i väggarna.

Laboratorietekniker **Stefan Backe** och **Bengt Nilsson** (in memoriam) vid LTH har hjälpt till med uppbyggnad av testväggar, laboratorieförsök, mätutrustning och tolkning av resultat. Civilingenjör **Magnus Wessberg** vid Kulturvård har hjälp till med att tolka mätresultat och skapa diagram.

Referensgrupper/Workshops

Inom projektet har flera workshops anordnats och ett antal föredrag har hållits på bl.a. Byggnadsvårdens konvent, Kalkforum, Världsarvsseminarium

Referensgruppen för tilläggsisolering på bulhus i Visby träffades vid en workshop på Fornsalen i Visby. Den bestod utav hantverkare, antikvarier, världsarvsamordnare, handläggare, arkitekter och fastighetsägare som är verksamma i Visby med representanter från Alvar Hallgrens Bygg AB, Yttergrens Mureri AB, Region Gotland, Länsstyrelsen på Gotland, Riksantikvarieämbetet, Gotlands Museum, Biskopen 5 och Agraf.

Referensgruppen för salter i murverk bestod av Kristina Nilén, Tyréns, Lars Blasberg och Mattias Andreasson, båda Blasberg Andreasson Arkitekter samt Fredrik Larsson, Stefan Larsson och Karl-Johan Neldeborn från Statens fastighetsverk. Det har hållits två workshops i Lund kring saltproblematik inklusive utvärdering av tidigare försök som gjorts på Hovdala slott.

Därtill har en studieresa till England/Wales ägt rum där Paulien, Kristin och Anna har träffat entreprenörer, materialtillverkare och arkitekter med stor vana att använda hampakalk i såväl renoveringar som nyproduktion. Studieresan finansierades med bidrag från *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien* (KSLA) samt *Maj och Hilding Brosenius forskningsstiftelse*.



Figur 1. Radhus i Swindon, byggda av hampakalk.

Resultat

Forskningsrapportens upplägg

Varje delstudie som har utförts inom ramen för projektet finns i denna slutrapport presenterad i en egen artikel, se kapitel 2-10. Det gäller dels forskargruppens egna resultat och dels de resultat som framkommit i studenternas examensarbeten.

Studenterna har dels bidragit med en fördjupning kring traditionella byggtekniker; revetering av trähus, gjuthus- och lerbyggnadstekniker samt tegelmurverk. De har även bidragit till helt nya materialdata gällande akustik och brandegenskaper för hampakalk – egenskaper som är av yttersta vikt om hampakalk skall nyttjas för tilläggsisolering på äldre hus.

Forskargruppen har bidragit med artiklar om saltvittrande tegelmurverk, hampakalk som material och fallstudier där hampakalk för tilläggsisolering utvärderats utifrån egenskaper gällande applicerbarhet, värme, fukt och risk för mikrobiell påväxt. Här ges en sammanfattning av respektive artikel för att sätta in dem i sitt sammanhang. Fördjupning av resultat finns även presenterat i ett antal vetenskapliga artiklar, se publikationslista.

Referenser finns återgivet i slutet av respektive artikel.

Kap. 2: Reveterade bulhus i Visby

Studien omfattar dels en genomgripande inventering av bulhusbeståndet i Visby innerstad, där ca hälften av 500 reveterade bulhus har granskats i detalj. Det har resulterat i ett underlag för att fastställa de kulturhistoriska värdena som finns i detta byggnadsbestånd med fokus på dess stommar och fasader. Det har även inneburit en fördjupad kunskap om vilka material och metoder som har använts för att revetera trähus i allmänhet och i Visby i synnerhet. Bl.a. visade studien att mindre än 10 % av byggnadsbeståndet har ursprunglig fasad bevarad vilket gör dessa få fasader mycket kulturhistoriskt värdefulla. Över 90 % har genomgått fasadrestaureringar sedan 1900-talets mitt med varierande utförande och funktion. Här finns således ett stort bestånd som är i behov av omreovering, energieffektivisering med kompatibla lösningar och material samt återgång till traditionell kalkputs – allt detta för att bevara stadens karaktär och skydda dess byggnadsbestånd i enlighet med gällande lagstiftning, byggnadsordning och världsarvnämning.

Kap. 3: Lera i svensk byggtadition

Studien fokuserar på lera som byggnadsmaterial och hur det har tillämpats i Sverige på olika sätt och med olika tekniker. Bl.a. har det visat sig att det finns en tradition att bygga gjuthus med olika materialsammansättningar, att det har använts till putsskikt både in- och utvändigt

och att det har använts till såväl trähus som korsvirkeshus. Ofta har lera kombinerats med fibrer till olika användningsområden. Den här studien visar bakgrunden till de byggtekniker där även hampakalk numera ingår som byggnadsmaterial dvs. gjuthus, fyllnad i korsvirke och som tilläggsisoleringsmaterial och det gör att vi kan få en förståelse för hur hampakalk därigenom kan ha ett användningsområde i Sverige när historiska byggnader skall anpassas efter nyare komfortkrav.

Kap. 4: Tegelmurverkens utveckling i Sverige

Här presenteras en genomgång av teglets historiska utveckling, från medeltid till 1980-tal. Studien ger en kronologisk sammanställning över tegelstenarnas utseende, murförbandens uppbyggnad och förändring samt om tegelbrukens historia – allt kopplat till olika förändringar i samhället och med en bredd över tid och rum. Sammanställningen ger en förståelse för vilket byggnadsbestånd vi talar om när vi talar om historiska tegelmurverk och kan betraktas som en bakgrund till behovet att finna möjliga sätt att tilläggsisolera befintliga tegelbyggnader.

Kap. 5: Saltvittrande tegelmurverk

En genomgripande och pedagogisk genomgång av salter som kan förekomma i tegelmurverk presenteras i denna studie. Här ges en sammanställning av problem kring kristallisation som kan uppkomma i äldre murverk med illustrationer som visar hur de olika salterna kan kännas igen och bete sig. Då nygotiska tegelmurverk är överrepresenterade när man talar om saltskador och tegel ligger fokus på att förstå dess uppbyggnad och verkningssätt. Den här studien bygger på ett flertal fallstudier, företrädesvis kyrkor, som ingående har studerats under 2010-talet och kunskapen ligger till grund för tilläggsprojektet "Att förebygga saltutfällning genom hampakalkputs i äldre tegelbyggnader". Innan man kan vidta åtgärder mot saltproblem måste man börja med att förstå hur saltvittring fungerar.

Kap. 6: Hampakalk som byggnadsmaterial

I början på 1990-talet började hampakalk bli ett etablerat byggnadsmaterial i moderna såväl som historiska byggnader i Frankrike. Sedan dess har ett flertal studier utförts på hampakalk som material och byggheterna varierar. I Sverige har vi producerat hampa såväl som kalk sedan vikingatid men först på senare år har vi kombinerat just dessa två komponenter för byggnadsändamål, även om metoderna och materialet påminner mycket om liknande material som återfinns i Norden. Här presenteras hampakalk som byggnadsmaterial för första gången på svenska och studien baserar sig på

tidigare forskning, handböcker och studerade objekt för att visa hampakalkens många möjligheter vid såväl nyproduktion som reparation av historiska hus.

Kap. 7: Hampakalk för tilläggsisolering

Själva kärnan i forskningsprojektet har varit att studera huruvida hampakalk kan användas som ett kompatibelt material för att energieffektivisera traditionella byggnader av sten eller trä i Sverige. Ett antal fallstudier dels i laboratorium i Lund och dels på ett reveterat bulhus i Visby och en kyrka i Dalsland har ingått och resultatet av dessa presenteras här. Fokus har varit på tillämparhet och metodutveckling för själva användandet å ena sidan samt energieffektiviseringspotential och kompatibilitet å andra sidan. Slutsatsen som kan dras av de många fallstudierna är att hampakalk har stor potential som tilläggsisolering såväl invändigt som utvändigt i befintliga konstruktioner av såväl reveterade trähus som murade tegelhus, med en uppmätt energibesparing om 30-50 %. Då det i optimalfallet endast ersätter det inre skiktet av en tjock kalkputs kan man även bevara byggnadens stomme, utseende och funktion till fullo utan att dess kulturhistoriska värden äventyras och förloras.

Kap. 8: Hampakalk mot saltvittring

En parallell studie till energieffektivisering av tegelmurverk har inneburit att studera huruvida hampakalk kan användas som invändig putsbärare under offerputs där mursalter orsakar stor skada. Här presenteras en utvärdering av både provtytor och av en saltmättad tegelmur som byggt upp inom projektet. Då saltvittring ofta är en långsam process behövs här uppföljning under en lång tid framöver men de preliminära resultatet visar att salttransport från tegel genom hampakalk till kalkputs har ett helt annorlunda förlopp än direkt från tegel till kalkputs och att det genom ett förändrat mikroklimat kan ge färre antal kristallisationscykler nära ytan.

Kap. 9: Hampakalkens risk för mikrobiell påväxt

Såväl reveterade trähus som murade tegelhus är byggda med en diffusionsöppen konstruktion. Det innebär i princip att fuktbelastningen emellanåt kan vara hög inuti väggens konstruktion. För att studera huruvida detta innebär en risk för hampakalken vad gäller mikrobiell påväxt har ett flertal studier utförts i ett mikrobiologiskt laboratorium för att fastställa kritiska nivåer för exponering av fukt, såväl i tid som RF. Studien har visat att det krävs en såväl lång exponeringstid som ett högt RF innan hampakalken löper risk för påväxt då kalken ger hampaveden visst skydd. Genom att jämföra med fuktmätningar i fallstudierna kan riskkonstruktioner identifieras och undvikas.



Figur 2. Ett av ca 500 bulhus som har putsats i Visby innerstad.

Kap. 10: Hampakalk för brandskydd på reveterade trähus

Studien innebär en jämförelse mellan olika isoleringsmaterial som används vid tilläggsisolering av reveterade trähus med utgångspunkt i Visby innerstad, såväl av de vanligt använda moderna materialen mineralull och cellplast som av de biobaserade materialen linull och hampakalk. Brandförlopp och brandegenskaper har studerats vid Brandingenjörsutbildningen på LTH. Resultatet visar tydligt hur en putsad träbyggnad kan förlora det brandskydd som kalkputsen från början gav genom att använda sig av isoleringsmaterial som antingen inte skyddar tillräckligt mot brand (linull eller mineralull) eller som rent av bidrar till brand (cellplast). Här har hampakalken visat sig ha mycket goda egenskaper varpå det kan ge ett fortsatt brandskydd vid tilläggsisolering under kalkputs på reveterade trähus.

Kap. 11: Hampakalk för god akustik

Undersökningen har fokuserat på hur ljudmiljö värderas i kulturmiljö och huruvida det går att få en förbättrad akustik med kompatibla lösningar och hållbara material utan att förändra utseendet och ytmaterialet i en känslig kulturmiljö. Syftet med undersökningen var att undersöka materialet hampakalkens akustiska absorptions- och reduktionsförmåga för att ta reda på hur valet av hampakalk påverkar akustiska egenskaper i äldre byggnader. Det fanns inget syfte att hävda hampakalk som ett material med kulturhistoriska värden utan fokus har snarare varit på kompatibilitet med traditionella material och tekniker. Materialet hampakalk presterar i akustisk mening bra om man är ute efter ett relativt absorberande material, som utanpåliggande isolering eller som putsbärare och kan med sin breda funktionalitet konkurrera med de redan etablerade materialen, särskilt genom sin kompatibilitet ihop med material i känsliga miljöer samt som god putsbärare av kalkputs.

Summering av slutsatser

Det finns ett stort bestånd av byggnader, företrädesvis uppförda under 1700-talet fram till 1930-talet som uppförts dels av trästomme som putsats dels av tegel. Framförallt blev båda dessa byggtekniker allt vanligare under 1800-talet då städerna började byggas med ett utökat brandskydd. Idag är dessa byggnader ofta i behov av underhåll, renovering eller omrenovering och i samband med detta behöver de kunna anpassas efter moderna krav på komfort och energieffektivisering samtidigt som de besitter höga kulturhistoriska värden och att de därmed skall förändras/underhållas/renoveras med stor varsamhet, med traditionella material och metoder och kompatibla lösningar. Förändringar som skall ske måste uppfylla kraven om;

- ökad komfort vad gäller värme, fukt och akustik
- ett fortsatt fungerande brandskydd
- en fungerande konstruktion med kompatibla material där stomme, isolering och ytskikt samverkar såväl invändigt som utvändigt
- bibehållet utseende med autentiska material och ett värnande om kulturhistoriska värden såväl enskilt för varje byggnad som sett ur en helhet i en välbevarad kulturmiljö.

Studierna som har utförts inom detta forskningsprojekt har visat att hampakalk fungerar utmärkt för att tilläggsisolera historiska trä eller tegelbyggnader:

- Beroende på skiktets tjocklek, sammansättning och placering kan energiförbättring om 33-55 % uppnås jämfört med originalutförandet med massiv kalkputs på trästomme eller tegelmurverk.
- Materialet fungerar kompatibelt med såväl stommens material som med traditionell kalkputs och kan tillredas och appliceras på samma sätt som putsen och därigenom utgöra en del av det nya puts-skiktet.
- Det är lätt att applicera och arbeta med, det kan bäras av samma putsbärare som det rena kalk- eller lerbruket tidigare gjort och det kan appliceras i en anpassad tjocklek och form utifrån vad originalkonstruktionen medger.
- Tilläggsisolering av hampakalk ger en bra fuktbalans i såväl murverket som trästommen sedan byggfukten torkat ut, förutsatt att det kombineras med en för konstruktionen anpassad kalkputs.
- Som invändig putsbärare på saltskadat tegelmurverk ger hampakalken ett stabilare mikroklimat med minskade saltkristallisationscykler och ett fördröjt skadeförlopp jämfört med offerputs av kalkputs direkt på murverket.
- Hampakalk kan både synligt och som putsbärare bidra till en god ljudmiljö med sina relativt ljudabsorberande egenskaper.

- Hampakalk kan ge ett fortsatt gott brandskydd till reveterade trähus genom ett förutsägbart och långsamt brandförlopp.
- Hampakalk kan användas där kulturhistoriska värden värdesätts och skall bevaras. Det gäller framförallt byggnader som står inför renovering eller omrenovering, där ett material som är kompatibelt med traditionella stommar och traditionell kalkputs skall fortsätta utgöra värdebärande element för byggnaden.



Figur 3-4. Ett traditionellt putsat bulhus med snedställda ribbor som bär putsen kan vid behov av omputsning få ett jämnare inomhusklimat och förbättrad energiprestanda genom att tillägga hampakalk mellan ribborna istället för tjock puts och ändå få samma typ av kompatibla konstruktion som tidigare, med bibehållen traditionell kalkputs och kalkfärg som värnar byggnadens kulturhistoriska värden.





2 Reveterade bulhus i Visby

Författare: Sofie Nygren & Kristin Balksten

Att revetera trähus med ett lager kalkputs har visat sig vanligt förekommande i bl.a. Visby sedan 1700-talet. Ännu finns över 500 bevarade reveterade bulhus i Visby innerstad. En kartläggning av revetering som metod i allmänhet och inventering av putsade trähus i Visby i synnerhet ligger till grund för denna artikel. Fokus ligger på hur reveteringar har gjorts, hur de har förändrats och hur de har bevarats och utvecklats.

Introduktion

För ett forskningsprojekt som studerar tilläggsisolering av putsade historiska trähus är det av yttersta vikt att förstå det byggnadsbestånd som utgör underlag för kunskapsbehovet. Det innebär ett behov av kunskap om trähusbebyggelsen i Visby innerstad med fokus på dess material i stommar och fasader. Som ett led i detta utfördes en magisteruppsats med titeln "Reveterade hus i Visby innerstad" av Sofie Nygren 2017 vid Kulturvård, Campus Gotland, inom ramen för detta spara & bevara-projekt om tilläggsisolering av historiska trähus med hampakalk. Studien utgår från Visby och redogör för revetering ur ett historiskt perspektiv; vilka putsbärare som har använts, vilka typer av bruk och tillsatser som användes och inte minst – varför byggnaderna reveterades. Även förändringar med tilläggsisolering har studerats liksom hur det kan ha påverkat byggnadens skick.

Studien är baserad på:

- Arkivstudier
- Litteraturstudier
- Innerstadsinventeringen från 1995
- Grundläggande inventering av bulhusen i norra delen av Visby innerstad
- Materialanalyser av originalputs

Bakgrund och syfte

I Visbys innerstad finns byggnader av varierande storlek, ålder och ursprunglig status. Många av dessa byggnader har en sak gemensamt; de har en stomme av trä och fasadbeklädnad av puts. Ungefär hälften av innerstadens hus har denna sammansatta konstruktion men det finns nästan lika många varianter som det finns byggnader. Eftersom putsen inte har en evig livslängd, har flertalet av de reveterade byggnaderna putsats om en eller flera gånger. I vissa fall har de putsats om i sin helhet, i vissa fall har ny puts lagts utanpå den äldre. I dagsläget finns det inte många synliga putser som skulle kunna vara original, däremot finns det troligtvis kvar ett flertal, dolda under nyare putslager.

Det finns en tydlig trend att många av de reveterade byggnaderna har fått fasaderna omputsade och tilläggsisolerade i modern tid. Isoleringsmaterialen som använts

har varit allt från träullsskivor, mineralull och cellplast och putsen har utgjorts av kalkputs, hydraulisk kalkputs, KC-puts och (plastbaserad) organisk tunnputs. Vad som händer i konstruktionen när den tilläggsisoleras, och vad som händer med de kulturhistoriska värdena när moderna material adderas till de gamla träbyggnaderna kan man läsa mer om i artikeln "Hampakalk för tilläggsisolering" som beskriver ett antal mätningar och fallstudier.

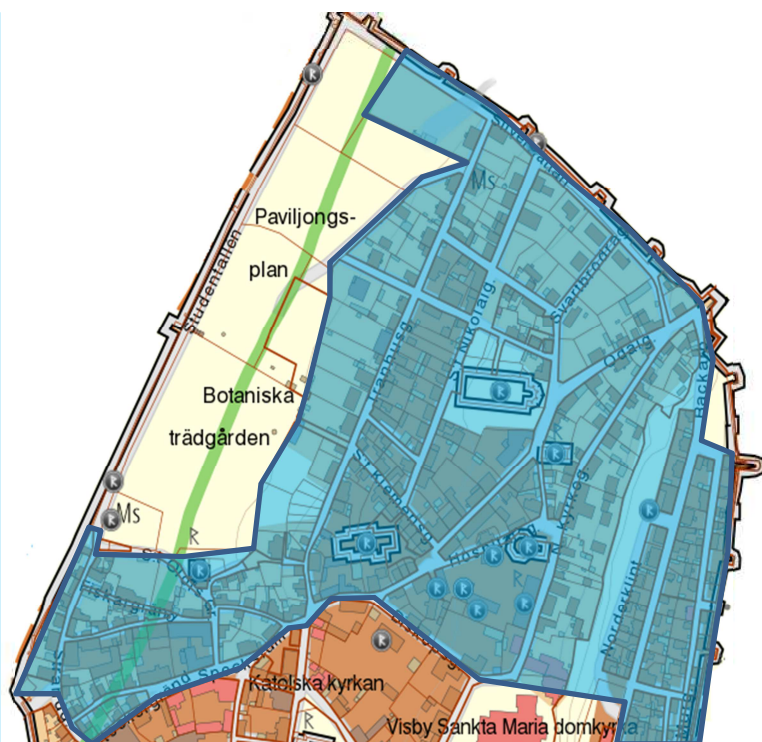
Som Byggnadsordningen för Visby poängterar: *"Kraftigt ombyggda hus minskar fastighetens, byggnadens och i förlängningen stadens autenticitetsvärde, vilket inte går att återskapa. Många små, ogenomtänkta förändringar kan leda till att stadens äkthet, läsbarhet och attraktionsvärde går förlorad"* (Hallberg 2010). Därigenom är det av stor vikt att förstå originalkonstruktioner och dess material samt fastställa vad som kan göras när behovet av renovering och underhåll finns för de reveterade husen.

Reveterade bulhus i Visby innerstad

Knappt hälften av Visby innerstads träbyggnadsbestånd har inventerats inom ramen för detta projekt, för att skapa en fördjupad kunskap om byggnadsbeståndet. Till inventeringen har kvarteren norr om Visby domkyrka valts. Dessa kvarter representerar träbebyggelsen i Visby på ett bra sätt. Här finns allt från uthus, mindre stugor ursprungligen tillhörande de lägre samhällsklasserna och större byggnader som representerar överklassens/borgerlighetens byggande under tiden kring förra sekelskiftet.

Att innerstaden har slutna gårdar, ofta avgränsade av höga plank, murar och staket, kan ses som en avgränsning i inventeringen då det i många fall endast är gatufasaderna som är tillgängliga för undersökning och dokumentation. Ett problem med detta är att det troligtvis är på skyddade fasader mot innergårdar och på uthus den äldsta putsen kan påträffas.

De kvarter som ingår i inventeringen är i figur 1 markerade med blått. Kvarteren är Biskopen, Bommen, Fiskaren, Flora, Gluggen, Höjden, Kantorn, Kastalen, Klinten, Klockaren, Kruttornet, Kräklan, Muren, Mythuset, Norrbacke, Norrtull, Pomona, Porten, S:t Klemens, S:t Nikolaus, S:t Olof, S:ta Gertrud, S:ta Maria, Silverhättan, Skomakaren, Slupen, Smedjan, Specksrums, Säckan,



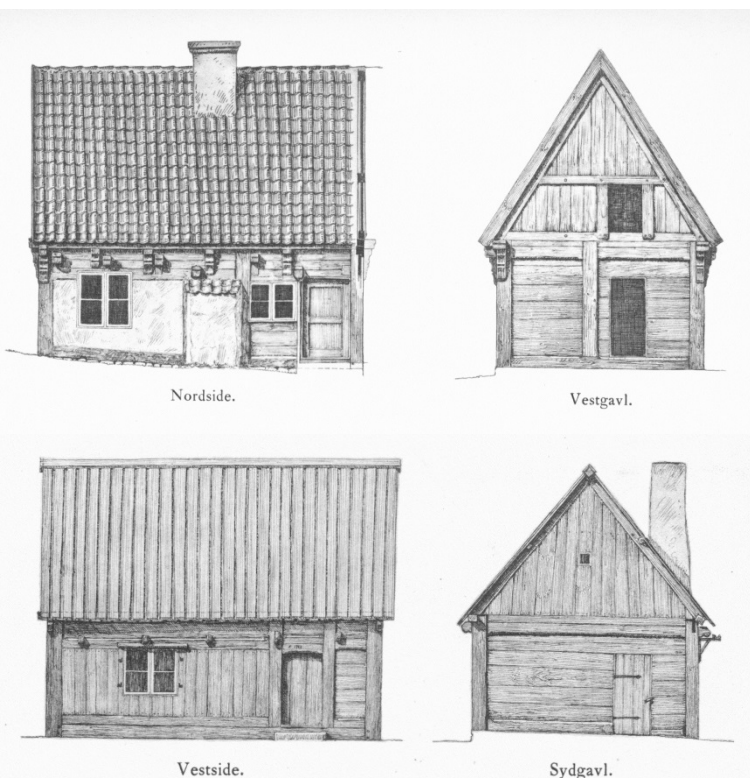
Trankoket och Vinkelhaken. Efter att byggnader som inte har stomme av trä och putsade fasader sorterats ut återstår 188 byggnader.

Figur 1. Norra delen av Visby innerstad. Det blå området markerar de kvarter som ingår i uppsatsens inventering. Bildkälla: FMIS med bearbetning av Sofie Nygren

Byggnadsbeståndet i Visby innerstad omfattar drygt 500 små trähus, uppförda under perioden 1500-1900 och ca 370 av dess uppfördes under perioden 1720-1830 då trästaden Visby tillkom med flera nya stadsdelar innanför ringmuren (Hallberg 2010). Den vanligaste träbyggnadstekniken som använts är skiftesverkstekniken som lokalt kallas för bulhus.

Att putsa trähusen blev vanligt förekommande i Visby från 1860-talet. Då överputsades många av de äldre trähusen. Detta gav såväl status som brandskydd och ökad värmekomfort genom tätare väggar. Putsen är antingen gjord som slätputs eller som spritputs. De trähus som uppfördes under 1800-talets senare hälft putsades som regel från början (Hallberg 2010).

Reveterade stommar kan även utgöras av liggtimmer med laxade knutar, stående eller liggande plank samt fackverk med spräckpanel (Paulsson 1938, Björk m.fl. 1992)



Figur 2. Bulhus i Visby innerstad Mellangatan respektive Norra Murgatan, illustrerade 1909 resp. 1925. Här syns konstruktionen med viss variation i väggarnas utformning. Illustration: Clemmensen (1937)



Figur 3. Reveterat bulhus i Visby, under omputsning 2003. Här syns inre ribbningen bevarad och mellan ribborna ligger kalkputs med tegelskåvor instuckna i bruket. Foto: Kristin Balksten

Revetering ur ett historiskt perspektiv

Att revetera eller rappa trähus med puts verkar ha varit relativt vanligt i Sverige under flera hundra år (Rückerschöld 1780, Paulsson 1938). Enligt Paulsson (1938) började man revetera byggnader från 1700-talet och framåt, för att efterlikna den putsade tegelarkitekturen.

Vinsterna med att putsa ett trähus är och har varit många:

- Det är virkesbesparande att undvika panel.
- Puts av kalk, lera eller kalkcement är brandskyddande och ljuddämpande
- Putsen tätar mot konvektion och ger bättre värmeekonomi.
- Det ger ett uttryck som av stenhus vilket ger högre status.
- Puts har, rätt utförd, en mycket lång hållbarhet på flera hundra år.

Mellan åren 1754–61 reveterades smedbostäderna vid Stora gatan i Lövså bruk (Unnerbäck 1998). Putsningen av byggnaderna är troligtvis bland de tidigaste kända exemplen i Sverige på revetering i större skala. Däremot förekom det i mindre skala mycket tidigare vilket styrks av bl.a. Rückerschöld (1780). Rückerschöld var verksam på Stjarnsund i sydöstra Dalarna och har skrivit en mycket utförlig text om hur han putsat byggnader på fastigheten. I texten anges *”att klä byggnaderna med puts är ett sedan länge beprövat sätt att göra husen både prydliga och täta. Det är sedan urminnes tider känt att regn och snö inte fastnar på en vägg som klätts med ett bruk av sand och kalk”*. Det framgår därigenom att revetering pågick under en lång period före att texten skrevs 1780.

Huvudbyggnaden på Skogaholms Herrgård på Skansen är uppförd i Närke på slutet av 1600-talet och reveterades på 1790-talet för att efterlikna en sandstensbyggnad (Skansens hemsida, 2017-04-28).

I norra Sverige uppges revetering kommit på modet under 1800-talets senare del. Det huvudsakliga byggnadsmaterialet var trä men byggnaderna putsades och efterliknade stenhus (hallahus.se, 2017-04-28).

Tidpunkten för när byggnaderna i Visby började reveteras verkar vara ungefär densamma som anges för norra Sverige och Skogaholms herrgård. I äldre byggnadsordningar från 1800-talet anges det att man bör uppmuntra byggande i sten och att om hus uppförs i trä bör de förses med kalkrappning (Gotlands museums arkiv). Tidpunkten stärks av den husklassifikation som gjordes 1785. Av de inventerade byggnaderna som har någon äldre uppgift från 1785 omnämns de flesta som trähus under tak av trä, något som tyder på att byggnaderna ännu inte reveterats. Av skriftliga uppgifter och inventeringar har det gått att utläsa att de flesta byggnaderna putsats från 1800-talets andra hälft fram till de första årtiondena på 1900-talet.

Utomlands, åtminstone i England, har man putsat trähusen mycket tidigt. Uppgifter finns om att ”rough-casting” förekom minst så tidigt som under perioderna Tudor år 1485–1603 och Stuart år 1603–1714 (Millar 1897 [1998]). Tillvägagångssätt och materialval liknar till stor del hur Rückerschöld beskriver att han har gått tillväga.

Materialval till puts på trähus

I Rückerschölds redogörelse (1780) för hur man kan putsa trähus tas det upp att det finns ett misstroende mot kalk, att det sägs kunna orsaka röta i trä. Detta anser Rückerschöld vara osant, eftersom rötan återfinns vid skorstenar där vatten kan droppa in och bakom spisar där allehanda fyllnadsmassor lagts, för att spara tegel och murbruk. Bruk av kalk lämpar sig mycket väl tillsammans med trä. Att ett bruk av kalk och sand står mot regn och snö mycket bra, uppges vara *”av urgammal erfarenhet känt”* och vidare beskriver Rückerschöld att tegelmjöl med gott resultat kan tillsättas i kalkbruket, för att det skall hårdna bättre och fortare.

Att ett luftkalkbruk är mycket mer plastiskt/elastiskt än ett bruk av cement har länge varit känt (Balksten 2005, Granholm 1953). Detta har stor betydelse då man putsar på trä eftersom konstruktionen kan röra sig. Likaså att kalkputs är mer genomsläppligt för fukttransport än KC-puts är också känt (Balksten, Magnusson 2002) och kalkputs har alltid varit att föredra för utvändiga puts på bakomliggande konstruktioner av trä (Granholm 1953, Balksten 2007).

Att använda lera och/eller fibrer som tillsats i kalkbruk verkar ha förekommit både för att dryga ut bruket och göra det billigare, samt att ett bruk av lera eller med lertillsats biter sig fast bättre i träväggar än ett av bruk endast av kalk och sand. Bl.a. Rückerschöld skriver om ett kalkbruk med inblandning av sågspån och en stor mängd lera för rappning. Tillsatsen av myrstack till bruket beskrivs som av Wäsström (1780) på detta vis: *”barren med det övriga fnasket, som finnes uti myrstackar, äro ej allenast lagom stora til at, under torkningen, sammanhålla rappningsbruket, utan äga de ock tillika, inom sig, någon kådaktig fetma, och blifva dessutom af ångan ifrån den uti myrstackar befintlige Mastiken, så impregnerande, at de både befordra en snar uttorkning och äro tillika det mest tjenlige medel til at inrån rappningsbruket afhålla regnvatten”*.

Fram till 1700-talet användes generellt mycket feta bruk vid putsning av stenbyggnader (Balksten, Mebus 2013). Hur man gjort på trähus har dock inte specifikt studerats, förrän nu. Under 1700-talet och framåt började magrare bruk att användas och såväl ballastens karaktär och mängd ändrades. Spritputs har däremot ofta gjorts fet, 1:1:1 (kalk/sand/spritgrus) ända in i modern tid. Mag-

rare tjockputs och fet spritputs har iakttagits på ett flertal av de undersökta husen.

År 1780 beskrivs ett nytt sätt att putsa hus med ett bruk av kalk, lera, skuren halm och sågspån. Till blandningen användes 3 tunnor tjockt lervatten till 1/2 tunna kalk. Mängden halm och sågspån anges inte, eftersom man kan ta mer eller mindre beroende på hur tjockt och stadigt man vill ha bruket. I förhållande sågspån skall 1/4 halm tas. Rückerschöld beskriver att försök gjorts med ännu mindre kalk än en halv tunna. Resultatet av denna blandning var att bruket sprack mycket vid torkningen, men satt fast mycket väl i väggen, trots att den endast råhuggits. Sprickorna uppges vara av en karaktär som inte gör någon skada, utan tvärtom, med sprickorna behöver bruket inte repas, utan nästa påslag får bra fäste ändå.



Figur 4. Lerbruk i grundningen förekommer på reveterat hus i Skyttmon i Jämtland. Notera även ribbornas form med smala sidan inåt. Foto: Kristin Balksten

Putsbärare på trähus

För att putsen skall kunna sitta kvar på en vägg som rör sig, krävs det putsbärare av något slag, samt ett bruk som är något plastiskt/elastiskt. Det har förekommit en stor mängd olika tekniker för att få putsen att sitta kvar på träet. Att åldersbestämma en puts utifrån vilken putsbärare som använts är till viss del problematiskt, då de äldre teknikerna inte verkar ha slutat användas då det kommit nya. Däremot går det till viss del att åldersbestämma, eftersom man ju vet på ett ungefär när de nyare putsbärarna uppfanns och tillverkades.



Figur 5. Bruk från S:ta Gertrud 8. På den västra fasaden finns en tjock lerputs under de yttre lagren av kalkputs och cementputs. I lerlagret som är omkring 5 cm tjockt finns stora lerklumpar och armering av vad som troligtvis är halm. Foto: Sofie Nygren

Råhuggning: Den allra enklaste tekniken för att ge putsen något att bita fast i är att hugga små jack direkt i stommen. Då inget behöver tillföras, blir denna metod förutom enkel, även förhållandevis billig. Litteratur från 1930-talets andra hälft anger att tekniken var vanligare förr, då den inte är vidare tillförlitlig eftersom spånen kan lossna från underlaget (Hökerberg 1939). Enligt Paulsson (1936) är denna metod mer tillförlitlig vid putsning med lera, då lerbruket biter sig fast bättre i träet.

Tekniken har använts både på korsvirkesstommar, timrade byggnader och på bulhus. På bulhusen kan man se huggmärken både i väggfälten men framför allt på stolparna. Metoden gör det möjligt att putsa förhållandevis tunt. Genom att kombinera huggningar i skiftesverksstommen med exempelvis ribbor som ger en tjockare puts blir det möjligt att få en helt slät fasad. Det förekommer även att exempelvis medeltida puts har

råhuggits för att ny puts skall fästa i den äldre putsen. Detta ses då som små jack i den underliggande putsen.



Figur 6. Genom att hugga med yxa i träet bildas små flisor/spån som bruket kan bita sig fast i. Tekniken har använts på timmerstommar och på skiftesverkshusens bulor och stolpar. Här syns råhuggning på ribbor. Foto: Kristin Balksten



Figur 7. Råhuggning på hammarbandet på ett bulhus. Foto: Sofie Nygren

Pliggar och spik: Tillsammans med råhuggning verkar träpliggar och spikar vara de äldsta teknikerna för att få putsen att fastna på väggen. Att slå in spikar i fasaden och sedan kröka dem beskrivs bland annat av Rücker-schöld (1780). Mellanrummet mellan spikarna anges till "4 á 5 spik på sträck-alnen". Översatt till dagen mått blir mellanrummet mellan spikarna ca 10-15 cm. Mellan spikarna har det också förekommit att man snurrar järn-tråd vilket gör att putsbruket hålls på plats mot underlaget mycket effektivt.

Pligging utförs med en speciell hammare med en vass, spetsig del som kan slå hål i träet med ca 10 cm mellanrum. Därefter slås träpluggar in med samma hammare. Pliggarna skall sticka ut ca 2 cm, samt ha en lätt lutning uppåt (Bjerking 1974). I likhet med råhugg-

ning skriver Paulsson (1936) att detta inte är fullständigt tillförlitligt, varvid metoden till stor del övergetts.



Figur 8. Små träpliggar omkring 5 cm långa slås in väggarna, för att putsen ska ha något att fastna på. Pligging är en bättre metod än råhuggning när ett kalkbruk används. Foto: Kristin Balksten

Ribbning, spräckpanel, pärtor och ris: Ribbning är en förhållandevis enkel metod för att fästa putsbruket på väggen. Metoden går ut på att ribbor spikas fast på fasaden med ett mellanrum mellan varandra på ca 2-10 cm. Måtten på ribborna kan ofta iakttas vara omkring 0,5-1 tum tjocka. Ibland ses även ribbor som har formen av en parallelltrapets, med den bredare sidan utåt, se figur 4. Detta gör att putsen biter sig fast mycket bra och pga. ribbornas form kan den inte falla utåt från väggen. Ribborna kan även sättas i flera lager. De sätts då vinkelrätt mot varandra, så att ett rutmönster bildas. Detta ger ett mycket tjockt putslager (Paulsson 1936).

Om ribborna/läkten är för grov finns dock en viss risk för rörelse i putsen. Vanligen fästs ribborna diagonalt, riktade uppåt vid husknutarna. I likhet som vid pligging kunde ett armerat lerkalkbruk slås på som grundning och ett magert bruk som ytpåslag (Paulsson 1936), se figur 4.

Ribbning verkar ha varit den allra vanligaste putsbä-raren i Visby, av inventeringen att döma. Däremot uppger Paulsson att metoden används sällan eftersom den är mer arbetssam än modernare tekniker. Om det stämmer så borde de reveteringar som har denna teknik vara gjorda i början av 1900-talet eller tidigare, alternativt har ribborna sparats vid restaureringar.

Ribbor som putsbärare borde också vara mycket lämpligt på skiftesverkshus eftersom ribborna "bygger" så mycket att det väl fyller ut mellan stolparna som håller ihop konstruktionen. Detta ger ett slätt uttryck för den reveterade byggnaden vilket kan ge en känsla av stenhus.



Figur 9. Tätt sittande råhuggna ribbor med puts emellan. Ribborna fäst vanligtvis diagonalt mot väggens plank eller timmer. Ofta är ribborna en aning koniska fästa med den bredare sidan utåt. Det ger mycket bra fäste för putsen. Ibland har mellanrummet också fyllts ut med exempelvis tegelskärvar. Foto: Kristin Balksten

Begreppet spräckpanel härstammar från den tid då det var god tillgång på mycket breda bräder. För att dessa skulle kunna användas som underpanel krävdes det att de spräcktes itu till smalare bräder. Panelbräderna är vanligtvis omkring 10 cm breda, och 19-25 mm tjocka. De spikas vinkelrätt eller diagonalt mot underlaget, med ett mellanrum på ca 10 mm. Vid utvändig putsning bör, enligt bl.a. Paulsson (1936), en asfaltpapp spikas mellan vägg och spräckpanel så fukten inte kan ta sig in i brädväggen.



Figur 10. A) Spräckpanel som sattes upp på Silverhättan 1 i Visby på 1930-talet. På spräckpanelen syns spår av vassmattans rör. På bulhusstommen syns spår av äldre ribbning. Den rötskadade hörnstolpen var dold bakom en lagning av cementputs. B) Spräckpanel i tak som underlag för kalkputs. Foto: Kristin Balksten

I Finland angav Sjöström 1891 att även pärtor kunde användas som putsbärare på timmerstomme, då de spikades korsvis över varandra på ett inbördes avstånd av pärtans bredd.

Wijnbladskrev 1805 att man kunde spika björkris som putsbärare på väggen och att det är ansett som det säkraste sättet att bära puts. Björkriset skulle tas av det som *"fären vintern förut till löven avätit"* och fastspikas under smala spillror med 3 tums hand-hammarspik.

Rörning: Vass har länge använts som putsbärare. Redan 1780 anges rörning som ett vanligt sätt att få putsbruket att fästa på väggarna. Hur vassrören skall fästas beskrivs dock inte mer noggrant än att det ska göras som vid rörning av gipstak.

Den enklaste formen är enkelrörning. Det är som det låter, ett lager med skalade vassrör med en tjocklek av minst 8 mm, som spikas vinkelrätt mot träet med ett mellanrum på ca 10 mm. Vinkelrätt mot rören fästs med 20 cm mellanrum en galvaniserad järntråd. Till fastsättningen av järntråden användes en plathuvad spik, som spikades med 15 cm mellanrum (Paulsson 1936).



Figur 11. Rörning av trävägg bevarad under Drottningholms teaterns originalputs från 1760-talet. Foto: Kristin Balksten

I vissa fall kunde två lager vassrör användas som putsbärare. Detta kallas dubbelrörning. Det andra lagret med vassrör fästs då vinkelrätt mot det föregående. Skarvarna fästs med mjuk ståltråd (Dührkop m.fl. 1966).

För att få enkelrörning hållbar för utomhusbruk anger Paulsson (1936) att det utanpå detta bör fästas ett galvaniserat trådnät, se exempel i figur 12. Istället för dubbelrörning kan också det yttre lagret vassrör på samma ersättas med en färdig reveteringsmatta.

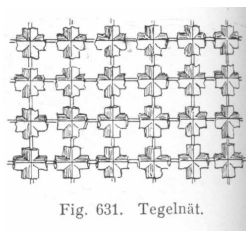
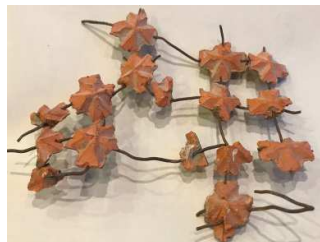
Nät, vassmattor och reveteringsmattor: Olika typer av metallnät har varit, och är fortfarande, vanligt förekommande som putsbärare och armering. Olika varianter av kyckling- och hönsnät har ibland spikats utanpå vassmattor eller utanpå ribbning. Användning av nät i olika varianter verkar varit relativt vanligt förekommande under hela 1800-talet fram till idag, då ett nät med fyrkantiga rutor ofta används i kombination med något skivmaterial.

De första reveteringsmattorna kom på marknaden omkring förra sekelskiftet. Mattorna tillverkades maskinellt. Bredden på mattorna var vanligen 1,8-2 meter och längden var 10 m. Vass sammanvävt med järntråd eller järnträdsnät verkar ha varit den vanligaste typen under första halvan av 1900-talet. Före 1930-talet förekom det också reveteringsmattor av fyrkantslister.

Användandet av reveteringsmattor med vass verkar ha tunnats ut kring mitten av 1900-talet, då bruket att använda en trädnätsmatta förstärkt med tunna järn, Sare-matta, istället började användas (Bjerking 1974). Denna typ av reveteringsmatta beskrivs av Granholm (1953) som ett finmaskigt kycklingnät kombinerat med ett svetsat grovmaskigt armeringsnät av 2-3 mm trådar. Infästningen i väggen skedde med speciella spikar med en liten distans. Sare-mattan uppges ha ersatt tidigare putsbärare, exempelvis spräckpanel och rörning, eftersom träet i spräckpanelen ruttnar om det är fuktigt under lång tid. För att undvika rötskador i stommen fäste man en asfaltpapp under putsen, vilket från 1940-talet vanligen var ett aktiverat kalkcementbruk som slogs på till 2-3 cm tjocklek (Granholm 1953).



Figur 12. Rörning på spräckpanel som sattes upp på 1930-talet i Visby. Foto: Kristin Balksten



Figur 13. Tegelnät. Foto: Kristin Balksten samt Illustration: Hökerberg 1938.

Det fanns även ett speciellt tegelnät som kunde användas (Hökerberg 1938) för att få putsen att fästa på trä.



Figur 14. Nät som både bär och armerar putsen. Foto: Kristin Balksten

Reveteringstegel: Det består av tunna tegelplattor som fästs på fasaden med spik. Ibland har de ett färdigt spikhål, annars kröks spiken runt kanten. När reveteringstegel används på en vägg av trä, kan den putsas direkt, ingen grundning behövs. Tekniken var vanlig framförallt under det sena 1800-talet, fram till 1930-talet (Granholm 1953, Bjerking 1974). Teglen var 12x25 cm eller 25x25 cm, med en tjocklek på 2,5-5 cm.



Figur 15. Reveteringstegel på ett trähus på södra Öland. Foto: Kristin Balksten

Inventeringen som gjorts visar att denna teknik inte verkar ha förekommit i Visby. Däremot har den använts exempelvis på Skogaholms herrgård som uppfördes 1680. 1790 putsades byggnaden, med reveteringstegel som putsbärare (Skansens hemsida 2017-06-26).

Skivmaterial: Som putsbärare har de förekommit och förekommer än idag i en mängd olika varianter och material. Trots att de äldsta typerna funnits länge, får de i sammanhanget ändå ses som förhållandevis moderna. De första sorterna kom på marknaden under 1900-talets början.

Plattor av hårdpressad halm beskrivs i (Paulsson 1936) som ett material med god isoleringsförmåga och som ger god vidhäftning för puts. Däremot anges de vara mycket fukt känsliga. Varianter med asfaltimpregnerad yta förekom också, men inte heller dessa var fullständigt vattentäta. Av den anledningen anger Paulsson att de inte skall användas till utvändigt isolering och revetering av trähus.



Figur 16. Trällitplattor som putsbärare på nyuppfört trähus 2016. Foto: Kristin Balksten

Trällsplattor *Trällit* är ett material som i stor utsträckning används än idag. Plattorna består av sammanpressade hyvelspån av trä med cement som bindemedel. Isolermågan är god, och de ger även bra vidhäftning för putsen. Om ett nät fästs utanpå plattorna minskar risken för sprickor. Storleken på plattorna har varierat främst beroende på fabrikat. En vanlig storlek på trällsplattor 1936 var 50 x 200 cm och de förekom i olika tjocklek om 3, 5, 7 resp. 10 cm.

Omputsning och tilläggsisolering

Av inventeringen har det visat sig att det under 1970-talet var relativt vanligt att putsbärare i form av ribbor sparades vid omputsningar. I vissa fall har även den återstående gamla putsen mellan ribborna sparats. Utanpå har det spikats ett nät och sedan har den nya putsen slagits på.

I mer modern tid verkar det istället varit vanligt att all puts och putsbärare tagits bort, kanske för att få plats med isolerande skivor utan att bygga utåt för mycket. I vissa fall uppges det att vägg och ribbor är så ruttna att

det måste bytas ut delar av väggen. Istället för ribbor har då putsskivor och nät satts som putsbärare med följden att alla gammal puts och dess putsbärare avlägsnats.

När Radio P4 gjorde intervjuer med murare visade det sig att det är relativt vanligt att all gammal kalkputs bankas ned, fasaden isoleras med mineralull och putsas därefter med ett KC-bruk (Radio P4 Gotland, 2016-04-18).

Från början av 1900-talet och framåt utvecklades och förändrades putsbärarna. Av litteraturen att döma blir olika isolerande skivmaterial allt vanligare att använda som putsbärare från omkring 1930-talet (Paulsson 1936, Holmgren m.fl. 1947). Att materialen ska vara isolerande uttrycks allt tydligare i takt med att även isoleringsmaterial av olika slag utvecklas.

I Visby finns exempel på att man tilläggsisolerat många av husen. De tidiga exemplen är ofta med träullitsskivor och KC-puts eller kalkputs men det förekommer många exempel där mineralullsskivor och putsnät utgör underlag för KC-puts eller NHL-puts samt även exempel med cellplast och organisk tunnputs. För att mineralullen inte ska vätas av inomhusfukt placeras en diffusions-spärr av plast mellan träväggen och mineralullen. Även cellplast kombineras med en inre ångspärr av plast. Dessa båda konstruktionstyper kan betraktas som enstegstättade fasader vilket kan vara riskabla konstruktioner, eftersom inomhusfukten inte längre kan diffundera ut. Om stommen är kall, kan det hända att fukten kondenseras mellan träväggen och diffusions-spärren (Hagentoft 2002). Då husen i Visby ofta bara används sommartid är detta en tydlig riskkonstruktion.



Figur 17. Tilläggsisolering med mineralull och KC-puts. På den här typen av fasad syns ofta mekaniska skador. Foto: Kristin Balksten



Figur 18. Rötskadad syll bakom tät betongsockel. Foto: Kristin Balksten



Figur 19. Rötskadad stomme bakom putsskada. Foto: Kristin Balksten



Figur 20. Lagning av kalkputs på ribbor. Lagningen utförs med KC-bruk utan fuktspärr. Risk för lokal framtida rötskada. Foto: Kristin Balksten

Vid tilläggsisolering måste hänsyn tas till konstruktionen i sin helhet, kompatibla material och lösningar behöver

användas. Vad som är bäst lämpat vid tilläggsisolering av reveterade gamla trähus är inte fullt kartlagt. Det är dock vanligt förekommande att rötskador uppkommit bakom täta KC-putslagningar i bulhusstommarna i Visby. Likaså är det alltför vanligt att man oreflekterat väljer att laga med tätare KC-bruk igen, trots rådande föreskrifter och kunskapsläge (Radio P4 Gotland, 2016-04-18).

Att det finns många problem med enstegstätade fasader med cellplast och tunnputs finns det flera studier som visar (Gustavsson 2007). När det dessutom sker förändringar på insidan väggarna med täta ytskikt är riskerna för skador välkänd.

Skador i puts och stomme

I likhet med att vatten i ett murverk kan laka ur kalken ur murbruket (Balksten 2007), så kan kalken i putsen också lakas ut om den är alltför fuktig under lång tid. Detta kan hända då putsen täcks av ett material med allt för låg genomsläpplighet, oftast ett cementinnehållande bruk eller plastfärg. När kalken lakats ut ur bruket, helt eller delvis, blir den återstående putsen sandande och mjölig helt utan hållfasthet. Den urlakade putsen kan sedan suga ännu större mängder vatten, och skador i stommen kan uppstå. Det är inte säkert att detta kan ses utanpå putsen, framför allt inte i de fall där en ytputs med hög andel cement använts, eftersom den kan bära sig själv, som ett hårt skal.

Det är däremot inte bara på de byggnader som har en cementinnehållande ytputs en urlakning av underliggande bruk kan inträffa. Det kan också hända på spritputsade fasader, där grundning och utstockning gjorts med ett magert bruk. Eftersom spritputsen vanligtvis görs med blandningsförhållandena 1:1:1 i Visby blir den något tätare och mindre fuktgenomsläpplig än föregående lager. Problemet är egentligen inte det tätare ytskiktet, utan det allt för magra undre bruket.

En stor del av de byggnader som ingått i uppsatsens inventering har putser som är på detta vis, mjöliga och sandande bakom ett hårdare skal. Detta har kunnat ses i skador eller infästningar för takavvattning. Många av byggnaderna har puts utan synliga skador, vilket gjort att en sandande puts inte kunnat ses. De har däremot låtit "bom" då man knacker på putsen. Detta beror troligtvis på sandande, urlakad puts eller att fasaden är tilläggsisolerad.

När en kalkputs blir överputsad med en cementinnehållande puts kan det också hända att den hårdare putsen lossnar från underlaget (Fielden 1979). Detta beror på att cementen inte är lika plastisk som kalkbruket. Kalkbruket kan absorbera de rörelser som uppstår då stommen fuktas eller torkar ut, men cementen är för stum för att följa med i rörelserna och lossnar, ibland i stora sjok.

Ofta är det en kombination av både urlakning och rörelse som gjort att skadorna i putsen uppstått. Eftersom cementputsens är hårdare än kalkputsens spricker den ofta när konstruktionen rör sig. I sprickorna kan vatten ta sig in i de underliggande lagren men har ingen väg att ta sig ut, vilket till sist orsakar urlakning av kalken och/eller rötskador i stommen. Skador i putsen kan också uppstå på grund av frostsprängning (Balksten 2005). Detta kan bl.a. inträffa då byggnaden blivit invändigt isolerad med ett allt för effektivt material (Hagetoft 2002).

De skador som kan uppstå i den putsade trästommen är framför allt rötskador och svampangrepp, vilka båda beror på fukt. Skador likt dessa kan uppstå då ett byggnadsmaterial används felaktigt, exempelvis genom täta ytskikt, vilket hindrar uttorkning (Balksten & Broström 2004). Ett blött byggnadsmaterial som ligger an mot stommen kan orsaka rötskador, vilket kan ses bland annat i syllstockar där sockeln lagats eller putsats med ett cementinnehållande bruk, eller där gjutna trappor legat an mot syllen, samt på hörnstolpar där gatumurar möter fasaden.

Genom uppsatsens inventering har det visat sig att ett vanligt material i murar och murade stolpar i Visby innerstad är silikattegel. Kalkputs fäster inte vidare bra på silikattegel, varför de har putsats med cementputs. Ofta har byggnadens hörnstolpar rötskador där de ansluter till stolpar och murar med cement, även om hörnstolpen utåt varit överputsad med kalkputs.

Rötskador kan också ses i väggfälten, där skador lagats med cementbruk eller hela ytan putsats över med en cementhaltig puts. Skadorna kan vara mer eller mindre exakt bara på de områden där cementbruk använts, vilket gör det tydligt att cementputs inte är kompatibelt med trä. Så som det beskrivits i avsnittet om urlakning så behöver cementputsens inte ens ligga an mot träet för att rötskador skall kunna uppstå. I mureri 1953 står det att det är vanligt med rötskadade träväggar där fukt samlats, och inte kunnat ta sig ut på grund av ett allt för tätt ytterskikt. Cement som fasadputs anges som olämplig. Det visas tydligt i Balksten och Broströms artikel där ett exempel från restaureringarna av putsen på fastigheten Silverhättan 1 visas. Där det var cementputs var stommen i princip helt upprutnad men där det var kalkputs var stommen oskadd. Skillnaden mellan de två brukstyperna sågs som en tydlig kant.

Rötskador i stommen kan också uppstå på grund av inomhusfukt som inte kan diffundera ut ur stommen, antingen på grund av tätskikt under isolering eller puts, för täta och/eller fel använda isoleringsmaterial eller för tät puts. Fukt från insidan kommer från oss människor, dusch, disk, tvätt och så vidare.

I Visby innerstad har hygienutrymmen traditionellt varit förlagda till uthus på innergårdarna men har i allt

större utsträckning flyttats in i husen (Nygren 2017). Detta gör att fuktbelastningen inifrån blivit allt högre än den ursprungligen var. Många av byggnaderna i innerstaden är heller inte längre permanentbostäder, och således inte längre kontinuerligt uppvärmda. Som tidigare nämnts så torkar en kall puts ut långsammare än en varm puts, vilket i sin tur gör att stommen utsätts för fukt under en längre tid. Detta kan också bero på en allt för effektiv invändig isolering. Ett flertal av de undersökta byggnaderna har dessutom puts som innehåller cement.

En allt högre fuktbelastning inifrån i kombination med en kall och tät puts som torkar ut långsamt gör att risken för rötskador blir mycket hög.

Ytterligare en faktor som tros ha påverkat Visby innerstads träbyggnader negativt är gatunivåns höjning. Genom höjningen har byggnadernas syllar hamnat under marknivån.

I likhet med utlakad puts är rötskador ofta mycket svåra att upptäcka med blotta ögat eftersom putsen eller sockeln är som ett hårt skal utanpå det skadade träet. Skadorna syns inte förrän putsen ramlar av eller knackas ned.

Inventering av reveterade hus i Visby

Den inventering som gjorts har utgått från en lista framtagen inom flera forskningsprojekt (EFFESUS samt "Potential och policys för byggnader uppförda före 1945", www.sparaochbevara.se), vid Kulturvård, Campus Gotland samt innerstadsinventeringen som utfördes under 1990-talet (Fastighetsinventeringen 1996-98). Från listan har de byggnader som uppges ha trästomme och puts som fasadmaterial sorterats ut. Av 1048 listade byggnader har 516 trästomme med helt eller delvis putsade fasader. Den här inventeringen begränsades därför till området norr om Visby domkyrka vilket gav 188 byggnader att studera närmare (se figur 1).

Eftersom det är mer än 20 år sedan byggnadsinventeringen gjordes har det hunnit hända mycket sedan dess, bland annat i form av fasadförändringar, restaureringar och inte minst omputsningar. För att ta reda på vad som hänt med byggnaderna från 1990-talet och framåt har bygglovsarkivet använts. Genom att använda bygglovsarkivet var förhoppningen att hitta uppgifter om omputsningar och annat som rör byggnadernas fasader. Materialet i bygglovsarkivet kan dock inte sägas vara vidare omfattande. Detta beror delvis på att det före 2010 inte var bygglovspliktigt med mindre förändringar, vilket omputsningar och tilläggsisoleringar sågs som.

Även Gotlands Museums arkiv har använts. Materialet i museets arkiv har använts för att hitta information om tidpunkt för revetering, restaureringar och annat som rör putsen på husen. Bildmaterialet som använts har gett

stor del användbar information. Av gamla bilder har det gått att anta ungefärlig tid för revetering, och i vissa fall har i övrigt odokumenterade omputsningar funnits på bild. Där har det gått att se viken typ av putsbärare det rör sig/har rört sig om.

Resultatet av inventeringen har sammanställts och presenterats i sin helhet i Nygren (2017). Där finns ett digert fotomaterial som visar samtliga byggnader idag, resultatet av okulärbesiktning med beskrivning av samtliga fasadernas material och konstruktion utifrån vad som varit utläsbart, skadebeskrivning, sammanställning av de olika arkivens uppgifter samt materialanalyser från ett fåtal byggnader där originalputs har kunnat lokaliseras och analyseras. De putsprover som uttagits är från byggnader som skulle kunna ha originalputs bevarad, och samtidigt har skador som gör det möjligt att ta en bit av den skadade putsen. Proverna har tagits för att analysera bindemedel, blandningsförhållande, tillsatser, ballaststorlek mm. Från ett flertal av byggnaderna som eventuellt har originalputs har prover däremot inte kunnat tas, eftersom fasaderna har varit utan skador.

De material som traditionellt använts vid putsning av innerstaden träbyggnader har främst varit kalk och i vissa fall lera, exempelvis på huset på fastigheten S:ta Gertrud 8, där ett tjockt lager med lerputs blandat med halm påträffats på husets västra fasad (se figur 5). Den allra vanligaste putsbäraren verkar ha varit råhuggna, snedställda ribbor. Mellan ribborna har det ibland placerats skärivor av tegel, troligtvis för att minska kalkåtgången. Andra putsbärare som setts är hönsnät av olika storlekar, vanligtvis fästa på ribbor, spikar med järntråd mellan och för de yngre reveteringarna har ofta vassmattor använts.

En av frågeställningarna för uppsatsen var att ta reda på hur många originalreveteringar det finns kvar i innerstaden. I det utvalda området har 15 av 188 byggnader eventuellt kvar sin originalputs, helt eller delvis. Om den procentuella fördelningen skulle vara likadan skulle det innebära att endast omkring 40 av de 516 reveterade byggnaderna i innerstaden har kvar sin originalputs, helt eller delvis. Dessa kan därmed betraktas ha ett stort kulturhistoriskt värde och är som synnerligen värdefulla.

Utöver de i rutan presenterade originalputserna är det möjligt att några andra har delvis bevarad puts bakom nyare lager, i delar av gavelrösten eller i vret (dvs. det smala utrymmet mellan husen).

Flera av byggnaderna som bedömts ha sin ursprungliga revetering kvar har den inte synligt, alltså som yttersta skikt. Ett flertal av byggnaderna har blivit försedda med en cementslamma över originalputs. I vissa fall har den troligtvis orsakat skador, i vissa fall verkar det som att putsen bakom kan vara förhållandevis intakt. Exempel på ett sådant hus är Klinten 8, med gatadress

Byggnader som troligtvis har originalputs kvar:

Biskopen 7 – gatufasaden

Bommen 7 – gatufasaden

Gluggen 2 – troligen i sin helhet under nyare lager

Klinten 8 – hus nr 2 troligtvis i sin helhet bevarad under tunn cementslamning

Låset 10 – troligtvis i sin helhet endast mindre lagningar

Muren 7 – gatufasaden

Silverhättan 1 – östra gatufasaden och västra trädgårdsfasad samt norra gaveln bakom cementslamning

Slupen 2 – i sin helhet endast mindre lagningar

Speckrum 7 – gatufasad

S:ta Gertrud 8 – troligtvis i sin helhet bakom cement-spritsputs (puts byttes våren 2017)

S:ta Gertrud 9 – hus nr 2

S:ta Gertrud 12 – gatufasaden

S:t Olof 8 – endast gavlar, eventuellt baksidan

S:t Olof 17 – eventuellt i sin helhet på gatufasader dock med mindre lagningar

Vinkelhaken 6 – södra fasaden

Norderklint 8. Bakom ett mycket tunt cementinnehål-lande putslager finns en fin, fet spritsputs, som bedöms vara originalputs. Att den underliggande putsen verkar var intakt beror troligtvis på att det yttersta skiktet är så pass tunt som det är. Det är heller inte lika hårt som ytskiktet på huset på S:ta Gertrud 8.

Från Klinten 8 hade det varit mycket intressant att ta putsprov för tunnslipsanalys, men på grund av att originalputs inte har några uppenbara skador sågs detta inte som möjligt.

Det är möjligt att det finns fler originalputser kvar, än de som observerats genom inventeringen. Dessa kan mycket väl finnas bakom överputsningar liknande den på den ovan beskrivna byggnaden. Det kan dessutom finnas många utstockningar kvar mellan ribbor som sparats vid omputsningar. Framför allt verkar det som att man under andra halvan av 1900-talet sparade utstockningen vid omputsningar.



Figur 21. Klinten 8. Den cementhaltiga slamningen sitter inte lika hårt fast i underlaget som på bilden t.h. Cementslamman är inte heller lika hård. Foto: Sofie Nygren



Figur 22. S:t Gertrud 8. Den hårda cementputsen har bitit sig hårt fast i den underliggande spritputsen. Cementputsens och spritningen lossnar i stora sjöar från det släta undre putslagret. Foto: Sofie Nygren

I princip alla av de byggnader som ingår i uppsatsens inventering har vid något tillfälle putsats om. Materialen som använts i omputsningarna är av varierande slag, men påfallande många verkar ha putsats med cementinnehållande bruk. Det exakta antalet är svårt att säga, utan noggranna analyser men uppskattningsvis rör det sig om minst hälften eller fler.

Skador som uppmärksammats i inventeringen har till stor del setts i arkivmaterial. Många av de byggnader som har haft dokumenterade omputsningar har också varit rötskadade. Däremot har det i många fall inte angetts vad som är den troliga orsaken till skadan, men sannolikt rör det sig om att de reparerats med ett allt för tätt bruk.

De skador som setts genom okulärbesiktningarna och fotodokumentationen har i många fall varit koncentrerade till gårdsmurar som murats mot fasaden samt på syllar som putsats in.



Figur 23. S:t Klemens 9. Hörnstolpen har ruttnat där det tidigare var en mur. Troligtvis finns liknande skador på många andra byggnader. Foto: Sofie Nygren

Huset på S:t Gertrud 8 är ett av de hus som identifierats ha originalputs kvar. I figur 22 kan de tjocka lagren med kalkputs beskådas. Byggnaden har till en början varit slätputsad, därefter har den fått ett tunt lager kalkspritputs. Under mitten av 1900-talet har hela byggnaden putsats med en stark cementspritputs. Med sannolikhet har detta tunna lager gjort att kalkspritputsen börjat lossna från den tjocka släta putsen, som också den delvis börjat sanda och lossna från underlaget. Cementputsen sitter fast mycket hårt i den underliggande spritputsen. Under fönstren kan mindre rötskador noteras.



Figur 24. Norra gaveln på S:t Gertrud 8. Under den nyinstallerade dörren har det tidigare varit en tjock betongplatta som trappsteg. Bakom den var syllen helt upprutnad, men bredvid har syllen klarat sig. Foto: Sofie Nygren

Det är mycket svårt att uttala sig om i hur stor utsträckning trästommarna i de undersökta byggnaderna är rötskadade. Det är svårt eftersom många av putsarna är påfallande hela. Det är däremot troligt att det rör sig om ett stort antal, baserat på att många av byggnaderna har puts med mer eller mindre cementinblandning, putsade socklar samt murar i direkt anslutning till hörnstolparna.

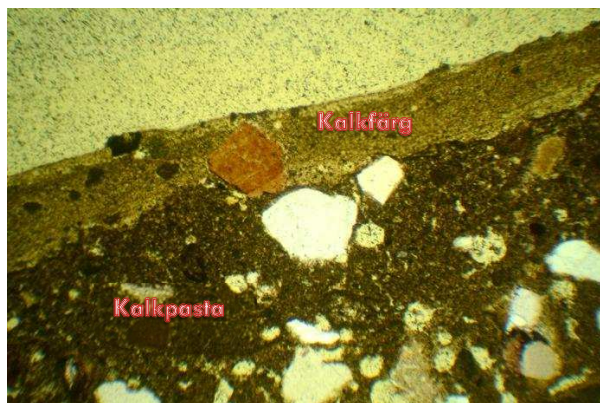
Utlakade putslager är något som noterats på många av de undersökta byggnaderna. Det är också detta som gjort att det inte gått att ta putsprover på alla ställen, i vissa fall har endast ytputsen kunnat tas, eftersom de undre lagren bara varit som ett mjöl. På många av byggnaderna har putsen vid en första anblick sett intakt ut, men vid en närmare undersökning har det noterats att det endast är som ett frihängande skal. Exempelvis fastigheten på Fiskeplan 1 har en puts som är på detta vis, ett hårt skal som är ca 1,5 cm tjockt, och där skalet inte ligger an mot sockeln rasar den underliggande, helt utlakade putsen ut som ett mjöl.

Materialsammansättning i originalputs

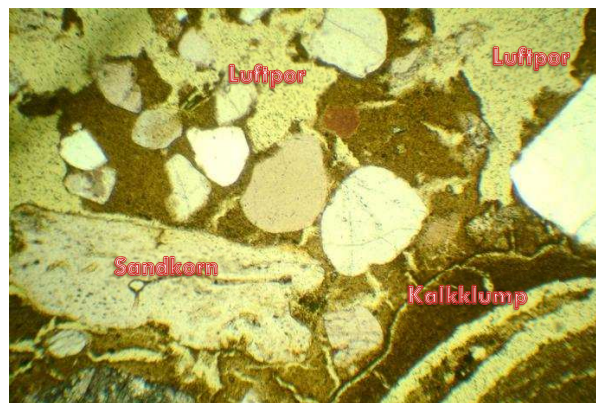
Ett tiotal originalputser har analyserats genom tunnslip-sanalys. Av proven har ABC A HEAD tillverkat tunnslip som har analyserats i polarisationsmikroskop Brunel SP-1500XP hos Balksten Byggnadsvård AB, fotograferade av Björn Balksten Regnér.

Underkant varje bild motsvarar 2,65 mm och tunnslipen är fotograferade genom 50 gångers okular. Tunnslipen är impregnerade med fluorescerande epoxi vilket gör att hålrum som fanns i bruken återges med gul kulör i fotografierna (likaså blir det gult utanför provets gräns). Bindemedelspastan är brun och sandkornen är företrädesvis gråvita eller bruna. Fibrer syns med sina årsringar. Kalkfärg syns som homogena lager av samma typ av bindemedel som förekommer mellan sandkornen.

Här visas ett urval av tunnslipsfotografier från de tio originalputser som analyserats, resterande bilder finns tillgängliga i Nygrens examensuppsats (2017).



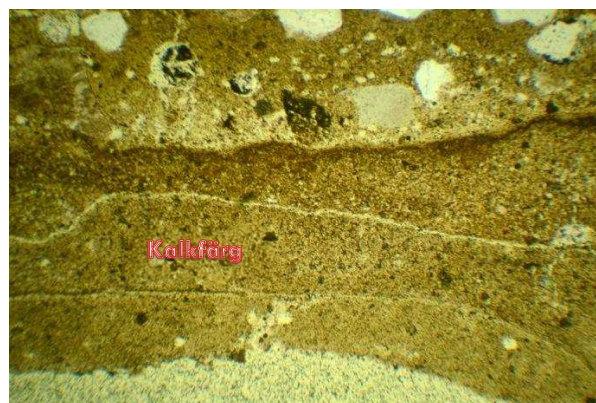
Figur 25. Prov 1Gertud visar exempel på kalkfärg på ytan som applicerats i ett par lager. Ytan på putsen är mycket homogen och kompakt.



Figur 26. Prov 1Ytputs visar ett prov innehållandes kalkklumpar och krympsprickor samt ganska stora håligheter.



Figur 27. Prov 2Slätputs innehåller både kalkklumpar och enstaka lerkulor. Här syns en karakteristisk kalkklump.

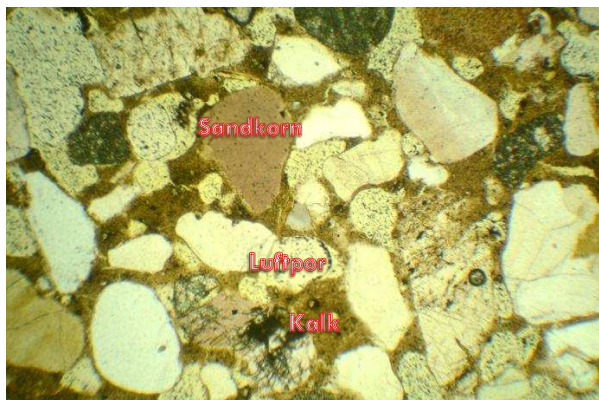


Figur 28. Prov 2Smedjegatan visar exempel på kalkfärg i tre lager på ytan som i sig också är mycket bindemedelsrik.

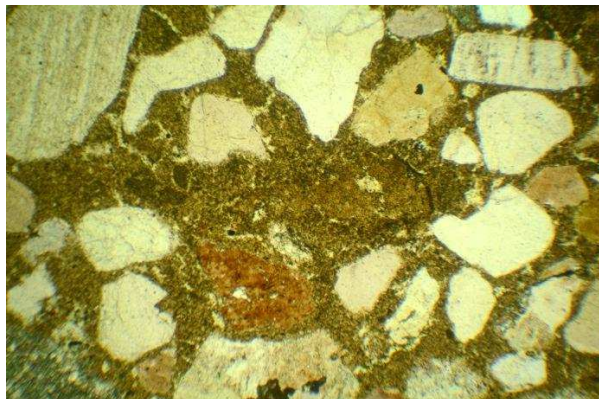
TABELL 1. Var provena kommer ifrån

Provnamn:	Uttaget från:
1Gertud	S:ta Gertrud 9, hus 2, gatufasaden
1Ytputs	S:ta Gertrud 8, norra gaveln
2Slätputs	S:ta Gertrud 8, norra gaveln
2Smedjegatan	S:t Klemens 5, hus 1C, trappa ned till källaren
3Speckrum	Speckrum 7, gatufasaden
3Utstockning	S:ta Gertrud 8, n gaveln, under fönstret
4Lera	S:ta Gertrud 8, västra fasaden, södra delen
5Udden	Läset 10, sv fasad
4Biskopen	Biskopen 5, norra fasaden, inne i bod
6Rådhuset	Rådhuset 8, gatufasaden, dörromfattning

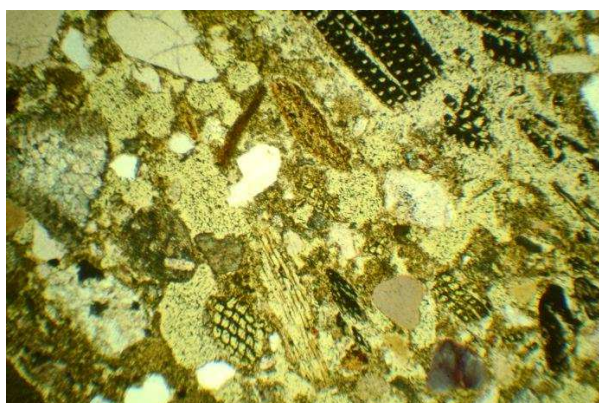
Vid en jämförelse mellan dessa olika bruk blir det tydligt att putstraditionen lokalt varit ganska lik sett till typ av kalk och sand. Detta kan vi se generellt för Gotland som ju har en obruten tradition att använda sin egentillverkade lokala kalk sedan sen Vikingatid (Balksten 2017).



Figur 29. Prov 3Speckrum visar ett av de magrare bruken med blandningsförhållande ca 1:2 mellan kalkpasta och sand.



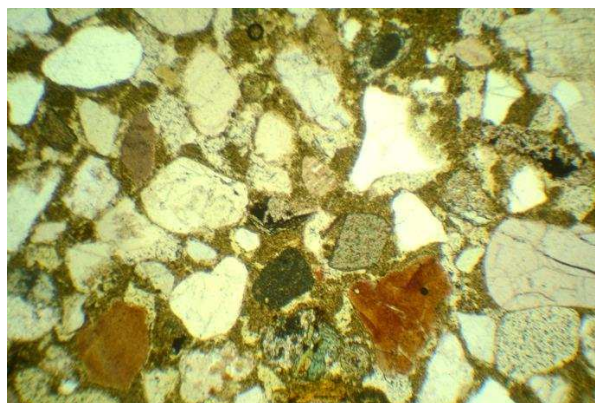
Figur 30. Prov 3Utstockning visar ett mycket homogent bruk med rikare kalkmängd än ovanstående, ca 1:1,5. Även enskilda mindre kalkklumpar kan urskiljas.



Figur 31. Prov 4Lera innehåller lera, kalk, sand och fibrer.

Summan av tunnslipsanalyserna visar att det övervägande är våtsläckt kalkpasta av luftkalk typ Gotlandskalk som har använts ihop med välgraderad natursand. Det förekommer inga hydrauliska komponenter i något av bruken. Däremot förekommer lera i två av bruken och fibrer som armering i ett av bruken. Det är generellt sett

homogena bruk som blandats väl och som komprimerats vid bearbetning.



Figur 32. Prov 5Udden, ett homogent men något magrare kalkbruk ca 1:2.



Figur 33. Prov 4Biskopen, ett homogent kalkbruk med en något grynnig kalk, ca 1:1,5.



Figur 34. Prov 6Rådhuset, ett något fetare kalkbruk, med kalkklumpar och krympsprickor, ca 1:1.

Blandningsförhållandet rör sig mellan 1:1-1:2 och tycks ha anpassats väl efter sand respektive kalk. Detta stämmer också väl överens med hur putstraditionen beskrivs i samtida källor (Siöbladh & Engeström 1750, Stål 1854 och Henström 1869). Bedömningen av blandningsförhållanden samt kalksort baserar sig på ett rikt referensmaterial som analyserats av bruk gjorda på olika typer av Gotlandskalk sedan 2001 (Balksten 2007). Karakteristiska kalkklumpar och förekomst av krympsprickor i kalkpastan visar att det är våtsläckt kalkpasta som dominerat.

Där kalkfärg funnits så har den applicerats som relativt tjock färg i ett fåtal lager som väl har förenat sig med den då färsk kalkputsen.

Diskussion och slutsatser

Vid en första anblick förefaller Visby vara en välbevarad stad. Tar man en djupare titt, blir det tydligt att det inte finns så mycket som skulle kunna kallas synligt original kvar. Uppsatsens inventering har visat att ytterst få (knappt 8 %) av de reveterade trähusen har något av sin originalputs kvar. Originalputserna är en viktig kunskapskälla som är värd att bevara. Utan dessa försvinner de sista spåren av hur reveteringar ursprungligen gjordes i Visby.

En av de starkaste lagarna för skyddet av de kulturhistoriska värden som kan finnas i en byggnad är PBL via *förbud mot förvanskning samt underhåll och varsamhet* (Plan- och bygglag, (2019:900) 8 kap). Enligt de paragrafer som innefattas av dessa rubriker råder det förbud mot att förvanska byggnader som är av särskilt värde ur kulturhistorisk synpunkt. Byggnaderna skall underhållas så att värden inte förvanskas, och ändring av en byggnad ska göras på ett sådant sätt att de kulturhistoriska värdena tillvaratas.

För att värdena ska kunna bevaras, krävs det att de är tydligt uttryckta. Så som det är i dagens läge för byggnaderna i Visby innerstad, kan det inte i någon vidare utsträckning påstås att framför allt allmänheten skall kunna utläsa vilka kulturhistoriska värden den enskilda byggnaden har. Byggnadsordning för Visby innerstad (Hallberg 2010) framhåller vissa karaktärsdrag, men dessa gäller för hela byggnadsgrupper, exempelvis trästaden, vilken många av de inventerade byggnaderna är inkluderade i.

Till viss del kan man påstå att aktörer i Visby förhåller sig relativt dåligt till detta. Plan- och bygglagen har haft kapitel som ovanstående under en mycket lång tid. Trots detta har många byggnader gjorts om med tilläggsisoleringar och omputsningar som inte kan påstås vara kompatibelt med vare sig lagen eller byggnaden. Viktiga karaktärsdrag har renoverats bort och detta är något som ständigt pågår, inte minst i vår tid.

Bakom många av putserna i innerstaden döljer sig någon slags isolering. Att använda skivmaterial, exempelvis träullit som monteras på läkt, är en lösning som ger en viss isolering samtidigt som det inte i någon stor utsträckning kan anses skada byggnadens konstruktion. Det som däremot händer vid en lösning av detta slag, är att byggnaderna kan få ett mycket platt och stelt uttryck, fasaderna saknar liv och uttryck som de tidigare haft. I byggnadsordning för Visby innerstad framhålls bland annat de markerade socklarna, ofta av huggen kalksten, som ett karaktärsdrag (Hallberg 2010). Att tilläggsisolera

fasaderna eller göra andra åtgärder så att socklarna blir mindre framträdande kan ses som en förvanskning enligt PBL. I de fall de utöver detta målas med annan färg än kalkfärg kan detta uttryck ytterligare förstärkas, se exempel för Biskopen 5 (Nygren 2017).

Utan ett gott samarbete med införstådda fastighetsägare är det mycket svårt att kunna bevara byggnaderna och framför allt i detta fall, de få återstående originalreveteringarna på ett bra sätt. Det kan inte begäras av de enskilda fastighetsägarna att de ska ha samma kunskap om en byggnads olika värden som det kan begäras av de professionella aktörerna, exempelvis antikvarier. Utan att en byggnads inneboende värden är tydligt uttryckta blir det svårt för professionen att argumentera för de rätta handlingarna. Det kan ses som en självklarhet att en fastighetsägare vill ha god energiprestanda, boendekomfort och samtidigt ett estetiskt tilltalande hus, men dessa faktorer får inte inkräkta på de kulturhistoriska värden som byggnaden har. Inte heller kan det ses som försvarbart att innerstadens karaktär och värden tillåts förvanskas. För att uppfylla kraven krävs det ofta en kompromiss mellan de olika faktorerna. Den stora frågan är dock vem som skall stå tillbaka. Kan man tillåta en förföljning eller förvanskning enbart för att den individuella uppfattningen av vad som är god komfort skall ökas?

Genom uppsatsens inventering av byggnader i Visby innerstad har det visat sig att många byggnader har putsats om, många av dessa med cementinnehållande bruk. Cement har visat sig orsaka rötskador i stommarna samt urlakad och förstörd underliggande kalkputs. Trots att det är bygglovspliktigt med förändringar, och förbudet att använda cement i putserna används det ändå, på grund av okunskap bland fastighetsägare och hantverkare. Att hantverkare skall ha god kunskap är något som framhölls av Feilden redan 1979. Okunskap bland hantverkare verkar, med detta som grund, inte vara något nytt problem.

Kunskapen om hur de felaktiga materialen kan göra skada både på konstruktionen och på byggnadernas karaktärsdrag och upplevelsevärden bör därför spridas på ett effektivt sätt till alla, inte minst till de som är professionellt verksamma. Att vara verksam och arbeta med byggnadsbeståndet i en stad som Visby innebär – för alla – ett mycket stort ansvar. För att staden ska tillåtas behålla sin autentiska prägel krävs det ett varsamt handlingssätt. Det är av högsta vikt att följa de antikvariska principerna som finns, för att de värden som staden besitter inte skall gå förlorade. Utan ett varsamt handlingssätt är det stor risk att innerstaden förvandlas till en kulis, att staden förlorar sin autenticitet.

Kompatibilitet, återbehandlingsbarhet och reversibilitet är tre viktiga aspekter att ta hänsyn till i all slags restaurering (Feilden 1979). Till detta kan också aspekten

av lokala material tas. Eftersom Gotland har en obruten tradition av framställning av byggnadskalk, borde det vara det naturliga materialet att använda. Genom att använda puts av luftkalk är det enkelt att laga eventuella skador. Det är enkelt att ta bort om det skulle behövas, och luftkalk har sedan åtminstone 1700-talet konstaterats vara kompatibelt som fasadmateriäl på en stomme av trä.

Referenser

- Balksten, K. & Magnusson, S. (2002) *Transportegenskaper hos kalkputs: en jämförelse mellan elva brukstyper*. Examensarbete. Göteborg: Chalmers tekniska högskola
- Balksten, K. & Broström T. (2004) "Permeability in lime plaster in relation to durability of covered materials" *Proceedings of the 32nd IAHS World Congress on Housing - Sustainability of the Housing Projects*. Trento, Italy 2004.
- Balksten, K. (2005) *Kalkputs: porstrukturens betydelse för beständighet*. Licentiatavhandling. Göteborg: Chalmers tekniska högskola
- Balksten, K. (2007) *Traditional lime mortar and plaster: reconstruction with emphasis on durability*. Diss. Göteborg: Chalmers tekniska högskola
- Balksten, K. (2008) "Det gotländska bruket av kalk" *Från Gutabygd 2008*. Gotland: Gotlands Hembygdsförbunds förlag
- Balksten, K. & Mebus, U. (red.) (2013) *Bruk av ruiner: kulturarv, konstruktion, kalkbruk, komfort & kalsonger*. Visby: Fornsalens förlag
- Balksten, K. (2017) "Gotlands obrutna kalktradition" *Byggnadshyttan på Gotland 2015-2016*. Visby: Byggnadshyttan på Gotland
- Björking, S-E (1974) *Ombyggnad: hur bostadshusen byggdes 1880-1940*. Stockholm
- Björk, C., Reppen, L. & Kallstenius, P. (1992) *Så byggdes husen 1880-1980: arkitektur, konstruktion och material i våra flerbostadshus under 100 år*. 4. uppl. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning
- Clemmensen, M. (1937) *Bulhuse: studier over gammel dansk træbygningskunst*. Köpenhamn: Levin & Munksgaard
- Dührkop, H. (1966) *Bruk - murning - putsning*. Stockholm: Svensk byggtjänst
- Feilden, B. (1979) *An Introduction to Conservation*. Rom: UNESCO
- Gotlands kommun (1989) *Visby Innerstad. Råd och riktlinjer för bevarande*. Visby, Gotlands Kommun Byggnadsnämnden.
- Gotlands museum, *Sammanställning av Bygglagstiftning i Visby fram till 1818*, Opublicerat material. Visby: Gotlands Museum,
- Granholm, H. & Lidman SS. (red) (1953) *Hantverkets bok Mureri. 3:e uppl.*, Stockholm:
- Gustavsson, T. (2007) "Putsen stänger in fukt mellan två täta skikt", *Husbyggaren 2007:4*. Stockholm: Svenska byggnadsingenjörers riksförbund
- Hagertoft, C-E. (2003) *Vandrande fukt, strålande värme: så fungerar hus*. Lund: Studentlitteratur
- Hallberg, M. (red.) (2010) *Byggnadsordning för Visby innerstad: tillhör detaljplan för Visby innerstad antagen 2010-02-22, laga kraft 2010-03-26*. Visby: Gotlands kommun
- Henström, A. (1869) *Praktisk handbok i landtbyggnads-konsten*. Örebro: Beijer
- Holmgren, J., Landmark, O. & Vesterlid, A. (red.) (1949) *Husbygging. Bd 2*. Oslo: Aschehoug
- Hökerberg, O. (red.) (1947). *Husbyggnad 2*. Stockholm: AB Nordiska Bokförlaget Erdhem & Co
- Nygren, S. (2017) *Reveterade bulhus i Visby innerstad*. Examensarbete i Kulturvård (under färdigställande). Visby: Uppsala universitet
- Paulsson, G. (red.) (1936) *Hantverkets bok 4 Mureri*. Stockholm: Lindfors
- Paulsson, G. (red.) (1938) *Hantverkets bok. 6, Träbyggnadskonst*. Stockholm: Lindfors
- Rückerschöld, R. (1780) "Nytt sätt att med rappning bekläda gamla trähus". Stockholm: Kungliga Vetenskaps Akademien
- Siöbladh, C. G., Engeström, J. (1750) *Beskrifning huru kalck skal tilredas ifrån thes första bränning och til den warder färdig til sitt bruk*. Original ur Calle Brobäcks Gotlandicasamling.
- Sjöström, A. (1891) *Landtmanna-byggnader: Handledning i landbruksbyggnadskonsten hufvudsakligen afsedd för mindre jordbruk*. Med 70 pl. och 290 i texten tryckta figurer. Kuopio
- Stål, C. (1854). *Utkast till allmän byggnadslära*. Fahlun
- Wijnblad, A. F. (1805) *Försök till jordbrukets lönande behandling jemte bihang om sättet att afrappa trähus byggnader samt utan gips förfärdiga varaktiga tak i bonings rum* Stockholm: Henr. A. Norström
- Wäsström, P. (1780) "Anmärkningar vid föregående rappningssätt på trähus". Stockholm: Kungliga Vetenskaps Akademien.
- Wäsström, P. (1780) *Fortsättning af P. Wäsströms Anmärkningar*. Stockholm: Kungliga Vetenskaps Akademien, 1780.
- Unnerbäck, A. (1998) "Revetering - En nöjsam nyttighet", *Byggnadskultur 98:2*. Luleå: Luleå Grafiska

Övriga källor

- EFFESUS, <https://www.effesus.eu/about-effesus/case-studies/visby>, 2019-01-29
- Fastighetsinventeringen (1996-1998) Läns museet på Gotland <http://www.guteinfo.com/scripts/fastigheter.asp>, 2019-01-29
- "Fel puts får hus att ruttna" Radio P4 Gotland <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=94&artikel=6412542>, 2016-04-18
- <http://sverigesradio.se/sida/avsnitt/710335?programid=260>
- Melin, B, "Renovering av fasader, tak och fönster på Skogaholms Herrgård". 2015, <<http://skansenbloggen.blog.se/renovering-av-fasader-tak-och-fonster-pa-skogaholms-herrgard/>> 2017-06-26
- "Potential och policies för energieffektivisering i svenska byggnader byggda före 1945". <http://www.sparaochbevara.se/forskningsprogrammet/potential-och-policies-for-energieffektivisering-i-svenska-byggnader-byggda-före-1945/>, 2019-01-29
- Hålla hus hemsida, <http://www.hallahus.se/renovera/fasaden/fasadmaterial/> 2017-04-28

3 Lera i svensk byggtradition

Författare: Ellen Olsson

Lera är ett av Sveriges äldsta byggnadsmaterial och har använts i vårt land i flera hundra år. Det har alltid varit ett billigt material som ofta togs från platsen där den skulle användas och har därför använts mer i byggande än vad många kanske tror. Lera är ett material som förekommer i många byggnader som idag bär på kulturhistoriska värden, och förekommer i form av både hela lerhus i olika lerhustekniker, men också i olika delar av byggnadsstommen och som ytskikt.

Introduktion

Kunskap om lera finns idag främst hos dem som ägnar sig åt ekobyggande, men även till viss del hos dem som ägnar sig åt den kulturhistoriska bebyggelsen. Dock är den fortfarande begränsad med större kunskap i vissa län, till att vara ett relativt okänt material i andra. Det är därför viktigt att olika traditionella hantverk som involverar lera dokumenteras och bevaras aktivt då det annars finns en risk att denna del av vårt kulturarv försvinner.

Hur har då lera använts i äldre bebyggelse i Sverige? Skiljer sig användningsområdena för lera i äldre bebyggelse beroende på vart i Sverige de befinner sig? Vilka egenskaper besitter ren lera? I den här artikeln kommer lera att få ta mer plats i den traditionella bebyggelsen för att uppmärksamma hur den har använts och var kunskap om lera som byggnadsmaterial finns och har funnits i Sverige. Syftet är dels att kartlägga lerans användning i äldre husbyggande (1950 och äldre) i Sverige, dels ge en bild över lerans egenskaper.

För att ge bakgrundsfakta till hur materialet lera fungerar molekylärt och hur det har använts i äldre bebyggelse i Sverige så har den litteratur som finns skrivet om ämnet använts. För att sedan ta reda på hur lera i äldre bebyggelse har använts i olika delar av Sverige så skickades en enkätundersökning ut till alla läns museer i Sverige med sju öppna frågor. Utifrån de svar som inkom på enkäten erhöles kunskap om i vilka byggnadsdelar som de verkliga antikvarierna vid varje läns museum hade kommit i kontakt med lera, samt om det förekommer hela byggnader i lera som är byggda innan 1950. Från svaren kunde också en kartläggning göras om hur lera har använts i olika delar av Sverige, men samtidigt också komplettera ovanstående avsnitt angående användningsområde om det uppkommer något sådant som inte tagits upp i den litteratur som undersökts.

För att slutligen få svar på lerans egenskaper så används en kombination av litteraturstudier och svaren från enkätundersökningen, men också intervjuer av personer som har kunskap om lera i äldre bebyggelse. Intervjupersonerna har erfarenhet om hur lera fungerar rent praktiskt i olika byggnadsdelar. Inom ramen för

Byggnadsantikvarieprogrammet i Kulturvård vid Campus Gotland har en djupgående inventering av lera inom svensk byggnadstradition utförts. Denna artikel är baserad på examensarbetet "Ler- och långhalm – En studie av lera som byggnadsmaterial i svensk äldre bebyggelse" av Ellen Olsson 2017.

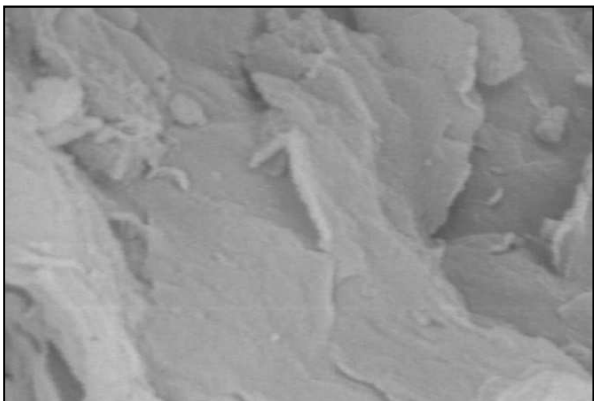
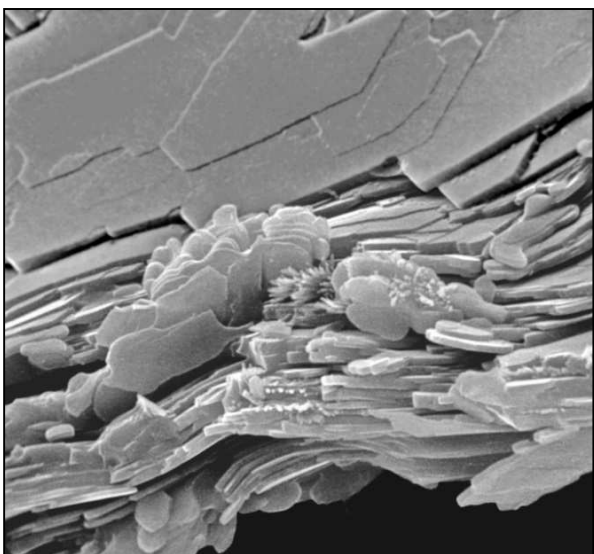
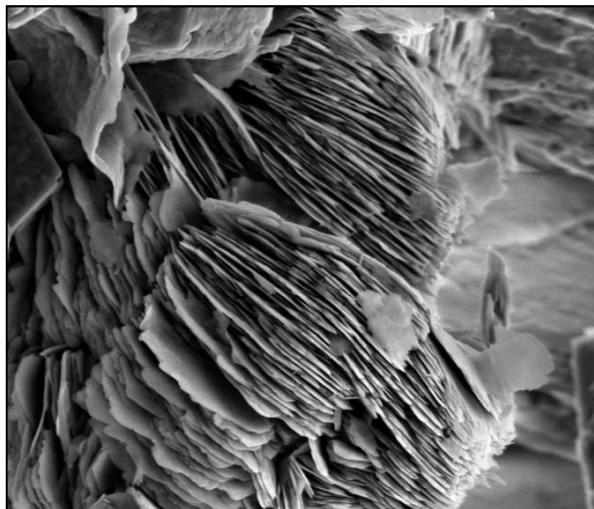
Leran och dess egenskaper

Lera är begreppet för en jordart som innehåller en viss mängd ler, vilket är benämningen för partiklar som är mindre än 0,002 mm i diameter (sand = 0,2-2 mm). Lera bildas genom att olika bergarter vittrar sönder på mekanisk eller kemisk väg. Leran kan bestå av flera lermineral (Nationalencyklopedin, 2017). För att en jordart ska få kallas lera så måste minst 15 % av viktinnehållet bestå av lerpartiklar. Det är just andelen ler i en lera som bestämmer vilka egenskaper den har (Lindberg 2002).

För att avgöra en leras egenskaper så kan en grövre indelning göras, där vi delar upp leran i mager och fet lera. Mager lera har låg lerhalt och fet lera har hög lerhalt. Den magra leran kännetecknas genom en låg plasticitet och spricker därför mindre när den torkar samt att den har låg hållfasthet. En fet lera har motsatta egenskaper, alltså en hög plasticitet som gör att den får mer sprickbildningar vid torkning då den krymper mer. Den feta leran har också en högre hållfasthet i torrt tillstånd. Anledningen till att leran spricker vid torkning beror på att leran är svällande, alltså att den sväller när den kommer i kontakt med vatten, och därmed krymper när den torkar ut (Lindberg 2002).

Det är lerandelen i leran som också ger den dess bindande egenskaper, såsom cement är bindemedlet i betong. Lerets molekylform ser ut som flak, vilka överlappar varandra och den laddning som bildas mellan flaken utgör lerans bindningsförmåga. Beroende på vilket typ av lermineral som leran innehåller så skiljer sig lerorna åt. De dominerande lermineralen är kaolinit, illit och montmorillonit (Lindberg 2002).

Kaolinit - har skivor som består av två olika lager; ett lager av kiseloxiddetraedrarna och ett lager av aluminiumhydroxidoktaedrarna. Dessa två lager är icke-svällande och laddningen sitter vid skivornas kanter,



vilket gör dess förmåga att fånga joner liten, vilket i sin tur ger en svag bindningsförmåga (Lindberg 2002).

Illiter - har skivor som är uppbyggda i tre lager där två lager av kiseloxid omger ett lager av aluminiumhydroxid. Dessa tre lager är svällande och det är kaliumjoner som håller samman dessa lager. Illiter har en stark förmåga att binda till sig joner och har därför en stark bindningsförmåga (Lindberg 2002, 6).

Montmorilloniter - har en struktur som liknar illiterna där skivorna hålls samman av natrium- eller kaliumjoner. Det är en svällande lera. Den har också en stark förmåga att binda till sig joner vilket ger den en stark bindningsförmåga.

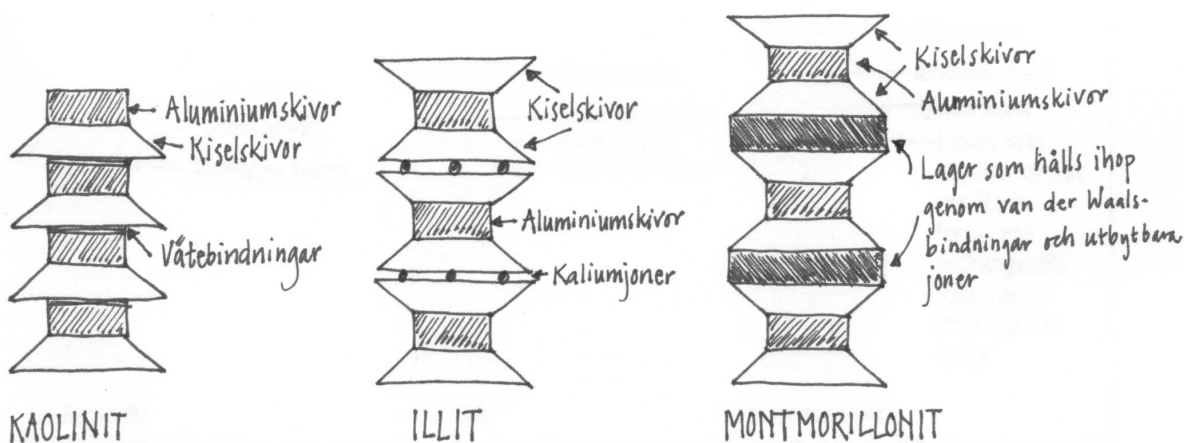
De leror som bäst lämpar sig som bindemedel i byggnadsmaterial är illiter och montmorilloniter då dessa har en starkare bindningsförmåga. I Sverige är det illit som är den vanligast förekommande lertypen, men det finns även montmorillonit (Lindberg 2002).

Förutom att det finns olika lermineraller så innehåller också lera en del andra kemiska föreningar. Den vanligaste är järnoxid eller andra järnföreningar och det är dessa föreningar som ger lera dess karaktäristiska röda eller gula kulör. Leran kan också vara brun till kulören vilket tyder på att den innehåller manganföreningar. Magnesiumföreningar eller kalk gör att leran får en vit kulör och organiska material gör att den får en mörkt brun och ibland svart kulör (Minke 2000).

Lera kan också delas in i primärleror och sekundärleror, där primärleror är bildade av ett enda mineral. Sekundärleror är leror som består av flera mineral och det är oftast dessa leror som vi hittar när vi gräver upp lera ur marken. En lera räknas som primär om den blivit kvar på platsen där den bildats, men om leran transporteras bort från platsen för bildningsprocessen så blir den sekundär (Nationalencyklopedin, 2017).

Figur 1-3. SEM-bilder som visar kaolinit, illit och montmorilloniter. Notera skivorna.

Figur 4: Illustration över lerminerallerna skivor och inbördes bindningar, efter Budhu (2011).



Lera är ett material som besitter olika egenskaper beroenden på dess sammansättning, men inom äldre litteratur och än idag så benämns leran ofta som mager eller fet. Men hur kan en person, utan praktiskt erfarenhet av lera, ta reda på om leran är fet eller mager utan att analysera den? Enligt Carl Stål så är den fetare leran mera glatt, alltså glansig, när man sticker ner en spade i den (Stål 1854).

Ett annat sätt som nämns i litteraturen, är att gnugga en nypa lera mellan tummen och pekfingret tills du känner att fingrarna klistrar ihop sig av leran. Det är lerans klisterverkan som avgör hur pass fet leran är, ju mer klisterverkan desto fetare är leran. För att avgöra klisterverkan så drar du isär pekfingret och tummen och känner själv efter hur pass stark klisterverkan är. Det går också att rulla lera till en tråd i handflatan och se hur tunn och smidig tråden kan bli som mest. Till sist går det att avgöra lerans fethet genom att känna på torra lerklumpar. Om dessa lerklumpar är hårda så är leran fet, men är de däremot mjuka och smetar mycket så är leran mager (Andersson 2004).

Leran har andra egenskaper än att vara just fet eller mager. I torrt tillstånd släpper lera igenom luft, men den tar också upp fukt från omgivningen. Om det finns så mycket fukt att lera faktiskt blir våt så sväller lermaterialerna och när lera då tagit upp så mycket fukt den kan så släpper den inte igenom mer. Detta har människor i äldre tider tagit vara på och därför kan man se att vattenreservoarer och fördämningsanläggningar är tätade med enbart lera. Dessa har hållit tätt i flera hundra år (Kjellin och Hökerberg 1928). Denna egenskap hos lera har också nyttjats vid tätning av gödselbrunnar (Sjöström 1891). Likaså har vi stenvalvsbroar i Sverige med lera som tätskikt under vägbanan och som har hållit i många år utan skador, detta trots att vägarna ovanför saltats och utsatts för annan yttre påverkan en längre tid (Andersson, intervju, 2017). Lera har andra goda egenskaper då den inuti en stenmur uthärdar ett fuktigt klimat bättre än kalk. Den tål också värme bra, ger ett bruk med hög elasticitet och skapar ingen grogrund för husväxer (Andersson, intervju 2017).

Just lerans fuktbuffrande egenskaper, att den både kan binda och släppa ifrån sig fukt, påverkar inomhusklimatet positivt. Enligt Gernot Minke kan lera, i jämförelse med kalksten och furuträ, ta upp tre gånger så mycket fukt. I jämförelse med bränt tegel kan lera ta upp hela 50 gånger mer fukt. I Tyskland gjordes en mätning på ett hus byggt i lera som visade att luftfuktigheten inomhus var ca 45-50 % under nästan hela året, vilket anses vara optimalt (Minke 2000).

Lera har fler egenskaper när den återfinns i olika byggnadsdelar. Invändigt tätar lera mot drag och isolerar mot kyla, samt att den håller möss, löss och skadein-

sekter borta eftersom den fyller ut håligheter i byggnadstommen. Lera som material är också tungt, vilket gör den lämplig som ljudisolering mellan rum och våningar. Lera brinner heller inte och därför uppfyller ett femton millimeter tjockt putslager av lera kraven för brandklass 1 (se ordlista) (Gudmundsson 2006).

Lerbyggnadstekniker

I Sverige finns flera olika exempel på lerbyggnadstekniker, alltså olika typer av lerhus. Här följer i korthet en beskrivning av de lerbyggnadstekniker som finns och vad som kännetecknar dem.

Lerstenshus

Lerstenshus är hus som är murade med förtillverkade lerstenar, vilka tillverkas i formlådor för att därefter lagras och lufttorka i skyddat läge. Blandningen som använts vid tillverkning av lerstenar har skilt sig åt. Från 1800-talet finns dock en detaljerad beskrivning om materialblandningen, som kunde vara någon av följande två (Palmgren 2003)

- Lera och organiskt material, såsom stråhackelse, lin- eller hampaavfall, torr mossa eller svin- och nöthår, blandas samman (förhållande 1:2).
- Lera blandas med sand utan några som helst andra tillsatser (förhållande 1:2).

Senare under 1800-talet kom dock ytterligare en blandning som innehöll sågspån och som då kallades för obränt sågspånstegel. Ibland kan det förekomma synonymer som obränt tegel, soltorkat tegel eller råtegel när det pratas om lersten, men dessa kan lätt leda till förvirring om att det handlar om bränt tegel. Det internationella namnet för lersten är adobe (Palmgren 2003).

Lerstenshus har funnits i flera tusen år och utvecklades kring de gamla kulturerna kring floderna, vilket har hittats beskrivet i egyptiska bildsekvenser och i Vitruvius verk "Om arkitektur: tio böcker". I Sverige har lerstestekniken troligen funnits sedan det började brännas tegel i slutet av 1100-talet (Palmgren 2003).

Lerstestekniken återfinns idag främst i Skåne där den bl.a. använts som utfyllnad i fackverkshus. Enligt Palmgren (2003) var tekniken mest framgångsrik under den agrara revolutionen (1750-1850) även om tekniken använts sporadiskt fram tills idag.

Lerstensmurar går inte att putsa med kalkbruk då bruket inte får fäste på lerstenen. För att råda bot på detta så kunde lerstensväggarna anstrykas med kogödsel som späts ut i vatten och när detta sedan fått torka så kunde väggarna putsas med kalkbruk. Detta skulle dock göras en varm och solig dag så att gödselvällingen torkade snabbt. Ett annat alternativ som användes förr för att skydda lerstensväggen mot yttre påfrestningar var att

stryka den med en het blandning av trätjära och stenkolsmjera. Denna blandning kunde också pigmenteras eller spädas med linolja för att få en annan kulör (Henström 1869).



Figur 5. Lerstenshus. Snickeri, uppfört på 30-talet, på gården Blanks i Kalvhaga, Hälsingland. Foto: Sofia Björklund



Figur 6. Lertegelmaskin från gården Blanks i Kalvhaga, Hälsingland. I karet hälls lerblandningen. Det runda trähjulet driver järnaxeln som blandar lermassan. I hålet längst till höger under karet ställs en tegelform. Den skjutsas in från ena sidan och kommer ut på den andra, fylld med välpackad lerblandning. Formen lossas därefter försiktigt och den välformade massan läggs i solen för att torka. Foto: Ellen Olsson.

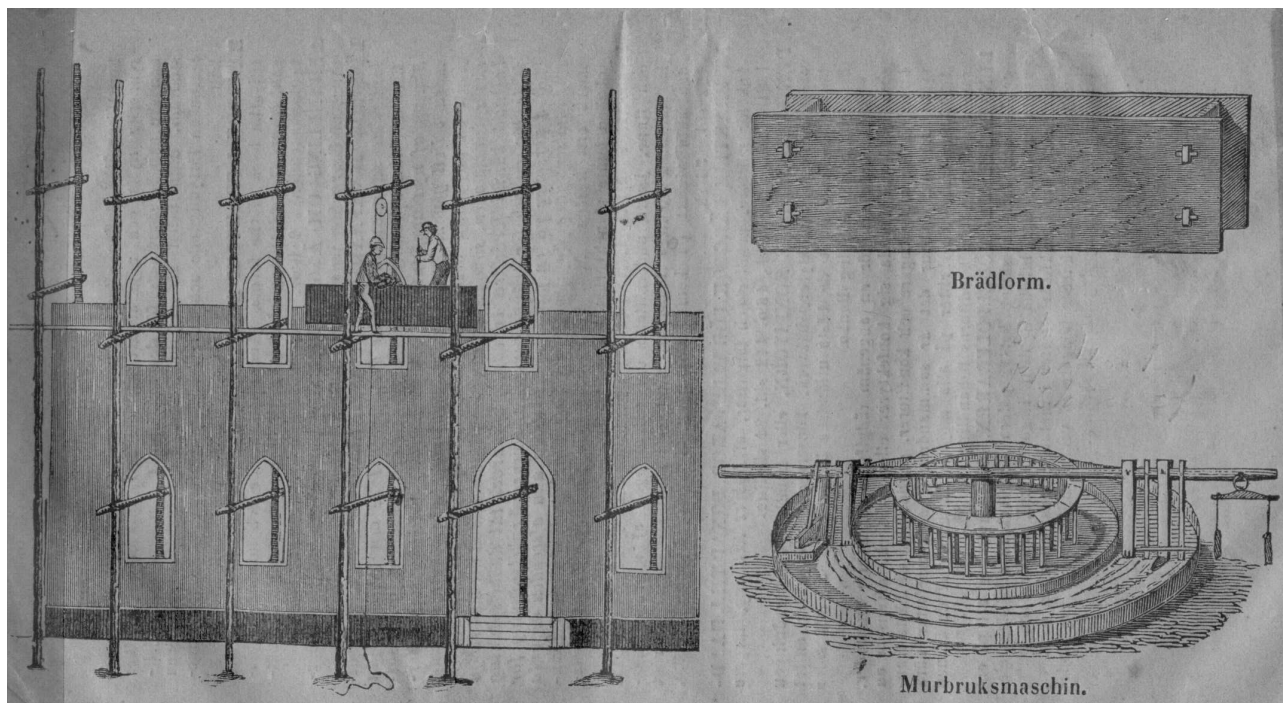
Lerhus

Lerhus är hus där väggarna uppförs av en blandning av lera, sand och stråhackelse som blandats väl till en seg konsistens. Denna blandning läggs sedan på en grundmur i ett lager som sedan får torka över natten, ibland längre beroende på omständigheterna. När detta första lager har torkat så lägger man nästa lager och så fortsätter man tills det att väggen har nått den höjd som önskas. För att väggen ska få en lodrät yta så jämnas och ansas väggen med yxor och spadar under tiden som den uppförs.

Hur blandningen till lerbruket ska bearbetas har det rätt skilda åsikter. I en del äldre litteratur förespråkas att materialet ska blandas med hjälp av oxar som trampar runt i blandningen (Adlersparre 1797-1801), andra förespråkar hästar istället för oxar (Thorsén 1956) och vissa anser att dessa tekniker sliter för mycket på djuren och förespråkar en blandningsmaskin som drivs av oxar (Åkerrén 1811). Gemensamt för dessa äldre författare är dock att beredningen av bruket ska ske på marken bredvid byggarbetsplatsen.

I Sverige lanserades lerhustekniken av Rutger Maclean, då han uppförde Svaneholm i denna teknik som han tagit med sig från sina kontakter i Pommern. Problematiken med att väggarna kunde bli sneda och skeva ledde dock till att lerhusteknik till slut upphörde i Sverige, efter att ha användes endast en kort period mellan 1790 och 1840. Lerhus i Sverige kallas efter Maclean också för MACKELERADE hus och det engelska namnet är COB. Svenska lerhus uppfördes både på landsbygden och i städer såsom Stockholm, Uppsala, Eskilstuna och Enköping (Palmgren 2003).

Figur 7: "Stenfast hus utan tegel" visar både väggens uppbyggnad, brädformen och murbruksmaskinen, från Leuchs & Prochnow 1854.



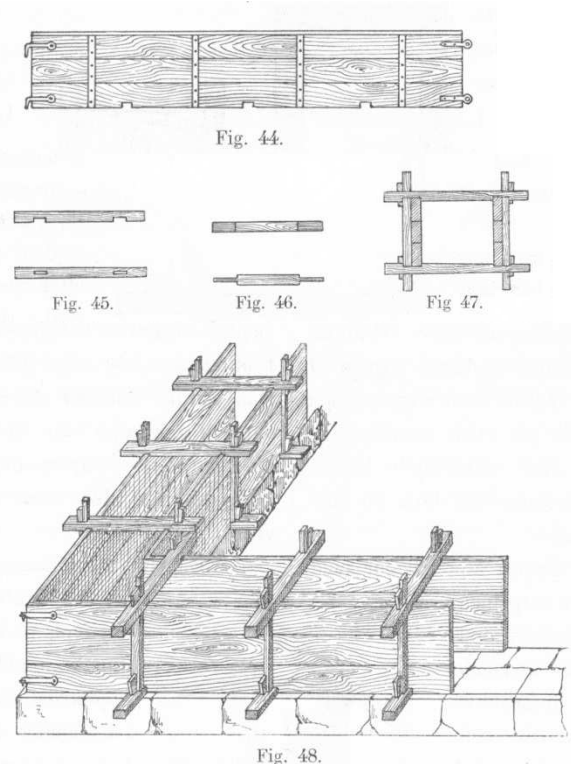
Stamphus

Stamphus är ett hus vars väggar uppförs med hjälp av två brädformar som sätts med en väggjockleks mellanrum på var sida om den blivande väggen. Formsidorna kan vara olika stora, som störst 3 meter långa och 80 cm höga, och fixeras på olika sätt innan de börjar fyllas med väggmassa.

När det då är dags att fylla formarna så läggs först ett 10 cm tjockt lager med väggmassa i formen, som sedan stansas hårt med speciella stampverktyg så att massan packas ordentligt. Därefter lägger man i ytterligare ett 10 cm tjockt lager som stansas och så fortsätter det tills dess att formen är fylld. När formen är fylld flyttas den i sidled på en gång och fylls på samma sätt igen och när ett väggvarv är färdigt påbörjas nästa direkt tills dess att huset är färdigt.

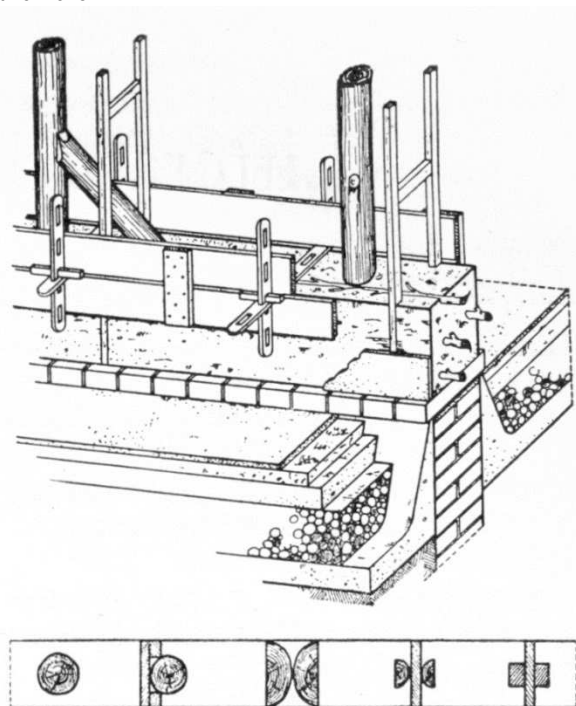
Själva väggmassan som stamphusets väggar består av innehåller en lämplig blandning lerjord och eventuellt småsten. Varken kalk eller stråmaterial återfinns normalt i blandningen. Stamphusväggar har mycket hög hållfasthet och kan därför byggas i flera våningar utan problem. Stamphustekniken härstammar, likt lerstenstekniken, från flodkulturerna i Asien och Afrika. I Sverige har tekniken dock inte funnits så länge, utan började användas under 1800-talet efter influenser från Frankrike och kom sedan tillbaka i en andra period på 1920-talet och framåt, men då med influenser från England. Det är svårt att svara på hur många byggnader i Sverige som är uppförda i stamphusteknik, då dessa hus utvändigt ser likadana ut som vissa stöphus. Spridningen av stamphus finns dock över hela Sverige då man hittat dem både i Västerbotten och ner till Skåne. Förutom stamphusteknik så kallas denna byggnadsteknik också för PISÉ och i England kallas tekniken RAMMED EARTH (Palmgren 2003).

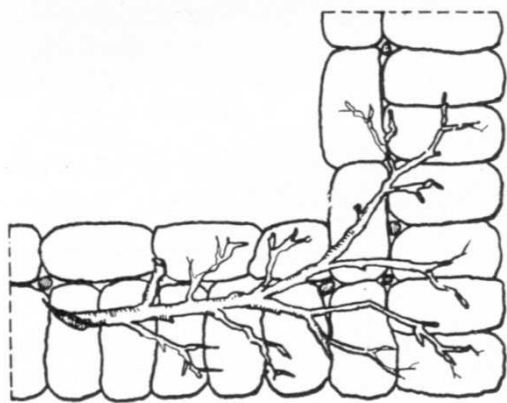
En sak som upptäcktes efter den utförda enkätundersökning är att denna teknik också kallas för gjuthus i många delar av Sverige. Detta är ett missvisande ordval, då gjuthus är hus uppförda med bruk av enbart kalk eller med tillsats av kalk och eventuella tillsatser av tegelkross, stenkross eller kross från slaggsten. Den gjutteknik som är mest lik stamphus skulle i sammanhanget vara sandbrukshus som är ett gjuthus med en väggmassa bestående av sand med en tillsats av kalk på 5-10%. På grund av att materialblandningen är väldigt torr så krävs det också här att massan stansas för att väggmassan ska packas och därefter härda (Palmgren 2003). Gjuthustekniker förekommer med andra material-sammansättningar (Ellington 1929, Lindberg, Molin 1950, Seidelin 1798, von Swab 1761) men dessa beskrivs inte närmare här.



Figur 8. Illustrationer från Sjöström (1891) visar hur brädformen utformas.

Figur 9. Illustration från Lindberg & Molin (1950) visar hur en bärande stomme kan muras in i det stampade husets väggar. Samma metod används även till moderna pisékonstruktioner.





Figur 10. Illustration från Lindberg & Molin (1950) visar hur hörnen måste armeras på något sätt. Här har man löst det med grenar, Sjöström anger att man löste det med ljung i Finland.



Figur 11. Gjuthus Stora Sörgården i Utby 2018. Foto: Kristin Balksten



Figur 12. I gjuthuset Stora Sörgården i Utby syns ännu brädornas avtryck i väggarna. Foto: Kristin Balksten

Knubbhus - Knopphus

Knubb- /knopphus är ett hus vars väggar består av plankbitar som muras i 1/2-stens löpförband med lerbruk. Denna hustyp återfinns främst i Bohuslän, där hustypen också kallas för knopphus, men också längs

Norrlandskustens sågverksdistrikt (Jerer och Westerberg 2004).

Knubbhus finns i både Sverige, Norge och Finland, men då de är relativt okända i både Sverige och Finland så är de istället välkända i Norge där man dokumenterat ca. 900 knubbhus. Tekniken kopplas till 1800-talets sågverksindustri och följer principen "man tager vad man haver" då man tagit sågverkesspill och murat väggarna med. Tekniken användes fram till 1930-talet.

Väggarna muras på en syll med tunna fogar av lerbruk med stor andel lera och ibland även sågspån som armering. I väggarna murades bindare av längre regelvirke på oregelbundna avstånd för att hålla ihop väggen. Det användes inga spikar, dymlingar eller andra fästelement i knubbhusväggarna. Väggarna var i regel minst 6 tum tjocka.

Knubbhus är svåra att identifiera utvändigt då konstruktionen inte är synlig och husen har sällan en särskild form eller planlösning. Det ansågs vara ett fattigmanshus som byggdes av de som hade det sämre ställt i samhället och därför var det inga hus det talades om (Jerer och Westerberg 2004).



Figur 13. Backekälla på Resö i Bohuslän är ett knubbhus i byggnadens äldsta delar från 1800-talets andra hälft. Foto: Kristin Balksten

Figur 14. Väggen konstruktion på Backekälla, bestående av plankbitar som murats samman med lera. Foto: Kristin Balksten





Figur 15: Bostadshus på Ramsvik, Bohuslän där stommen av knubbhusteknik uppfördes ca 1890. Som vanligt är konstruktionen dold av ett fasadmateriäl. Foto: Ellen Olsson

Kubbhus är ett hus vars väggar består av träkubb, vilket är detsamma som klövna vedträn. Dessa vedträn, som oftast är av asp eller al, läggs tvärs över vägglinjen och muras med lerbruk till väggar (Jerér och Westerberg 2004).

Vid uppförandet av en kubbhusvägg börjar du med att barka, kapa och klyva virket, innan du låter det torka väl. När det sedan är dags för själva murandet så är det viktigt att lägga veden så tätt som möjligt och bara låta lerbruket fungera som tätning. Ju smalare fogar desto mindre kommer virket att återfuktas av lerbruket, vilket i sin tur leder till en tätare vägg som krymper mindre. Själva bruket som används vid murningen kan antingen vara rent lerbruk eller lera blandat med sågspån (Andersson 2004).

Korsvirkeshus, lerfyllnader och lerklining

Korsvirkeshus är hus vars väggar är gjorda av träställningar som utgör byggnadens skelett/stomme (Melin 2011, 8). I Norden har korsvirkeshus uppförts sedan bondestenåldern och i Sverige, närmare bestämt i Lund, har det påträffats rester av flera sådana hus som dateras till 1000-talets början (Melin 2011).

Det utrymme i väggen som finns mellan skelettets olika trädelar fylls med ett väggbildande material vilka kan vara;

- lersten
- bränt lertegel
- otuktad sten
- lerstakar (trästolpar som fästes vertikalt mellan fackverken och därefter tätas med lera blandat med halm)
- lerstakar med virat halmrep (s.k. klibbstakar) som sedan klätts med lera och halmblandning
- lerstakar med flätverk av vidjor och halm, som sedan klätts med lera och halmblandning

Vilken typ av väggfyllnad som förekommer i en byggnad beror på lokala traditioner och kan variera. Lerstakarna fästes genom att en tapp gjordes i ena ändan av staken, och denne fördes in igenom ett hål som gjordes i fackets övre träbalk (s.k. löshult) och i den undre träbalken i facket gjordes en ränna som stakens underdel kunde vila i (Melin 2011).



Figur 16: Lerstakar i taket på Hovdala slott, som underlag för lerklining i taket. Foto: Kristin Balksten



Figur 18: Lerklinat tak på Värmlands Säby, med grenar som binder fast leran, som i sin tur skyddar bjälklaget.

Lera har även haft ett viktigt användningsområde som invändig puts på trästommar, s.k. lerklining. Det har använts såväl i tak som på väggar och skyddat mot både kyla och brand.

Utbredningen inom Sverige – bevarade kunskaper och byggnader

Genom en enkät som skickades ut till de olika läns museerna i Sverige, har det skapats en bild över hur lera har använts som byggnadsmaterial i äldre byggnader beroende på i vilket län byggnaden befinner sig. I de fall där svar har uteblivit från läns museet har kända användningsområden tagits med utifrån studerad litteratur.

Län	Lerbyggnadstekniker	Murbruk	Lera inuti en äldre byggnad	Utvändig lerklining
Blekinge (ej besvarat enkäten)	- korsvirkeshus	- i eldstäder - i murade fackverk i korsvirkeshus		- i facken på korsvirkeshus
Dalarna		- i eldstäder	- invändig lerklining av väggar - tätning av timmervägg invändigt - <i>invändig tätning av knutkedjan*</i>	- på timmerstomme, täckt av en tunn kalkputs
Gotland		- i eldstäder - i kalkstensmurverk - skalmurskonstruktioner	- invändig lerklining av väggar	
Gävleborg		- i eldstäder - skalmurskonstruktioner	- invändig lerklining av väggar - invändig lerklining av tak	- på timmerstomme, täckt av en tunn kalkputs
Halland	- korsvirkeshus - stamphus	- i eldstäder		- i facken på korsvirkeshus
Jämtland		- i eldstäder - skalmurskonstruktioner	- invändig lerklining av väggar - lersten i mur-stockar	- på timmerstomme, täckt av en tunn kalkputs
Jönköping		- i eldstäder	- invändig lerklining av väggar - tätning av timmervägg invändigt	- på timmerstomme, täckt av en tunn kalkputs
Kalmar	- stamphus	- i eldstäder - i gråstensmurverk	- invändig lerklining av väggar - <i>lerstenar i vartannat varv i murverket av en källarvägg i Vinäs, Västerviks kommun*</i>	- på timmerstomme, täckt av en tunn kalkputs
Kronoberg	- kubbhus	- i eldstäder	- invändig lerklining av väggar	
Norrbottn (ej besvarat enkäten)		- i eldstäder		
Skåne	- korsvirkeshus - lerstenshus - lerhus/mackelerade hus - stamphus	- i eldstäder - i murade fackverk i korsvirkeshus - skalmurskonstruktioner	- invändig lerklining av väggar - stampade jordgolv - <i>innerväggar murade i lersten*</i>	- i facken på korsvirkeshus
Stockholm	- kubbhus	- i eldstäder	- invändig lerklining av väggar	
Södermanland	- kubbhus - lerhus/mackelerade hus	- i eldstäder - i lerstensmurverk	- invändig lerklining av väggar - fyllning i trossbotten - <i>lerstensmurverk*</i>	- på timmertomme, täckt av en tunn kalkputs

Uppsala	- lerstenshus - lerhus/mackelerade hus - stamphus	- i eldstäder	- invändig lerklining av väggar	- på timmerstomme, täckt av en tunn kalkputs - på timmerstomme, ej täckt av en tunn kalkputs
Värmland	- kubbhus - lerhus/mackelerade hus	- i eldstäder	- invändig lerklining av väggar	
Västmanland	- lerstenshus - lerhus/mackelerade hus	- i eldstäder		
Västerbotten (ej besvarat enkäten)	- stamphus	- i eldstäder		
Västernorrland	- stamphus	- i eldstäder	- invändig lerklining av väggar - tätning av timmervägg invändigt	
Västra Götaland	- stamphus - kubbhus - knoppus - lerstenshus - lerhus/mackelerade hus	- i eldstäder - i lerstensmurverk	- invändig lerklining av väggar - tätning av tegel-tak - tätning av trossbotten - fyllning i trossbotten	
Örebro	- lerstenshus - lerhus/mackelerade hus - stamphus	- i eldstäder - i lerstensmurverk	- invändig lerklining av väggar - tätning av trossbotten - fyllning i trossbotten	
Östergötland (ej besvarat enkäten)	- lerstenshus	- i eldstäder - murbruk i tegelstensmurverk	- invändig lerklining av väggar	

Tabell 1. Enkätundersökningens resultat.

Resultatet av enkätundersökningen ger information om att vissa av de användningsområden som hittats i den genomgångna litteraturen, inte är kända hos någon utav de personer som har besvarat enkäten. Detta kan bero på många orsaker, såsom att just personerna som besvarade enkäten inte hade kunskap om just dessa användningsområden, eller så har de helt enkelt missat att ta med funktionerna för att de är så självklara. Det kan alltså finnas många orsaker till varför dessa metoder utelämnades i svaren.

Enkätundersökningen har vidare genererat nya användningsområden för lera som byggnadsmaterial som den undersökta litteraturen inte tar upp, såsom; murbruk vid kalkstensmurning, tätning av tegeltak, tätning av knutkedjan på timmerkonstruktioner, samt att ler-

stensmurverk inuti en byggnad förekommer och inte enbart hela lerstenshus eller murstockar av lersten.

Ny kunskap som framkommit angående lera är flera än tidigare nämnda användningsområden. Från Kalmar läns museums svar framkom att lertagen, där lera som använts till byggnader och byggnadsdelar, är markerade och namngivna på äldre kartor i länet. Detta kanske även har funnits i andra län, men att vetskapen om detta inte finns, men det tyder på att leran ändå har haft en viktig betydelse för människor i äldre tider då man faktiskt tog sig tid att markera ut lertagen på en karta. Från Regionsmuseet i Kristianstad framkom att de där har lärt sig att i en del fall se på lerans färg och sammansättning om den är från en känd lertäkt i närheten.

Enkätundersökningen visar vidare att samma användningsområde för lera som byggnadsmaterial ofta finns i flera av länen. Däremot kan kunskapen om hur denna lerteknik fungerar kanske enbart finns i ett av

länen och då är det viktigt att det län som saknar kunskapen om den lertekniken vet att kunskap finns på annat håll, i ett annat län. Detta för att i sin tur kunna ta hjälp från det länet, som besitter kunskapen om lertekniken, vid en restaurering eller dokumentation av en kulturhistoriskt värdefull byggnad.

Överlag visar dock enkätundersökningen att det finns viss kunskap om lera hos alla de läns museer som besvarat enkäten, om än mer i vissa län än andra. Kunskapsläget kan dock förbättras en hel del, vilket också uttrycks i majoriteten av enkätsvaren. Det finns viss kunskap, men den är i många län ytlig och lämnar mer att önska. Ett steg i att öka kunskapen om lera och dess användningsområde som byggnadsmaterial i äldre bebyggelse är att dela med sig av kunskap från de andra länen.

Diskussion och slutsatser

Efter de utförda undersökningarna att ta reda på hur leran har använts i äldre bebyggelse i Sverige så har en hel del användningsområden framkommit. Det finns fortfarande en chans att någon lokal användning som inte nämnts i den undersökta litteraturen eller fram-

kommit i enkätundersökningen, men majoriteten av användningsområdena har med största sannolikhet täckts in i arbetet. Följande användningsområden för lera som byggnadsmaterial har framkommit, se tabell 2.

Vid enkätundersökningen om hur användningsområdena i äldre bebyggelse skiljer sig beroende på vart i Sverige byggnaderna befinner sig, visade det sig att lera har använts mer eller mindre i hela landet men med vissa regionala skillnader. Det undersökningen också visade var att kunskapen om lera skiljde sig en del från län till län, men att kunskapsläget om lera i äldre bebyggelse idag kan förbättras överlag.

Enkätundersökningen visar också att vissa användningsområden för lera som byggnadsmaterial i äldre bebyggelse inte är kända hos något av de läns museer som besvarat enkäten, där lerhus och vicklor/klibbstakar i tak är sådana exempel. Vad detta beror på kan det finnas flera orsaker till och kan därför inte helt fastställas.

Även nya användningsområden för lera har framkommit i och med enkätundersökningen, såsom murbruk vid kalkstensmurning och tätning av tegeltak, vilket är positivt då dessa användningsområden annars kanske skulle falla i glömska helt men nu istället får vara en del av det här arbetet. Annan ny kunskap som framkommit är att lertag, ställen där lera som använts till byggnader tagits ifrån, har varit utmarkerade på äldre kartor. Detta tyder på att leran har haft en större vikt hos människor än vad många kanske tror. Ett annat enkätsvar visar att det i ett län finns en så pass stor kunskap om lera att det faktiskt i vissa fall går att se på färgen och sammansättningen om en lera är från en lertäkt i närheten.

Enkätundersökningen visar överlag att ett kunskapsunderlag av lerans användningsområden i äldre bebyggelse i Sverige fortfarande finns men att den är bristfällig, mer i vissa län än i andra. Samma användningsområde för lera finns i flera olika län, medan kunskapen om hur denna lerteknik fungerar kanske bara finns i ett av länen. Då måste det län som saknar kunskapen om den lertekniken/ler-användningsområdet veta att kunskapen finns i en annan region och ta hjälp därifrån vid en eventuell restaurering eller dokumentation så att kunskapen sprids och att risken för att kulturvärden i berörda byggnader förstörs minskar.

Lerans egenskaper är många, och i de användningsområden som undersökts och hittats har den haft mestadels positiva. Leran är fuktbuffrande, vilket innebär att den tar upp fukt från omgivning, men också att den släpper ifrån sig den fukten. Detta bidrar till ett bra inomhusklimat då luftfuktigheten är jämn över hela året.

När leran buffrat så mycket fukt så att den faktiskt blir våt så sväller lermineralerna och bildar ett vattentätt skikt, för när leran är mättad på fukt så släpper den inte

Tabell 2		
Lerhustekniker	Murbruk	Övriga användningsområden
lerstenshus	gråstensmurning	tätning av trossbotten
lerhus	lerstensmurning	fyllning av trossbotten
stamphus	kalkstensmurning	tätning av säten på timmerväggar
knubb-/knopphus	Tegelstensmurning	vicklor/klibbstakar i tak
kubbhus	eldstäder	utvändig lerklining av timmerhus, lerstenshus, korsvirkeshus
korsvirkeshus	murstockar	tätning av tegeltak
	Skalmurskonstruktioner	tätning av knutkedjan på timmerkonstruktioner
		golv
		skydd vid inmurning av bjälkändar
		skydd ovanpå ugnen i järnspisar
		invändig lerklining av timmer-, tegel-, lerstens- och naturstensväggar
		invändig lerklining av tak
		lerstensmurstockar
		lerstensmurverk

igenom mer. Detta har utnyttjats i vattenreservoarer, f rd mningsanl ggningar och gödselbrunnar. Likaså har denna effekt nyttjats vid tätskikt under vägbanan i stenvalvsbroar. Den tål också mycket fuktigare klimat  n kalkbruk, men också mycket höga temperaturer, så pass att ett femton millimeter tjockt putslager lera uppfyller kraven för brandklass I. Lera ger också ett bruk med hög elasticitet som tål rörelser och skapar heller ingen grogrund för hussvamp.

Leran har fungerat som tätande material i byggnadskonstruktioner för att förhindra drag och kyla samtidigt som den håller möss, l ss och skadeinsekter borta vid fyllningar i byggnadsstommen. Lera  r också tungt och  r därför mycket ljudisolerande.

Lerans många goda egenskaper i form av att den kan ta upp och ge ifrån sig fukt  r också bidragande till dess negativa egenskap, nämligen att lera som material inte är lika v derbest ndigt som andra bruk och därför inte fungerar så bra utvändigt på en byggnad. Den b r därför försöka skyddas av ett annat material, såsom kalk eller träpanel, i de fall då den inte fungerar som ytskikt utvändigt.

De slutsatser som kan dras efter undersökningarna är att lera har många fler användningsområden som byggnadsmaterial i äldre bebyggelse än vad många tror, både som hela hus samt i olika byggnadsdelar med olika funktioner. Lera som byggnadsmaterial besitter många bra egenskaper, såsom att den  r fuktbuffrande, brand-s ker, isolerande och billig. Det är dock inget mirakelmaterial som har svaren på alla problem, men i den äldre bebyggelse där den använts har den fyllt sin funktion mycket bra.

Kunskapen om lera skiljer sig i olika delar av Sverige, då den  r större i vissa l n än andra. Även användningsområdena för lera skiljer sig en del från l n till l n, men många lertekniker har varit vanligt förekommande i hela Sverige. En del användningsområden som äldre litteratur tar upp  r inte kända i Sverige längre, men vad detta beror på  r oklart. Även om kunskap om lera finns hos l nsmuseerna idag så är den bristfällig, mer i vissa l n än andra, och måste därför spridas mer. Detta är viktigt för att minska risken för att kulturv rden i berörda byggnader förstörs.

Genom att tillvarata och sprida kunskapen om olika lertekniker och hur de tillämpas praktiskt så lever kulturv rden upp till PBL:s varsamhetskrav samt Riksantikvarieämbetets krav på hur en kulturhistoriskt värdefull bebyggelse ska underhållas samtidigt som ett traditionellt hantverk h lls vid liv.

Referenser

Adlersparre, G.. *Lösning i blandade ämnen*. Stockholm, 1797-1801.
Andersson, E.; murare vid  hmans Bygg AB i Ljusdal. Intervju

- 2017-05-05.
Andersson, I. (2004) *Lera - ett användbart material*.  ter. no. 3, 2004.
Budhu, M. (2011) *Soil Mechanics and Foundations*, 2nd Edition. John Wiley & Sons
Ellington, K. J. (1920) *Billiga bostäder av pressad jord*. Stockholm: Svenska tryckeriaktiebolaget
Gudmundsson, G. (2006) *Byggnadsvård i praktiken - Invändig renovering*. Gysinge: Gysinge Centrum för Byggnadsvård.
Henström, A. (1869) *Praktisk handbok i landtbyggnads-konsten*. Örebro: Beijer
Jerer, C., Westerberg, S.. (2004) *Knubbus: Murade trähus - resurssnålt självbyggeri med spillvirke*
Kjellén, E. och Hökerberg, O. (1928) *Byggnadskonsten, dess teori, juridik och praktik*. Stockholm: Hökerberg,. Tredje avdelningen: Praktik.
Leuchs, J. C. och Prochnow, J.G. (1854) *Stenfasta hus utan tegel eller gjutna sandstenshus*. Stockholm: Aftonbladets tryckeri.
Lindberg, C-O., Molin, K.G. (1950) *Jordhusbygge Arbetsbeskrivningar och ritningar*. Stockholm: Förlagsaktiebolaget Hem i Sverige.
Lindberg, E-R. (2002) *Gjort av jord: lerjord som byggnadsmaterial i Sverige och länder med likartat klimat*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan,
Melin, K-M.. (2011) *Hantverkskunskap rörande skånsk byggnation med lera på landet*. Kristianstad: Knadriks Kulturbbygg AB (opublicerad)
Minke, G.. (2000) *Earth construction handbook: the building material earth in modern architecture*. Southampton: WIT Press, cop
Nationalencyklopedin. <http://www.ne.se/> 2017
Olsson, E. (2017) *Ler- och långhalm - En studie av lera som byggnadsmaterial i svensk äldre bebyggelse*. Kandidatuppsats i Kulturvård. Visby: Uppsala universitet
Palmgren, L. A. (2003) *Svenska jordhus med lera och kalk 1750-1950*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.,
Seidelin, K. H. (1798) *Underrättelse om sättet at bygga stamp-hus eller beqw ma och of rbr nneliga hus af jord eller lera*. Af K. H. Seidelin.  fvers ttning med företal af Anders Jahan Retzius. Lund: Tryckt hos professor Johan Lundblad
Sjöström, A.. (1891) *Landtmanna-byggnader: Handledning i landbruksbyggnadskonsten hufvudsakligen afsedd f r mindre jordbruk*. Kuopio
Stål, C. (1854) *Utkast till allmän byggnadslära*. Fahlun
Thorsén, N. Nilsson (1956) *Kulturbilder från gamla Str land*. Skurup: Kulturnämnden.,
von Swab, A. (1761) *At St pa Hus av sönderstött slagg och murbruk*. Kungliga vetenskapsakademiens handlingar. hosting.devo.se/kvah
 kerr n, O. (1811) *Begrepp om Lerhusbyggnad, i jämförelse med våra vanliga byggnadssätt samt om tak och grundläggning*. Stockholm

Bildkällor

- Figur 1; https://www.fei.com/uploadedImages/FEISite/Content/Image_Gallery/Images/IM_2010422_mahmoud_66_Kaoliniteb_lg.jpg, hämtad 2017-06-04.
Figur 2; http://www.microped.uni-bremen.de/Bilder/SEM_01.jpg hämtad 2017-06-04.
Figur 3; <http://file.scirp.org/Html/4-440016/9d893c90-aa2d-46bf-a6fi-2bc59aec714.jpg> hämtad 2017-06-04.
Figur 4: skiss av Kristin Balksten, efter förlaga i Budhu, Muniram 2010.
Figur 7: Leuchs & Prochnow 1854
Figur 8: Sjöström (1891)
Figur 9-10: Lindberg & Molin (1950)

4 Tegelmurverkens utveckling i Sverige

Författare: Frida Johansson

På 1100-talet tog cisterciensermunkarna kunskapen om tegeltillverkning till Norden. Under de 800 år som följde spreds teglet till alla olika samhällsskikt: från domkyrkor till slott, till köpmansbostäder och nationalromantiska flerfamiljshus, ut på landet i böndernas ekonomibyggnader och tillbaka in till villaförorternas 1970-talshus. Här följer en berättelse om tegelmurverkens utveckling och om vad som styrts förändringen.

Introduktion

Under utbildningen på Byggnadsantikvarieprogrammet ingick många böcker; om gamla restaureringsarkitekter, vandrande fukt, traditionell färg och byggnadsarkeologi. Men i all den litteratur som lästes fann jag ett tomrum – om teglets historia och framtid. Ingenstans fanns det svenska murteglets historia sammanställt med en bredd över tid och rum. Litteraturen koncentrerade sig vanligtvis på ett tegelbruk, ett geografiskt område eller en begränsad tidsperiod. Examensarbetet fick därför bidra till det som saknades: en kronologisk sammanställning över tegelstenarnas utseende, murförbandens uppbyggnad och tegelbrukens historia – allt kopplat till olika förändringar i samhället och med en bredd över tid och rum. Den här artikeln bygger på examensarbetet "Från slott till koja – en studie av det svenska murteglets historia" av Frida Johansson 2017.

Hur teglet kom till

Tegel är inget ungt byggnadsmaterial. Redan för 10 000 år sedan använde man i Jeriko, dagens Palestina, obrända lerstenar. För 5000 år sedan började man bränna dessa, troligtvis för att de skulle bli mer vattentåliga (Burström 2007). Det brända teglet blev ett uppskattat byggnadsmaterial i Mellanöstern, och det spred sig snart upp genom Europa, vilket syns i bland annat romarnas Pantheon (färdigställt år 125) och kyrkan Aula Palatina i tyska Trier (år 310), även den byggd av romare.

Munkarna och teglet

Under mitten av 1100-talet anlände de franska cisterciensermunkarna till Norden. Munkorden tog med sig kunskapen om att bränna och bygga med tegel, en kunskap de först visade upp i klosterkyrkan i danska Tvis, uppförd 1163. Från denna kyrka finns det ännu ett par tegelstenar bevarade, inmurade i väggen i Mejdal Kirke som ligger i närheten av det gamla klostret. Dessa tegelstenar är mycket stora jämfört med dagens standard och de har tydliga spår efter att ha blivit handslagna vid tillverkningen.



Figur 1. Tegel från den äldsta tegelbyggnaden i Norden, uppförd i Tvis 1163, sitter idag inmurat i Mejdal Kirke i Danmark. Foto: Henriette Ørso Kvisgaard (med tillstånd).

Inte mycket är känt om munkarnas tegeltillverkningsprocess, men klart är i alla fall att det var vanligt att de byggde ugnar i närheten av byggplatserna och brände teglet på plats. Detta skedde bland annat vid Mariakyrkan i Sigtuna, vilken uppfördes av franska dominikanermunkar 1255. Det var byggmästaren och murarmästaren som tillsammans "ägde" det lilla tegelbruket, enligt Ambrosiani (1926). Det var deras gemensamma ansvar att se till så att tillverkningsprocessen gick rätt till och gav bra tegel. Leran plockades upp alldeles i närheten av ugnarna, formades, brändes och fraktades sedan till byggplatsen. Teglet murades i ett så kallad munkförband, vilket var vad munkarna använde redan på 1100-talet. Detta innebar två löpstenaar (längsidor) följda av en kopp (kortsidor), förskjutna en bit för varje varv.

Ytterligare en munkorden befann sig i Sverige under 1200-talet, nämligen franciskanerna, också kända som gråbröderna. På 1270-talet fick de tillstånd av Magnus Ladulås att bygga ett kloster och en kyrka på Riddarholmen i Stockholm. Delar av detta kloster finns idag kvar under Kammarrättens hus. Kyrkan, som numera är känd som Riddarholmskyrkan, har fortfarande kvar delar av originalmurverket. Enligt Alf Henriksson (1963) och Jermsten (2008) drev franciskanerna tegelbruk i Stockholm under 1300- och 1400-talen. Det ena låg på Riddarholmen, det andra vid Rörstrand en bit norrut.

Här märks det skillnad på de olika munkordnarnas sätt att bränna och bygga med tegel: cistercienserna förlade sina kloster till landsbygden, dominikanermunkarna uppförde kyrkor i betydelsefulla städer som Sigtuna och Strängnäs. De urbana franciskanerna byggde i städerna, samt bedrev större tegelbruk, inte bara i Stockholm utan också i bland annat Jönköping och Uppsala (Agius 2015).

Även om munkarna var duktiga på tegelbrännarkonsten redan från början, så blev de allt bättre med tiden. Enligt Jan Svanberg (2013) i "Medeltida byggmästare i Norden" högg man från början ut dekorativa former ur murteglet, men lärde sig snart att tillverka träformarna på ett sådant sätt att teglet redan vid bränningen hade den önskade formen. Teglets formbarhet gjorde det populärt under medeltiden, och det valdes ofta till masverk, fönsteromfattningar och ornamentik.

Trots att munkarna var aktiva i sitt tegelbyggande i

Sverige, var ändå Danmark längre fram i utvecklingen. Redan på 1200-talet byggdes där ett tegelhus i tre våningar för bostadsändamål. I Danmark och södra Sverige led man av virkesbrist, vilket tros vara en förklaring till varför tegelbyggandet var längre framskridet där. Teglet blev dock med tiden särskilt populärt i Mälardalsområdet, där leran var "tät, elastisk och lagom fet" samt innehöll mycket järnoxid vilket gav teglet den eftertraktade röda färgen (Svensson, 1985).

Domkyrkan och digerdöden

Trots att munkarna på 1200-talet hade hunnit bygga med tegel på flera platser runt om i Sverige, var teglet långt ifrån ett byggnadsmaterial för "vanligt folk". Ett steg framåt i denna utveckling kom dock när Uppsala domkyrka började byggas år 1270. Dominikanermunkar var under tiden verksamma i Uppsala – flera av dem blev senare ärkebiskopar i kyrkan – vilket kan erbjuda en



Figur 2. Mariakyrkan i Sigtuna, uppförd av dominikanermunkarna och invigd 1255. Teglet brändes i provisoriska ugnar strax norr om bygget, och murades i ett så kallad munkförband. Foto: Frida Johansson

förklaring till valet av tegel som byggnadsmaterial i domkyrkan. Teglet kunde dessutom brännas på plats vilket sparade tid och pengar, eftersom man då inte behövde frakta så mycket sten till platsen. Sten valdes dock som material till sockeln och kyrkorummets pelare.

Bygget av domkyrkan löpte framåt, men på mitten av 1300-talet slog pesten till, vilket tros ha dödat så många som halva Sveriges befolkning. Domkyrkobyggandet saktade förstås ner när arbetsstyrkan minskade, vilket kan ligga bakom det faktum att man övergick allt mer till tegel. Detta visar sig bland annat i att mittskeppets pelare byggdes i tegel istället för sten, då teglet gick snabbare att bränna och mura. Nämnas bör också att Gotland, där man hämtade sten till bygget, blev danskt 1361, vilket säkert begränsade tillgången på kalksten (Henriksson 1963).

Munkarna använde sig som bekant främst av munkförband i sina byggen. I Uppsala domkyrkas bevarade originalmurverk syns dock att det är murat med vendiskt förband, vilket starkt pekar på att utländska murmästare fanns på plats. Litteraturen nämner utländska murarbetare först under 1500-talet, men det måste alltså funnits i Sverige redan på 1200-talet. Byggherren vid byggstarten var fransmannen Estienne de Bonnueill – kanske var det han som såg till så dessa kom till Uppsala.

Uppsala domkyrka, som slutligen invigdes 1435, sägs ofta ha varit en inspirationskälla för andra städer och byggmästare, som ska ha fascinerats av vad man kunde göra med tegel och därför själva ville använda materialet. Detta är något som nämns i flera källor, men det verkar

vara mer av en slags vandringsägen. Under arbetet med examensarbetet blev jag mer och mer säker på att så inte var fallet, utan att man i södra Sverige inspirerades mer av den danska tegelarkitekturen (flera stora danska tegelkyrkor byggdes samtidigt som Uppsala domkyrka, bland annat i Trelleborg, Sölvesborg och Helsingborg), och att man i Mälardalen redan var medvetna om teglets möjligheter tack vare munkarnas byggen.

På 1400-talet började man så smått bygga med tegel i Gamla stan i Stockholm, där husen stod tätt och brandrisken var överhängande (Håkansson 1925). 1445 hade en stor brand drabbat staden, och en tredjedel av den brann ner (Lundin & Strindberg 1882). Med detta färskt i minne bildades 1487 den första skråordningen för Murmästarämbetet i Sverige (Hesselman 1945). Skrået strävade efter att vara ett slutet ämbete där endast ett begränsat antal murmästare fick vara medlemmar. De vann stort förtroende och reste runt i landet för att arbeta. Murarskrået är ännu ett tecken på att domkyrkobyggandet inte var särskilt omvälvande för det svenska tegelbyggandet – i detta fall berodde det snarare på teglets brandsäkra egenskaper.

Gustav Vasa skapar sig problem

Gustav Vasa och hans reformation under 1520-talet är kanske en av de största förändringarna i Sveriges historia, eftersom den innebar att Sveriges kontakt med påven bröts. Munkordrarna, som var katolska, fick därför sina verksamheter nedstängda av kungen. Vasa lät stänga ett stort antal kloster och kyrkor, men lät bevara bland annat Mariakyrkan i Sigtuna. När munkarnas verksamheter försvann, gjorde även en stor del av Sveriges tegelkunskap det. Tegel blev istället en importvara, där Nordtyskland, Holland och Pommern blev de största leverantörerna. Även hantverkare fick importeras, bland annat var det tyska sådana som tillverkade teglet till Kalmar slott (Meissner 2010).

1537 fick Gustav Vasa problem. Han gav order om att påbörja bygget av Gripsholm slott, en del av ett nationellt försvarssystem. Slottet skulle uppföras i tegel, möjligen ett något förvånande beslut när Vasa själv sett till så det knappt fanns några murare eller tegelbruk kvar i landet. Lösningen blev att samla ihop alla murmä-

Figur 3. De brokiga fasaderna på Gripsholms slott. Foto: Frida Johansson



tare i Sverige, samt att skeppa tegel från ett tegelbruk i Strängnäs (Westlund 1948). Teglet kom dock inte till bygget i tillräckligt snabb takt, så Vasa bestämde sig för att få de kvarvarande munkarna att riva sina kloster och frakta teglet till Gripsholm. Detta var inte enda gången Vasa fick återanvända tegel till sina byggen - vilket förvisso var miljövänligt men också innebar att kronans slott och försvarsanläggningar från tiden ofta blev ett mischmasch av tegel från olika tidsepoker. Det stora antalet murmästare ledde också till att flera olika förband förekommer på Gripsholm: kryssförband, blockförband, vilda förband samt vendiskt förband syns i slottets fasader. Det vendiska förbandet blev vanligare efter Vasas reformation, när munkarnas inblandning i tegelvärlden blev mindre.

Den vitkalkade stormaktstiden

Fram till 1600-talets stormaktstid hade idealet varit lysande, röda tegelfasader, ett tecken på rikedom och modernitet. Efter sekelskiftet 1600 var det snarare teglets byggnadstekniska egenskaper som hamnade i fokus, men man såg till att gömma undan teglet i form av puts, färg eller ett yttre lager sten. Enligt Håkansson (1925) kan detta också berott på att tegeltak blev allt vanligare, och man tyckte husen lyste alltför starkt i rött med både tegelfasader och tegeltak.

Ett av de slott som började byggas i och med den rika stormaktstiden var Skokloster slott. Flera år före byggstart började ett tegellager byggas upp på plats och 1652 fanns det 260 000 murtegelstenar lagrade vid det blivande slottet enligt Millhagen (1998). Detta räckte inte, utan byggherren greve Wrangel lät även mura upp två tegelugnar på platsen så tegellagret inte skulle sina. Trots Wrangels ansträngningar fick två tredjedelar av teglet som användes i slottet fraktas med prämar från Wrangels närliggande gårdar med tegeltillverkning. Mycket besvär, kan tyckas, och ändå täcktes teglet snabbt över med en skinande vit puts.



Figur 4. Tegelvalv i källaren på Skoklosters slott. Slarvigt lagt koppförband. Foto: Lotta Lindley (med tillstånd)

Under 1600-talet blev teglet mindre och jämnare i både form och färg än tidigare. Vid den här tiden brändes teglet av vana murmästare, och det fick på så vis ett mer konsekvent utseende. Man övergick också till det starkare kryssförbandet, även om blockförbandet förekom då och då. Tegelbränning i stor skala var nu inte längre

munkarnas, kyrkans eller kungens domän, utan gick att utföra av vem som helst med mycket makt och pengar.

Tegelreformationen tar slut

1686 infördes husförhållningssystemet i Sverige, vilket innebar att kyrkan skulle se till så att församlingens barn lärde sig att läsa (Werne 1993). Under 1700-talet, i takt med att det svenska folket blev allt mer kunniga läsare, utgavs allt fler instruktionsböcker. En som skrev om just tegeltillverkning var Carl Wijnblad (1762). De läskunniga i trakten kunde på så vis lära sig bränna tegel själva, en kunskap som de sedan spred vidare. Detta ledde till att ekonomibyggnader och mangårdsbyggnader i tegel blev en allt vanligare syn på den svenska landsbygden under 1700-talet. Bönder slog sig ihop för att starta små tegelbruk tillsammans, och deras tegel användes både lokalt och såldes vidare till andra.



Figur 5. 1500-talstegel och 1700-talstegel i S:t Clara kyrka. Notera de olika förbanden. Foto: Frida Johansson

Under 1700-talets frihetstid blev folket viktigare och kronans makt minskade. Staten propagerade för att man skulle minska på trähusbyggandet till förmån för stenhus (Werne, 1993). Många sporrades av detta och flera tegelbruk startades, det största låg i Kristianstad. I Wika låg ett annat stort tegelbruk, där tolv vuxna och tolv barn tillverkade femtusen tegelstenar om dagen. Ett av 1700-talets tegelbruk finns kvar idag – Haga tegelbruk. De nya tegelbruken, tillsammans med de brännande bönderna, gjorde så att teglet fick sitt första stora genomslag på landsbygden.

Eftersom puts utanpå teglet fortfarande var ideal, en kvarleva från 1600-talet, kan det vara svårt att få syn på 1700-talstegel. På en plats, mitt i hjärtat av Stockholm, syns det dock tydligt, nämligen på S:t Clara kyrka. Kyrkan uppfördes av Johan III i slutet av 1500-talet, och hade då nakna tegelfasader. Efter en brand 1751 fick delar av murverket bytas ut, och för att det nya teglet skulle passa

in lämnades det oputsat. Här syns alltså mycket tydligt hur teglet hade förändrats under 200 år.

Nationalromantik och urbanisering

Under 1800-talet fortsatte stora tegelbruk att uppkomma, bland annat Horns i Skövde, Sillbo i Heby och Slottsmöllan i Halmstad. Trots detta var det vanligt att importera tegel, främst det karaktäristiska Flensburgteglet från Tyskland. Detta gula tegel fick en stor påverkan på byggnadsstilen i Göteborg, då det visade att man var modern och hade hög status.

1890 började det Bünsowska huset på Strandvägen 29-33 i Stockholm byggas. Det tegel som inte skulle synas ut mot vägen kom från Ekolsunds tegelbruk i Enköping. Fasadteglet däremot, det importerade man från Pommern (Lundin 1890). Vid denna tid hade nationalromantiken slagit till i Sverige, som en motpol mot industrialismen. Man ville därför ha nakna tegelfasader, som på gamla slott. Ett av de största nationalromantiska verken var Stockholms stadshus, ritat av Ragnar Östberg och invigt på 1920-talet. Östberg valde bort det nya maskinslagna teglet till förmån för handslaget stortegel, åtminstone till fasaden.

Nationalromantik eller inte, så nådde industrialismen tegelvärlden under 1870- och 80-talen. Jobben flyttade in till städerna och invånarna följde efter. Vid 1800-talets början bodde 10 % av Sveriges befolkning i städerna – 90 år senare var siffran uppe i det dubbla (SCB 2015). I Sveriges städer var det därför dags att sätta igång med bostadsbyggandet. Tegel blev ofta valt som material, på grund av att det gick snabbt att mura upp och höll städerna relativt brandsäkra. Det nya, maskinslagna teglet gjorde dessutom att det blev billigare att köpa, något som särskilt glädde landets bönder (Ulväng 2004).

Tegelbruken blir industriella

Om det hände mycket under teglets första 700 år i Sverige, så hände det ännu mer under perioden 1870-1970. Vid sekelskiftet 1900 var det fortfarande relativt vanligt att själv bränna tegel hemma på gården, men detta förändrades i takt med industrialismens framfart. Ingenjörer och arkitekter fick allt högre kunskap om hållbarhetslära, järnvägen förenklade transporter, boende fick högre komfortkrav och affärsmän såg en möjlighet att tjäna pengar – och så mekaniserades tegelindustrin.

I slutet av 1800-talet började man därför experimentera med tunnelugnar och ångdrivna tegelpressar. Efterhand blev dessa nya metoder allt mer förfinade och den hårda konkurrensen drev på tegelbruken att skapa allt bättre tegel. Enligt Nordisk familjebok (1919) steg värdet på tegelindustrin från 3 miljoner kronor år 1885, till 16 miljoner kronor år 1910 (inklusive taktegel). Detta mots-



Figur 6. Strandvägen 29-33, en nationalromantisk borg murad i kryssförband. Foto: Frida Johansson

varar i dagens penningvärde en värdeökning med 678,4 miljoner kronor. Den industriella revolutionen hade dock gjort så att tegelbruksarbetarna inte längre skulle ha jordbrukslöner, utan industriarbetarlöner. Lönekostnaderna steg, och därmed också tegelpriserna. Under de första decennierna på 1900-talet blev teglet därför plötsligt dyrt att köpa. Inte nog med det, så ökade 1931 kraven på hållfastheten på teglet, och den höga standarden som krävdes höjde priserna ännu mer. Man började i Sverige titta allt mer och mer åt lättbetongens och betongens håll.



Figur 7. Maskinslaget tegel från 1880-talet. Helgo Zettervalls torn på S:ta Clara kyrka. Foto: Frida Johansson

Den nya, industriella tegeltillverkningen gjorde branschen allt mer känslig för yttre faktorer. Om detta skriver John Baunge (1946:5) i tidskriften "Tegel", där han

berättar att Kungliga Kommerskollegium sedan 1896 hade fört statistik över tegelproduktionen i Sverige. Baunge, som ritat ut en graf över detta, beskriver den som "en alfantasi". I grafen går att avläsa högkonjunkturen i början av 1900-talet, storstrejken 1909, första världskriget, börskraschen 1929, Kreugerkraschen 1930-1933, andra världskriget 1939 samt försäljningsstarten för håltegel 1941.



Figur 8. Tillverkning av murtegel 1896-1945. Efter uppgifter i Baunge (1946:5), sammanställd av författaren.

Funktionalism och hembränning

Funktionalismen och den närbesläktade 20-talsklassicismen, var motreaktioner till den utsmyckade nationalromantiken, och de fick fart på 1920-talet. Det som särskiljer denna epok från de tidigare, är främst att teglet inte längre var det självklara bärande materialet i bostadshus. Istället blev teglet förpassat till fasadmateriäl, medan betong och trä användes i den bärande konstruktionen. Ofta lades också en ljus puts över teglet, för att passa in i tidens dåvarande stilideal (Lindgren & Moeshlin 1985). Nakna tegelfasader från tiden går främst att hitta i allmogebyggnad.

Tegel var vid denna tid fortfarande relativt vanligt att man brände hemma på gården, trots industrialiseringen. Under skrivandet av min uppsats kom jag i kontakt med Sune Fransson, fastighetsingenjör på Karlstads stift, som berättade om hur hans far och farfar brände tegel till en ladugård på 1930-talet. En bra lera letades upp och grävdes fram, blandades med sågspån och slogs i formar. I två veckor soltorkades sedan teglet, innan det staplades upp i en tunnelformad ugn. I ugnen brändes teglet i en vecka, dygnet runt, och man vände på lertegelstenarna för att de skulle brännas så jämnt som möjligt. Enligt Sune står ladugården med det hembrända teglet kvar än idag.

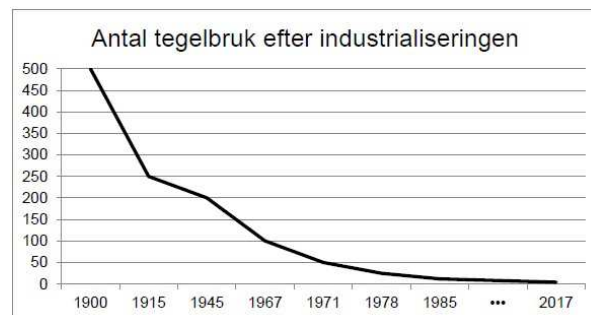
För att få till ett bra tegel fanns det många tips i instruktionsböckerna som man kunde använda sig av. År 1869 skrev Arvid Henström i "Praktisk handbok i Landtbyggnadskonsten" att en bra tegellera inte bör spricka sönder i handen utan formas till en liten boll med mär-

ken efter handens finaste linjer. Carl Stål skrev i "Utkast till allmän byggnadslära" år 1854 hur man kunde testa teglets kvalitet genom att låta det ligga i vatten en tid. Om dess vikt ökade obetydligt, var kvaliteten bra.

Som tidigare nämnt började man 1941 sälja håltegel, vilket gjorde teglet (och murarnas jobb) lättare. Det innebar också en förbättrad isoleringsförmåga samt att teglet blev lättare att få jämnbränt och därmed högkvalitativt. Håltegel gav, tack vare dess bra egenskaper, upphov till den sista blomstringen i det svenska murteglets historia.

Byggnadsmaterialet som försvann

1964 togs beslutet att man mellan 1965 och 1975 skulle bygga en miljon nya bostäder i Sverige – det så kallade miljonprogrammet. Urbaniseringen och den ökade folkmängden under 1900-talet hade skapat en stor bostadsbrist i landet. För att kunna uppföra en så stor mängd bostäder på så kort tid föll valet ofta på betong som byggnadsmaterial. Många gånger använde man skalmurar av tegel som fasadmateriäl – teglet var ofta redan fastsatt på väggarna när de restes (Roos & Gelotte 2004). Under mitten av 1900-talet var löpförbandet bland de absolut vanligaste förbanden. Detta, tillsammans med tegelstenar som är mycket jämna i både färg och form, visar ofta tydligt att en byggnad är från denna tid.



Figur 10. Tegelbrukens nedgång under 1900-talet. Efter uppgifter i Olsson (1987), sammanställd av författaren.

Figur 9. Tegel som skalmur i ett miljonprogramshus i Sollen-tuna. Modernt löpförband. Foto: Frida Johansson



I en graf i boken "Skiljande träkonstruktioner" (Hagstedt & Nyström 1977) syns hur tegelanvändningen i flerfamiljshus minskade från att ha använts i 80 % av nybyggen (1930-tal) till cirka 20 % (1960-tal). Under samma period ökade betongen från ett fåtal procentenheter till över 50 %. Betongen och miljonprogrammet blev alltså det som till slut stoppade teglets framfart, även om den ekonomiskt känsliga industriella tegelindustrin redan var på god väg neråt.

Plötsligt var teglet långsamt, tungt och dyrt, medan betongen var ett snabbt, enkelt och billigt alternativ. Det fanns inte längre någonting som kunde få igång tegelförsäljningen igen. Ett efter ett slog Sveriges tegelbruk igen, och idag finns endast tre murtegelbruk kvar. Denna siffra kan jämföras med de 500 stycken som fanns vid sekelskiftet 1900.

Referenser

- Agius, Roland (2015) *Franciskanerklostret i Uppsala*. <http://bit.ly/2oEyTtS> [Hämtad 2018-05-05]
- Ambrosiani, Sune (1926) *Tegelbyggnader i Norden. 1, Byggnader från romansk tid*. Stockholm: Sveriges tegelindustriförening.
- Baunge, John (1946:5) *Sveriges tegelindustri under de senaste 50 åren*. Tidskriften Tegel.
- Burström, Per Gunnar (2007) *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. 2 uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Fransson, Sune. Mejlkontakt 2017-05-03.
- Hagstedt, Jan & Nyström, Peter (1977) *Skiljande träkonstruktioner*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Henrikson, Alf (1963) *Svensk historia*. 2 uppl. Stockholm: Bonnier.
- Henström, Arvid (1869) *Praktisk handbok i Landtbyggnadskonsten*. Örebro: Abr. Bohlins boktryckeri.
- Hesselman, Georg (1945) *Från skråhantverk till byggnadsindustri*. Stockholm: AB Tidskriften Byggmästaren.
- Håkansson, Ossian (1925) *De som byggt Stockholm*. Stockholm: Seelig & C:o.
- Jermsten, Elisabet (2008) *S:ta Clara kyrka*. Stockholm: Stockholms stift.
- Johansson, F. (2017) *Från slott till koja – en studie av det svenska murteglens historia*. Kandidatuppsats i Kulturvård. Visby: Uppsala universitet.
- Lindgren, Jack & Moeshlin, Jan (1985) *Tegel*. Stockholm. Svensk byggtjänst.
- Lundin, Claes & Strindberg, August (1882) *Gamla Stockholm*. Stockholm: Seligmann.
- Lundin, Claes (1890) *Nya Stockholm*. Stockholm: Geber.
- Meijer, Bernhard, Westrin, Theodor, Leche, Vilhelm, Nyström, Johan Fredrik, Warburg, Karl (red.) (1919) *Nordisk familjebok*. Uggelupplagan. 28. *Tegel*. Stockholm: Nordisk familjeboks förlag.
- Meissner, Katja (2010) *Stämplade tegel i Kalmar län*. Kalmar: Kalmar läns museum.
- Millhagen, Rebecca (1998:2) *Makt och ära. Skokloster - ett slott från stormaktstiden*. Tidskriften Kulturvården.
- Roos, Britta & Gelotte, Hanna (red.). (2004) *Hej bostad*. Stockholm: Länsstyrelsen.
- SCB (2015) *Urbanisering - från land till stad*. <http://bit.ly/1U8j9gm> [Hämtad 2018-05-06]
- Stål, Carl. 1854. *Utkast till allmän byggnadslära*. Fahlun.
- Svanberg, Jan (2013) *Medeltida byggmästare i Norden*. Stockholm: Signum.
- Svensson, Eric (1985) *Även vi har vår historia. I: Möller, Hans (red.). Heby skrifvarverkstad - Tegelepoken i Heby*. Bollnäs: Inferi.
- Ulväng, Göran (2004) *Hus och gård i förändring*. Diss. Uppsala Universitet.
- Werne, Finn (1993) *Böndernas bygge*. Höganäs: Wiken.
- Westlund, Per-Olof (1948) *Gripsholm under vasatiden - En byggnadshistorisk undersökning*. Lund: Håkan Ohlssons boktryckeri.
- Wijnblad, Carl (1762). *Afhandling om mur- och tak-tegelbruks inrättande, jämte beskrifning huru tegel på fördelaktigt sätt brännes med stor besparing af wed, samt nödiga ritningar på lerbråkor, lador och ugnar, förestälta uti 6 kopparstycken, af Carl Wijnblad*. Stockholm: Pet. Hesselberg

Bildkällor

- Figur 1 fotograferad av Henriette Ørso Kvisgaard.
Figur 4 fotograferad av Lotta Lindley.
Övriga foton av Frida Johansson.

Saltvittrande tegelmurverk

Författare: Kristin Balksten.

Foton och illustrationer är om inget annat anges författarens egna.

Inledning

Att tegelmurverk har uppförts på olika sätt och med olika material har Johansson (2017, 2018) presenterat i artikeln "Tegelmurverkens utveckling i Sverige under 800 år". De olika förutsättningarna i konstruktioner och materialval gör att dessa murverk beter sig olika vad gäller nedbrytning och vittring. Tegelmurverk från den nygotiska, och i viss mån även nyromanska, byggnadsstilen har ända sedan de uppfördes visat sig vara extra problematiska beträffande salt- och frostsador. De har med tiden blivit kända för sina fuktproblem (Andersson 2010, Balksten et al 2014, Balksten et al 2012) som beror på bristfälliga materialval och olämpliga konstruktions-sätt.

I den här artikeln läggs därför fokus framförallt på de nygotiska murverken utifrån uppbyggnad, funktion och nedbrytning i syfte är att ge en förståelse för vad de saltrelaterade fuktproblemen innebär; hur de yttrar sig, vad som orsakar dem och, i de fall det är möjligt, vad som kan minimera dess skadliga effekter. Saltproblematiken är till viss del en allmän problematik för murverk men den är ofta mycket påtaglig och ibland väldigt specifik för dessa nygotiska tegelmurar.

Det har genomförts mycket internationell forskning kring salternas förekomst och beteende i murverk. Dessutom har flera svenska studier kring tegelmurverk och fuktproblematik genomförts under 1900-talet däribland ett antal fallstudier av sekelskiftets tegelmurverk bl.a. Adrian Peterson nygotiska kyrkor. Problemen som har konstaterats och letandet efter en lämplig lösning på dessa saltrelaterade problem har lett fram till delprojektet "Att förebygga saltutfällning genom hampakalkputs i äldre tegelbyggnader" som presenteras i kapitel 8 "Hampakalk mot saltvittring".

Tidiga tegelmurverk

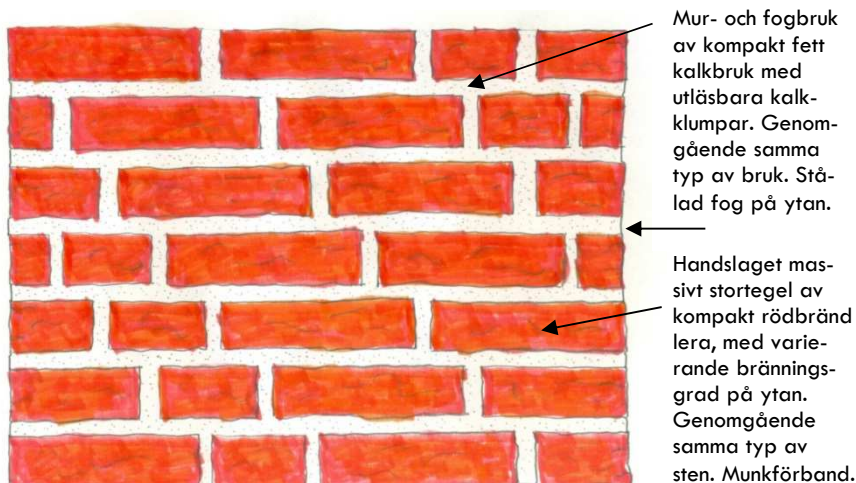
Våra äldsta bevaradetegelmurverk från 1200-talet är uppförda av slaget massivt murtegel och feta kalkbruk. Det gör dessa tegelmurverk till mycket kompakta och homogena monoliter där hela murverket verkar på samma sätt, genomgående från ytterskal till innerskal. Att skilja loss tegel från kalkbruk kan ofta vara mycket svårt pga. den goda vidhäftningen (Granholm 1958). Är väggarna

putsade brukar dessutom originalputsen bestå av samma kalkbruk som det som förekommer i fogarna. Detta kan bl.a. skådas på vinden i Storkyrkan i Stockholm i ett murverk som uppfördes under Birger Jarls tid, eller i Mariakyrkan i Sigtuna som även den uppfördes under 1200-talets mitt, se Figur 1. Dessa tegelmurverk förefaller vara mycket beständiga till sin karaktär och har ringa eller lite problem med vittrande fasader orsakade av frost och salt. Samma byggnadstradition höll i sig under renässansen och stormaktstiden bortsett från uppkomsten av nya förband och andra stilideal.



Figur 1. Medeltida tegelmurverk, Mariakyrkan i Sigtuna. Här syns teglets ojämna bränningsgrad, den feta stålade kalkfogen och murverkets homogenitet med god vidhäftning mellan bruk och tegelsten.

Figur 2. Illustration över hur medeltida tegelmurverk fungerar. Hela murverket samverkar då tegel och kalkbruk är snarlika i sammansättning, porositet och rörelseförmåga. Fukt kan tas upp och avges lika över hela ytan. Såväl tegel som kalkbruk har låg uppsugningsförmåga genom sin fethet.



Efter 1600-talets stormaktstid behövde Sverige byggas upp ekonomiskt. Kungliga vetenskapsakademien stiftades 1739 för att förbättra de tekniska kunskaperna och främja vetenskapen. Det finns många kända vetenskapsmän från tiden – förutom Linné finner vi bl.a. Eliander (1748), Cronstedt (1761), Wijnblad (1762), Rinman (1773) och Holmberg (1812) som har lämnat efter sig kunskap om kalk och tegel i skrift, genom bl.a. Kungliga vetenskapsakademiens handlingar. Det är från den här tiden vi har våra första böcker som visar på samtida kunskap och inte minst kunskapsutveckling. Vi kan se att man tydligt förstod skillnad på kalk från t.ex. Öland och Gotland men att man ändå använde den på likartat sätt (som luftkalk med skillnaden att den var fet eller mager; lagringsbar eller ej), dock utifrån kalkens förutsättningar vad gäller blandningsförhållande etc. (Siöbladh 1750). Först med Pasch (1838) murbruksförsök börjar vi benämna kalken som hydraulisk eller lufthårdnande. Det är också under 1700-talet som tegeltillverkningen kom att reformeras genom tillsatser i leran, nya maskiner och nya brännugnar (Eriksson 1932). Under hela 1700-talet fram till 1870-talet dominerade putsade tegelväggar och det var först under 1880-talet som synliga tegelväggar fick en verklig renässans.

Ända fram till 1870-talet fortsatte man att bygga med slaget tegel och kompakta kalkbruk. När skräväsandet upplöstes år 1846 fanns en välbeprövad tegeltillverkning och murverkstradition i bruk. Våra första allmänna läroböcker i byggnadskonst av Stål (1854) och Henström (1869) vittnar om tegeltillverkning som skedde genom att leran slogs i formar. Skråyrket var under 1700-talet ännu ett uttalat skydd mot att nyttja mindervärdiga varor och i synnerhet importerade, sämre varor (Håkansson 1925). Då fullständig näringsfrihet infördes 1864 kom också införandet av billiga (rå)varor och billigt utfört arbete. Kvaliteten försämrades därmed succesivt.

Nygotikens tegelmurverk

Från 1870-talet börjar så en tydlig förändring synas i tegelmurverkets tradition. Kvaliteten på byggnationen sjönk i viss mån drastiskt och så kallade spekulationsfastigheter började uppföras (Hesselman 1945). Det innebar att man inte längre byggde för att själv äga och förvalta vilket innebar att man oftast gav avkall på kvaliteten. När industrialismen slog igenom kom såväl bindemedlen som tegelprodukterna att förändras radikalt. Kalken producerades för att vara ren och även kunna nyttjas i industriella processer såsom pappersindustri och järnindustri (Thorslund 1936, Balksten 2017, Munthe 1945). Den första cementfabriken etablerades 1871 i Skåne. Införandet av strängpressat tegel rationaliserade tegeltillverkningen och gav många nya tegelprodukter såsom poröst murtegel, håltegel och hårdbränt fasadtegel

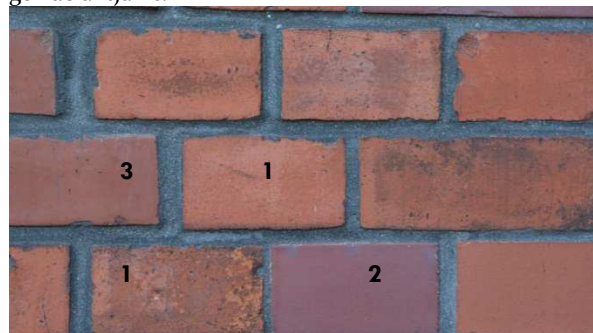
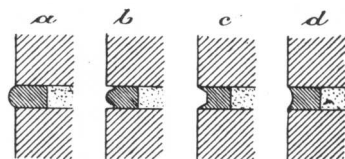
(Rothstein 1890). Den första ringugnen för tegelbränning byggdes i Lomma 1874 (Eriksson 1932).

Efterfrågan på tegel var stor från 1870-talet och framåt, och tegel av sämre kvaliteter kom till användning (Håkansson 1925). År 1886 började man i Stockholm införa en prislista för mureriarbeten med syfte att försöka motverka en alltför låg kvalitet.

De nygotiska murverken uppfördes ofta med lösbränt murtegel (inte helt ovanligt av delvis svavelkishaltig lera) i bakmurarna, magert kalkbruk för murning och invändig puts, hårdbränt tätt fasadtegel av god lera och yttre fog av fett cementbruk, se figur 3. Det är dessa murverk

drabbats av saltvittring och medföljande fukt- och frostproblem. Det har de gjort sedan de uppfördes och det gör de alltjämt.

Figur 3. Fogning med cementbruk som enligt Karlsson var känt att ge svagare murverk än om fogdragning gjordes direkt i murbruket. Källa: Karlsson 1988

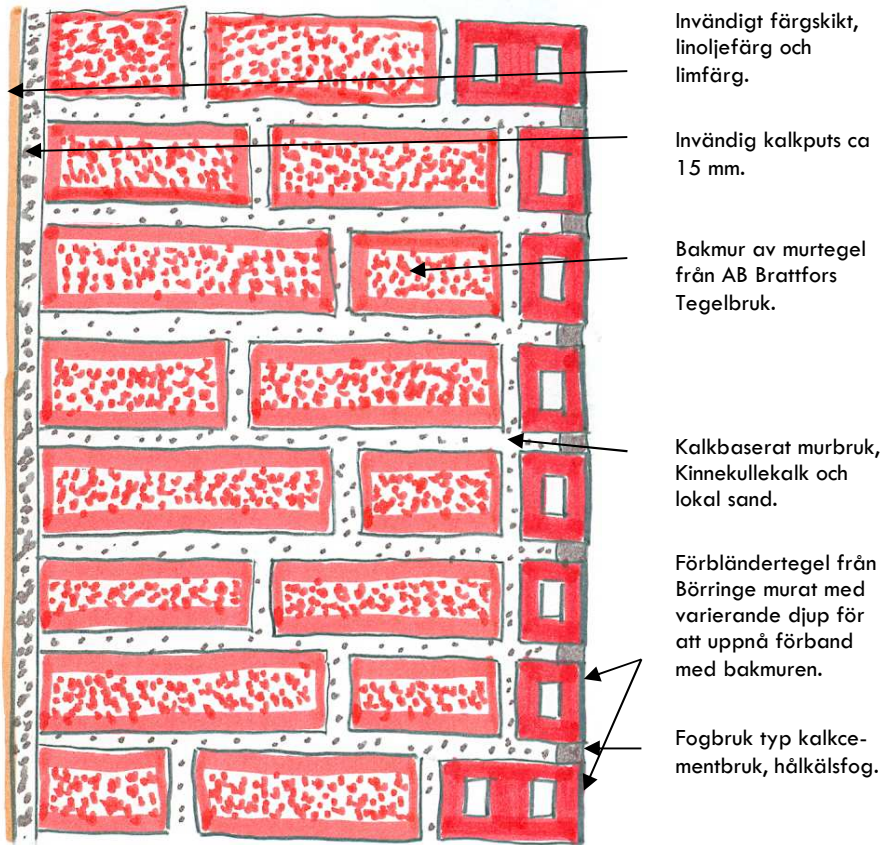


Figur 4. Nygotiskt murverk på Örgryte nya kyrka. Saltvittring förorsakar att teglets täta yta vittrat varpå teglet går från att vara svagt sugande till att vara starkt sugande. Här syns tre generationers tegel; 1) originaltegel i både gott och i vittrat skick, 2) engoberat förbländertegel och 3) poröst modernt tegel.

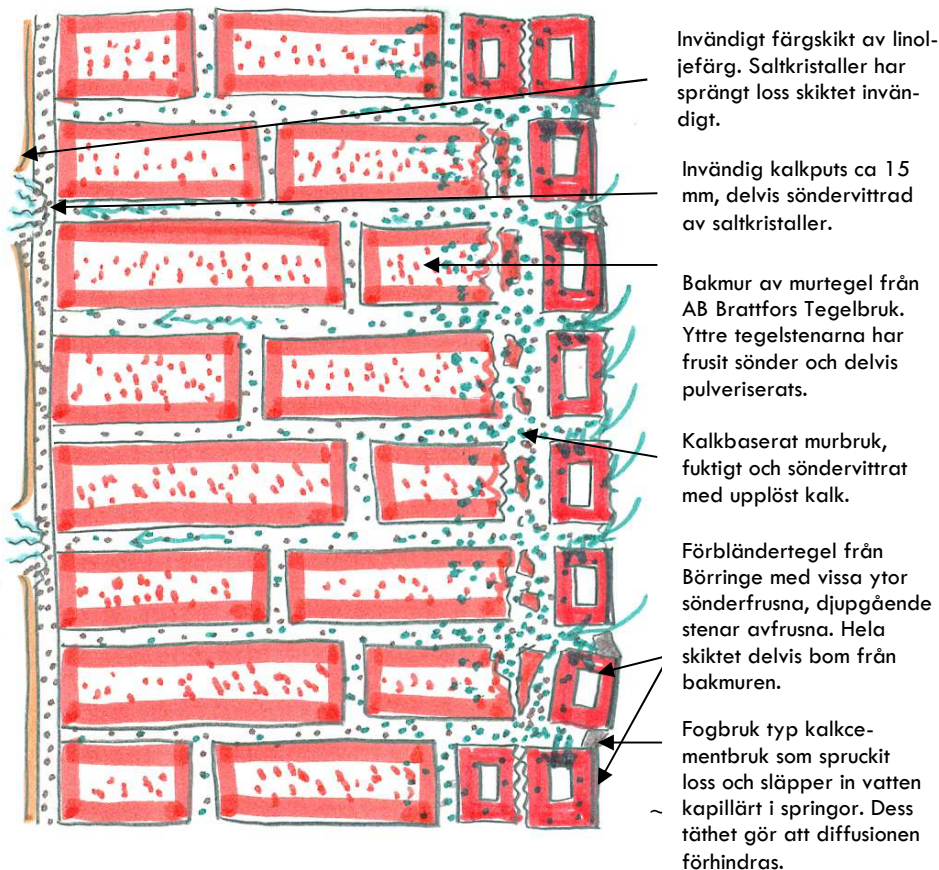


Figur 5. Dragen originalfog på Umeå stads kyrka. Den yttre cementfogen av gråpigmenterat bruk är ytterst tunn och ligger utanpå det ljusare kalkmurbruket.

Många av de nygotiska kyrkobyggnaderna, som ofta har problem med saltvittring och fuktrelaterade skador, är dessutom ofta högt belägna i landskapet och utsatta därför för extrem klimatpåverkan vilket i många fall kan försämra skadorna ytterligare.



Figur 6. Principskisser som illustrerar ett massivt nygotiskt murverk med fasad av förbländertegel modell Högsäters kyrka, före och efter nedbrytning. Efter årtal av vittring är ytskikt vittrade, såväl invändigt (av saltkristaller) som utvändigt (av salt och iskristaller). Likaså är murbruk av kalk och bakmur av tegel sönderfrusna och kalkbruket blir dessutom urlakat på bindemedel. Skalet av fasadtegel har förlorat sitt ringa förband då dessa stenar frusit av och vittringsprodukter har ökat volymen bakom skalet varför skalet rör sig utåt utan att kunna återgå till ursprungligt läge. När skalet förlorat sin vidhäftning till underlaget kan uttorkning inte längre ske medan den snabbare kapillärtransporten och de tätare ytskikten fördröjer diffusionen varför vattenmängden ackumuleras i murverket. (Illustration: Kristin Balksten)



1900-talets utveckling av tegelmurverk

Under Nationalromantiken (början av 1900-talet) frångick man de problematiska nygotiska murverken med täta fasadytor och istället inspirerades man av medeltida tegelmurverk. Kvalitet i material och hantverk efterfrågades. Exempelvis Stockholms stadshus uppfördes med tegel i större format. Här valdes handslaget fasadtegel och maskinslaget murtegel som murades i munkförband. Till murbruket valde man bort cement i bruket till förmån för kalkbruk med hydraulisk tillsats i form av finmalen basisk masugnsslagg (Larsson 2011). Till skillnad från medeltida feta kalkbruk användes dock betydligt magrare kalkbruk; 1:3-1:4 i volymförhållande mellan nyslåckt kalk/sand rekommenderas t.ex. i 1920-talets lärobok (Kjellin & Hökerberg 1928). Murverken utgjordes, liksom de i princip alltid gjort, endast av massiva tegelmurar med kalkputs invändigt och ibland även utvändigt.

Även till fogning användes under 1900- och 20-talen helst kalkbruk men det anpassades efter förväntad grad av vittring och innehöll ibland färgstoff eller cement. Fogarna skulle göras minst 2 cm djupa, pressas ihop och glättas vid bearbetning, se figur 7. Detta kan jämföras med de nygotiska fogarna av cement som ofta var ca 5 mm djupa, se figur 5.

En anledning att man föredrog kalkbruket var att man härledde att cementblandande bruk kunde ge upphov till utfällningar av

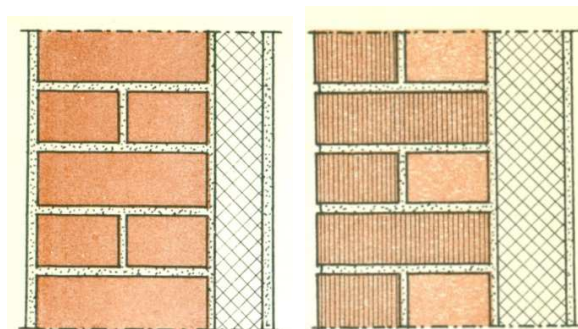
svårslösliga salter (Kreüger 1916). Istället utvecklades möjligheten att tillsätta hydrauliska tillsatser såsom exempelvis masugnsslagg till kalkbruket för att få högre styrka och vittringsmotstånd.



Figur 7. Dragen originalfog på Göteborgs Naturhistoriska museum från 1919. Här syns det 2 cm tjocka pigmenterade fogbruket som ligger utanpå ett ljus porösare kalkmurbruk.

Vid 1930-talets början råder ännu en murverkstradition som i mångt och mycket kan sägas bygga helt och hållet på traditionella material och byggtekniker, om än med förändrat formspråk (Paulsson 1936, Rudberg 1999). Men det utgjorde även en utvecklingsperiod inom byggtekniken och många nya material tillkom. Från 1930-talet kan man börja hitta tegelmurverk där isoleringsmaterial utgör en del av det ursprungliga murverket. Detta var företrädesvis träullitskivor som fästes invändigt dikt an mot teglet. Man kunde välja mellan 3, 7 eller 10 cm tjocka skivor utifrån önskat värmemotstånd. Träullitskivorna trycktes fast i bruket och putsades invändigt (Tegelindustriens centralkontor, 1949). Det var av yttersta vikt att murverken var väl murade, utvändigt hela och inte släppte in vatten då detta kraftigt kunde försämra beständigheten hos träulliten (Granholt 1958). Även mineralullsmattor typ »Glasullit« eller granulerad masugnsslagg användes i konstruktionerna. I kombination med håltegel och högporöst tegel skapades på så sätt massiva tegelmurverk som med beräknade värmemotstånd anpassades efter Sveriges olika klimatzoner (Tegelindustriens centralkontor 1949).

Så sent som 1949 rekommenderades i allmänhet att man använde vanligt kalkbruk till såväl tegelmurning som putsning (Tegelindustriens centralkontor, 1949). Men under 1950-talet kan man följa att kalkcementbruk helt tog över som material till såväl murbruk, fogbruk som putsbruk (Paulsson & Granholt 1953).



Figur 8: Exempel på tegelväggar som rekommenderades till tegelvilla 1949. Den högra med utvändig kalkputs, murtegel, kalkputs, träullit och kalkputs. Den vänstra med utvändigt fasadtegel, kalkputs, träullit och kalkputs. Typ av tegel och tjocklek på träullit kunde varieras för att få bra värmeisoleringssegenskaper. Källa: Tegelindustriens centralkontor (1949).

Under mitten av 1900-talet gjordes flera studier av fuktproblem i tegelmurverk och det som gällde ena årtiondet kunde ofta förkastas under nästa årtionde (Kreüger 1916, Eriksson 1932, Byggnadstekniska föreningen i Göteborg 1945, Granholt 1958, Eklind 1983 samt Pühringer 1983). Några saker konstaterades dock återkommande som källa till de fuktrelaterade problemen:

- Om kalkmurbruken innehåller för lite bindemedel suger de för mycket vatten och blir fukt känsliga. Dessutom försämrar de uttorkningsförloppet.
- Brister i utförande leder alltid till problem, om det så är val av material som dåligt fyllda fogar eller dåligt murade förband, så försämrar kvaliteten.
- Om fasaden inte är tät kommer vatten att tränga igenom och då spelar murtjockleken mindre roll, varför fasaderna alltid måste hållas i gott skick.
- Med hårda och täta cementbruk försvåras uttorkning genom fogarna.
- Med styva fogbruk kan det bildas sprickor i murverket som bidrar till ökad kapillärsugning.

Under 1940-talet uppmärksammades slarv i tegelmurningen i Göteborg, med undermåligt murbruk, fuktgenomslag och salter som följd. Man var så kritiskt att man poängterade att den svenska nationalförmögenheten fått lida då det som byggdes inte hade kvalitet nog att stå kvar i framtiden (!) och därigenom inte kunde räknas som en del av landets gemensamma kapital (Byggnadstekniska föreningen i Göteborg 1945). Spännande att jämföra dessa byggnader och deras beständighet med de som byggts under 2000-talet, som beräknas stå i endast 50 år. Från miljonprogramsåren på 1960-70-talen var massiva tegelmurverk inte längre en konstruktionstyp som användes varför kunskapen om traditionella murtekniker och material föll i glömska. Tegel användes i princip bara som fasadmaterial. Restaureringsåtgärder utfördes häfter ofta med material som inte var kompatibla med originalmaterialen och kunskapen om dessa har därför fått byggas upp på nytt (Balksten & Mebus 2013).

Saltförekomst i tegelmurverk

Det har länge varit känt att förekomsten av salter kan orsaka skador i murverk och man har bl.a. varit noga med att undvika mursand som kan ge innehåll av salter till murbruket (Stål 1854). Det har även varit känt att det kan bildas salter av svavel vid tegeltillverkningen om leran innehåller s.k. svavelkis (FeS_2) (Henström 1869, Rothstein 1890, Eriksson 1932). Saltvittringen yttrar sig främst på två olika sätt; klorider (från t.ex. havssalter eller matförvaring) avsätter sig som vitt saltskägga som växer sig ut från ytan medan mursalterna orsakar saltsprängning inuti porösa material, ibland även kallat *murröta*.

För att ge en ökad förståelse för de specifika problem som vanligast förekommer i tegelmurverk följer här en fördjupning i de företeelser som iakttagits. Det innebär en fördjupning i klorider och natriumsulfater och specifika problem i tegelmurverk som är kopplade till just dessa salter. Även tillblivelse av gipskrustor och löslighet hos kalciumkarbonat behandlas samt vad som händer då kalciumhydroxid och kalciumkarbonat långvarigt exponeras för vatten.

Även frost är en vanlig bidragande orsak till nedbrytning och skadorna kan påminna till sin karaktär om saltvittring (om än att inga kristaller finns kvar och kan iakttas vid plusgrader).

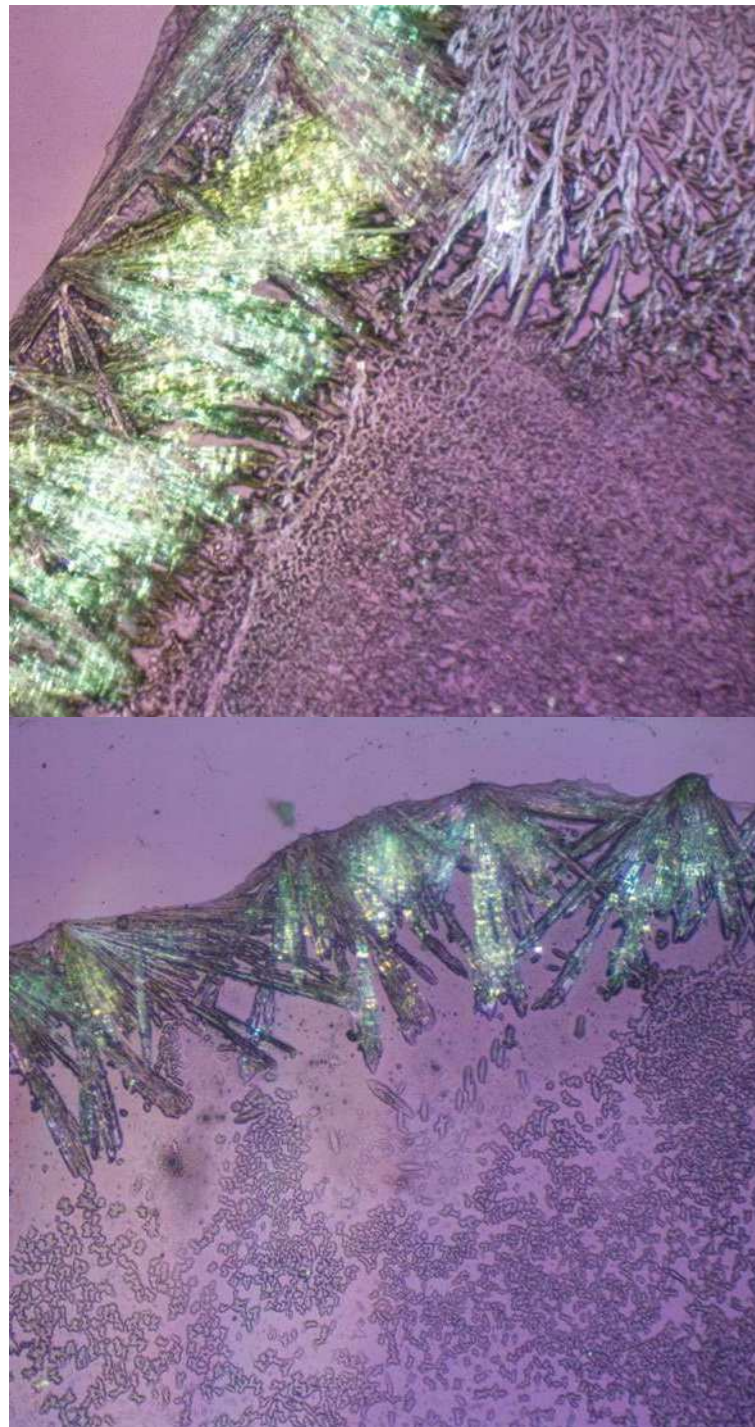
Natriumsulfat kan bildas i något underbränt tegel, genom att sulfater reagerar med förbränningsgaser och bildas svavelsyra (Eriksson 1932, Burström 2001). Om leran innehåller svavelkis innebär det en känd risk för att teglet kommer innehålla mursalter. Vid fullständig förbränning skall allt svavel i svavelkisen (FeS_2) drivas ut, men ibland inträffar det att svavelkisen endast övergår till svaveljärn (FeS) vilket i sig kan bidra till vattenupptagning och expansion (Eriksson 1932).

Kalcium och karbonater är naturligt förekommande i allt kalkbruk som förekommer i murverk. Kalciumsulfat (CaSO_4 , dvs. gips) kan förekomma genom tillsats i cement men det kan även bildas på kalkbaserade ytor där det finns svavel i luften, t.ex. genom hög koncentration från bilavgaser (Grahns Andersson 2008). Natriumklorid (NaCl dvs. vanlig koksalt) är vanligt förekommande i havet varför dessa salter ofta återfinns i havsnära murverk. Även tidigare matförvaring kan ha gett upphov till saltförekomst i form av klorider. Natriumklorid och kalciumklorid kan även förekomma som en följd av att tölsalter använts vid isbekämpning på trappor, trottoarer och dylikt (Freedland 1999).

Natriumsulfater

De mest skadliga salterna för en puts eller en målad vägg är sulfaterna, baserade på natrium Na_2SO_4 men även kalium K_2SO_4 , magnesium MgSO_4 och kalcium CaSO_4

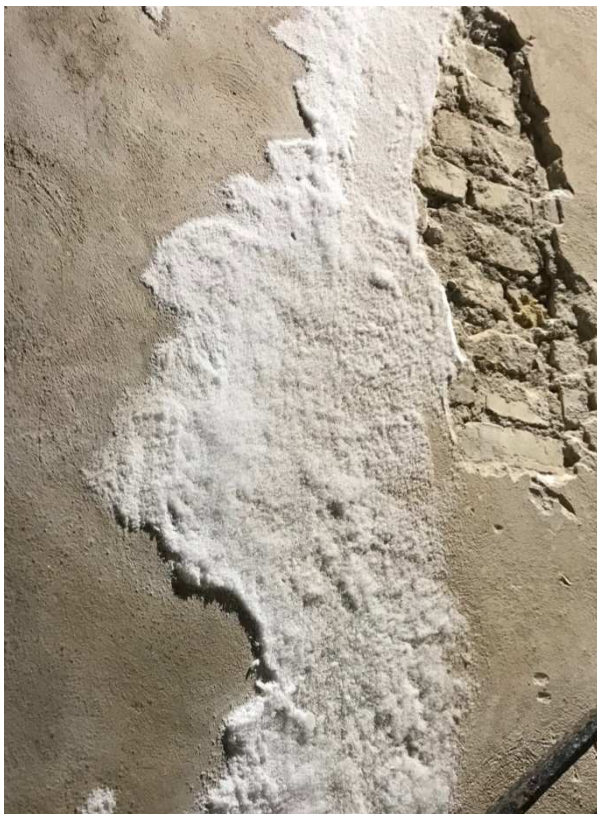
(Grahns Andersson 2008). Det beror på att sulfater kristalliseras på ställen där de kan skapa stor skada. Dels kan de spränga sönder ett poröst material och dels kan de påverka upplösning av kalk. Natriumsulfat kan kristallisera inuti en materialyta och växla mellan två faser som innebär stor sprängverkan (Rodríguez-Navarro et al 2000). Förekomst av natriumsulfat i tegelmurverk är vanligt.



Figur 9-10. Natriumsulfat som lösts upp och omkristalliserat, fotograferat genom polarisationsmikroskop. Här syns tydligt hur kristallerna växer från ytan i trädliknande formationer. Foto: Björn Balksten Regnér.



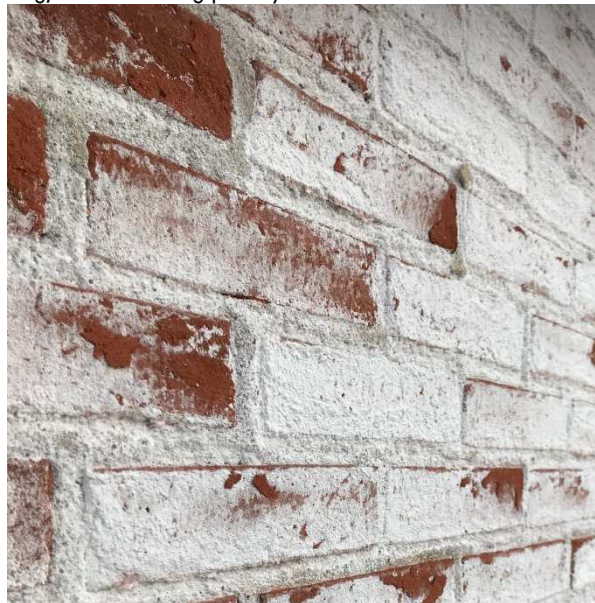
Figur 11. Sulfaterna känns igen genom att de ofta växer till strax under fasadytan – i synnerhet när ytan är målad med tät färg. Då lyfts ytskiktet och faller av och lämnar en något urgröpt muryta täckt av vita saltkristaller. Jämför med bild 12 där genomsläpplig färg löser upp sig och skadan blir ytlig.



Figur 12-13. Nyligen kristalliserade sulfater ger en illusion av att vara mjuka och luddiga som bomull.



Figur 14. Här syns natriumsulfatets trädliknande kristallbildning, vilken är vanlig just i nybildade kristaller.



Figur 15. Provvägg av tegel som mättats med natriumsulfat. Tegelytan gröps succesivt ur pga. salternas sprängverkan.

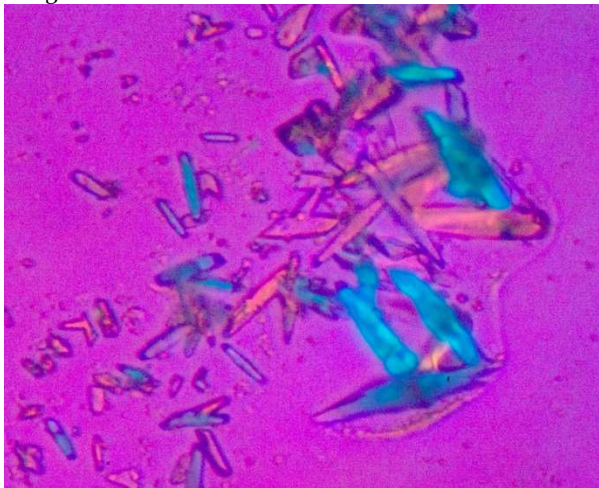


Figur 16. Saltrosor på cementputs. På en stark och tät puts syns sulfaterna som mörka saltrosor där färgen sprängts bort och putsen mörknat som vore den blöt.

Gipskrustor

Kalciumsulfat $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ bildas vanligen på ytan av kalksten eller kalkputs genom att svavel i luft reagerar med kalken och bildar gips, se figur 18. Den växer till som en krusta där delar av ytskiktet löses upp och bildar en ofta smutsig eller svart skorpa utanpå, se figur 18-19.

Kalciumsulfat (gips) kan antingen formas på en skyddad yta eller kristalliseras inne i en puts genom sulfatisering av kalciumkarbonat. Kalciumsulfat bildas ofta där luftföroreningar av svavel medverkar i processen och syns intensivast på de ytor som regnet inte kommer åt, se figur 20-21.



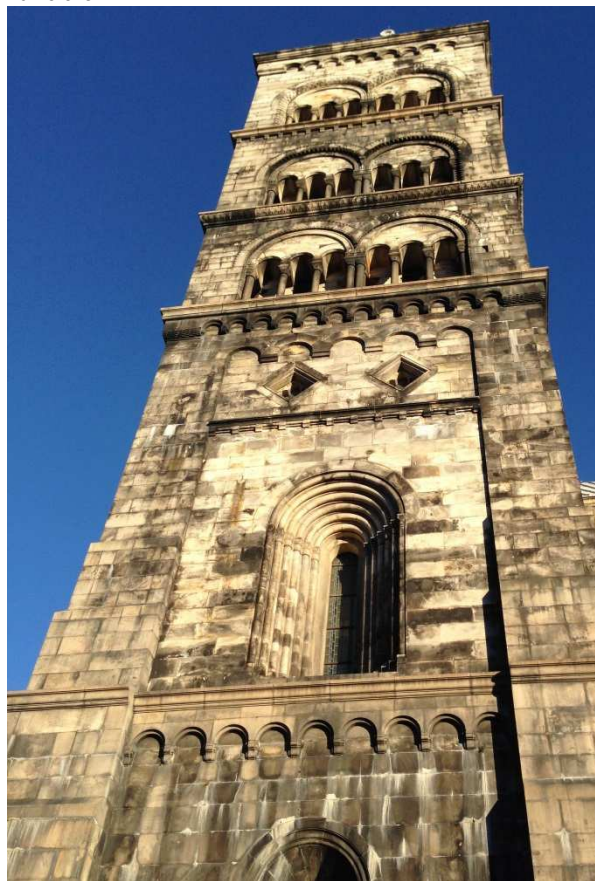
Figur 17. Ett karakteristiskt gipskryss som fotograferats genom polarisationsmikroskop. Foto: Björn Balksten Regnér.



Figur 18. Gipskrusta (black crust) syns oftast genom att svavel har reagerat med kalken i ytan på kalcitbunden sten eller kalkbruk



Figur 19. Närbild på en infärgad kalkcementputs där ytskiktet har förgipsats. Det innebär att ytan upplevs som mycket smutsig och benägen att skikta sig. Under ytskiktet syns originalkulören.

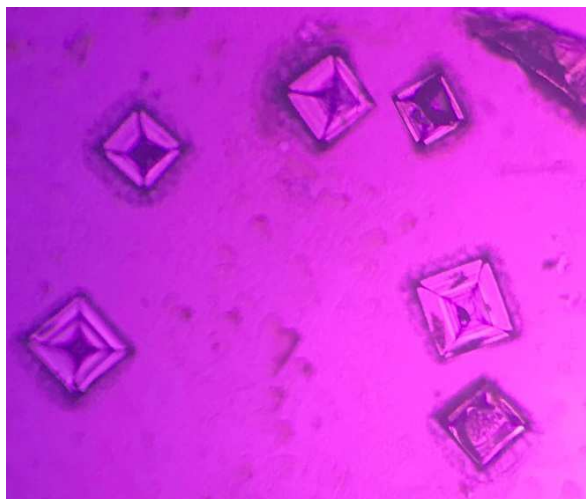


Figur 20-21. När svavelhaltig luft ger upphov till förgipsning brukar detta visa tydligt på en fasad hur regnet kommer åt. Då gips har en hög löslighet i vatten blir skadorna som störst i skyddade lägen. Exempel från Lunds Domkyrka visar en kalcitbunden sandsten och exempel från Stockholms slott visar infärgad KC-puts.

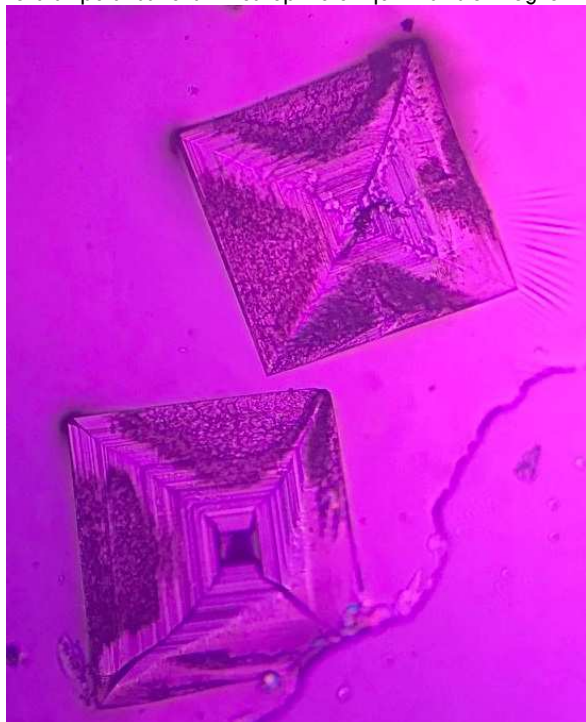


Klorider

Natriumklorid NaCl avsätter sig vanligen på ytan. Den växer som ett vitt skägg med dels kompakta saltkristaller som kallas halitkristaller, se figur 22-24 och dels långa trådar, se figur 25-26. Finns det täta färgskikt avsätts natriumkloriden under ytan och lyfter färgskiktet, men om det är ett homogent poröst material avsätts den på ytan (Pühringer 1983). Om den tillförs med havsvindarna behöver den i sig inte ge upphov till så stor skada. Natriumklorid kan binda vattenmolekyler i saltkristallen, vilket kallas hydratisering. Vid en hydratiserings- eller dehydratiseringsprocess kan den vara gynnsam för upplösning av ytskiktet, då den under varierande temperaturer även påverkar andra salter som kan vara närvarande (Grahn Andersson 2008). Ofta återfinns natriumklorid i källare där matförvaring skett.



Figur 22-23. Halitkristaller som omkristalliserats och fotograferats i polarisationsmikroskop. Foto: Björn Balksten Regnér.



Figur 24. Makrofoto på kompakta halitkristaller

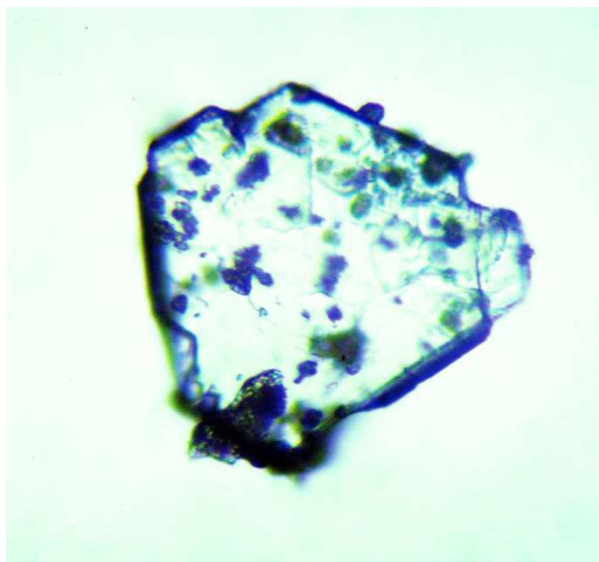


Figur 25-26. Halitkristaller på tegelvägg. Här syns tydligt hur de växer till från en yta och bildar dels kompakta kristaller och dels långa trådar. Båda exemplen är ifrån källare där mat har förvarats.



Karbonater

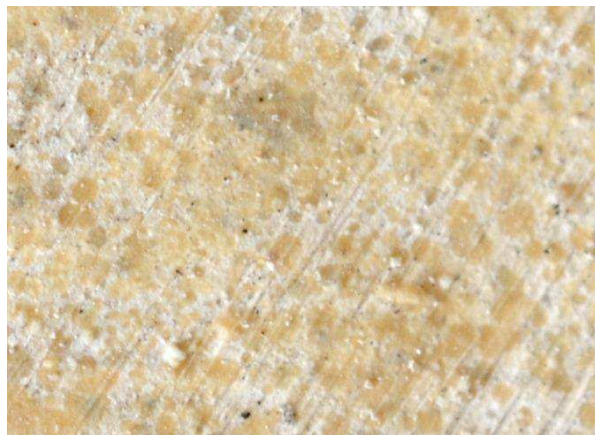
Kalciumkarbonat CaCO_3 är bindemedlet i kalkbruk och kalksten. Kalciumkarbonat har i sig själv ingen sönderdelande effekt när den är kristalliserad (Grahns Andersson 2008), s.k. kalcitkristaller, se figur 27-28. Den kan vid långvarig hög fuktbelastning och förekomst av andra salter gå i lösning och omkristallisera. Vid omkristallisering bildar den skorpor som är mycket hårda och svår-lösta, se figur 29. Detta kan bl.a. beskådas på utsidan av murverk som omfogats med cement, i form av stalaktiter och s.k. *floatstone*. Det påträffas även ibland som kulör-intensivare och till synes feta fält på kalkputs som har en tät bindemedelsfilm på ytan, där kalken inifrån putsbruket har avsatts på ytan i ett glasartat kalcitskikt utanpå kalkfärgen, se figur 30-31.



Figur 27. Polarisationsfoto som visar en glasartad kalcitkristall. Vanligen blir de så små att det är svårt att känna igenom dem utifrån dess kristaller i polarisationsmikroskopet. Foto: Björn Balksten Regné.



Figur 28. Makrofoto som visar kalcitkristaller som haft tid att långsamt växa till på en yta med fri tillgång på kalciumhydroxid och vatten. De stora trigonala kristallerna är ca 5 mm.



Figur 29. Macrofoto på en yta där kalcitkristaller bildats utanpå kalkfärgen. Det ger en till synes fet film av glasartad karaktär när en tunn hinna av kalcit växer utanpå matt kalkfärg. Kristallernas sexkantiga form är skönjbar.



Figur 30. En glasartad fet kalcithinna ligger utanpå kalkfärg.



Figur 31. En kalcithinna hindrar ny kalkfärg från att fästa varpå spjällkning av yttre färgskiktet sker.



Figur 32. Yttersta skiktet på porös kalkputs från 1970-talet har ombildats genom viss omkristallisation.



Figur 33-34. Om kalkbruk blir instängt i en fuktig mur och långvarigt exponeras för vatten löses kalken upp. Här är ett exempel från Örgryte nya kyrka där murbruket i bakmuren lösts upp bakom den täta ytan med fasadtegel och cementbruk samt ett exempel från Bohus fästning där kalken i murbruket har lösts upp bakom den täta cementfogen och avsatts på ytan.



Figur 35-36. Kalk har frigjorts inuti ett murverk och avsatts som stalaktiter på ytan, här som *floatstone* på Lunds domkyrka och som stalaktiter på Visby ringmur.

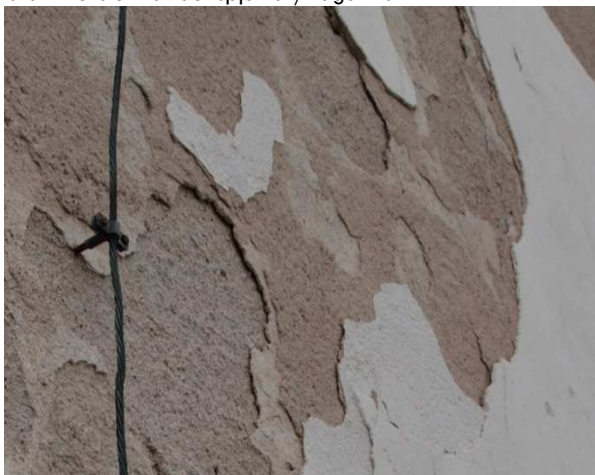


Isbildning och frostrelaterade skador

Vid minusgrader bildar vatten iskristaller som med sin expansion på ca 10 % volymökning kan spränga sönder vattenmättade porösa material (Balksten 2005). Invändigt i ouppvärmda (kyrk)torn är det inte ovanligt att det bildas tjocka lager av iskristaller då kristallerna kan bildas ganska långsamt och växa till från en vattenmättad muryta, se figurer 39 och 41. Även utvändigt syns effekten av frostsador såsom att murbruk inuti en mur fryser sönder vilket orsakar en spaltning/flagning i bruket, se figur 37. I puts kan frostrelaterade skador uppkomma mellan olika putsskikt eller mellan färg och putsskikt, se figur 38. I tegel kan is orsaka skador som innebär att delar av tegelstenarna spjälkar av, se figur 40.



Figur 37. När kalkmurbruk fryser sönder bildas ett karakteristiskt mönster när det spjälkar/flagar i skikt.



Figur 38. Här syns hur en puts spjälkar i och mellan varje skikt pga. isbildning.



Figur 39. Ishinna som täcker en tegelsten invändigt i Tösse kyrktorn. På graniten har inte samma effekt uppstått utan det är från vattenmättat tegel som isen kunnat bildas.



Figur 40. Frotskadat tegel där dels bara yttre täta skalet frusit av och dels där djupare frotskador gett tydligare materialförlust.



Figur 41. Ishinna som täcker hela insidan av Sjömanshustruns torn i Göteborg en vinterdag. Här har iskristallerna kunnat bilda dels ett pansarlager av is och dels trådformade kristaller om ca 2 cm.

Salternas beteende

Beroende på hur salter beter sig kan man ofta identifiera dem utifrån hur de avsätts, vilken typ av skada de åstadkommit samt hur de kristalliserar, se figur 43. Vissa saltkristaller är tydligt karakteristiska förutsatt att de är i koncentration. De är lätta att känna igen både i fält och via polarisationsmikroskop (von Konow 2002, saltwiki.net 180301), se bilder på föregående sidor.

Alla salter fungerar på olika sätt. Beroende på vilket salt som förekommer så har de stora skillnader i beteende beroende på bl.a. rådande temperatur och relativ fuktighet (RF). Bland annat har varje salt ett specifikt kritiskt RF vid vilket saltet kristalliserar, se tabell 1 (Grahns Andersson 2008). Detta RF kallas även jämvikts-RF och är det klimat som en mättad saltlösning ger upphov till i t.ex. en sluten klimatkammare (Zehnder, Arnold 1989).

TABELL 1

Namn	Saltets kemiska beteckning	Kritisk RF för kristallisation vid 20°C (% RF)	Löslichkeit (g/l)	Molmassa (g/mol)
halit	NaCl	75	360	58,5
tenardit	Na ₂ SO ₄	82	162	142
mirabilit	Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	91	900	322
gips/ettringit	CaSO ₃ ·2H ₂ O	~100	2,4	172
kalk/kalcit	CaCO ₃	~100	14·10 ⁻³	100

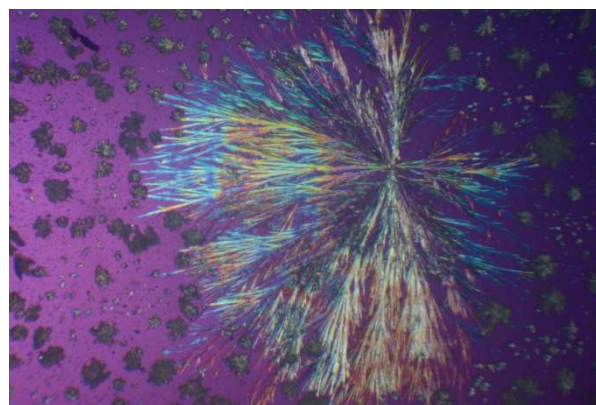
Egenskaper av olika salter sammanställd av Grahns Andersson (2008)

Salter med vatten reagerar på olika sätt. Dels kan salter vara lösliga i vatten vilket innebär att när det finns tillräckligt många vattenmolekyler som omringar en saltmolekyl så bildas en saltlösning. När saltkoncentrationen är som högst bildas en mättad saltlösning, annars bildas en utspädd saltlösning (Grahns Andersson 2008). I porösa material räcker förekomsten av hygroskopiskt bundet vatten för att salter skall kunna gå i lösning varför den relativa fuktigheten tillsammans med tillgång på fritt vatten påverkar denna process. För salter som har kritisk RF ~100 % krävs i princip tillgång på fritt vatten under en längre tid för att de skall kunna lösa sig.

Vissa salter kan binda vattenmolekyler i saltkristallen, s.k. hydratisering. Intressant för tegelmurverk är de två olika natriumsulfaterna som är stabila i inomhusklimat; mirabilit även kallad natriumtiosulfat (Na₂SO₄·10H₂O) är ett hydratiserat salt som kan jämföras med tenardit även kallad natriumsulfat (Na₂SO₄) som är ett vattenfritt salt (Shahidzadeh-Bonn et al 2010, Rijners 2004). Mirabilit håller tio vattenmolekyler bundna i varje kristall jämfört med det vattenfria tenardit som inte har något bundet vatten alls. Detta påverkar saltkristallernas volym högst väsentligt.

När salt är i lösning i ett murverk kan det påverka pH och därigenom lösligheten hos CaCO₃ genom en syra-bas

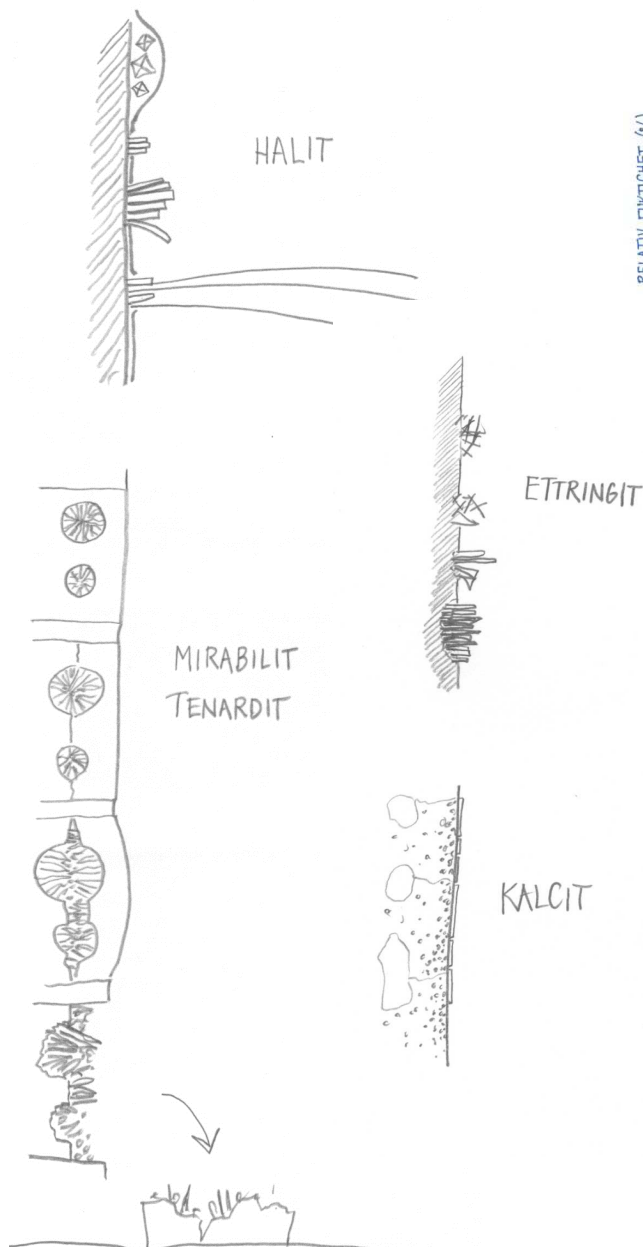
reaktion, men i övrigt gör de inte så stor mekanisk skada inuti murverket. Däremot när de bildar kristaller och framförallt när det sker upprepade gånger i kristallisationscykler nära ytan, ger salterna upphov till skador (Pühlinger 1983). Extra tydligt blir detta för natriumsulfat, som pendlar mellan sina två olika faser där den ena kristallen (mirabilit) är mycket större pga. sitt vatteninnehåll. En långsam tillväxt av mirabilit från lösning ger stora hydratiserade kristaller. Efter viss uttorkning och återfuktning kan de mer svårlösliga tenarditkristallerna (se figur 42) bilda en kärna varifrån mirabilitkristallerna kan växa till (Shahidzadeh-Bonn et al 2010).



Figur 42: Typisk tenarditkristall. Foto: Björn Balksten Regné.

När en saltlösning torkar under sitt kritiska RF, bildas saltkristaller. Strax under saltets kritiska RF blir kristallerna som störst (Zehnder, Arnold 1989). Olika salter växer till på olika sätt. Natriumklorid NaCl, även kallad halit, växer som kubformade kristaller inuti en droppe eller som större kristaller i zonen mellan luft och vatten (Pühlinger 1983). När de förekommer i ett murverk innebär detta att de oftast växer till från ytan genom efflorescens, dvs. kristallbildning i materialytan. För natriumsulfat gäller att kristallerna växer till inne i saltlösningen, som snabbväxande prismaformade kristaller. Det leder till att de bildas inne i vätskefyllda porer genom subfluorescens, dvs. kristallbildning inuti materialet (Pühlinger 1983, Rodriguez-Navarro, Doehne 1999).

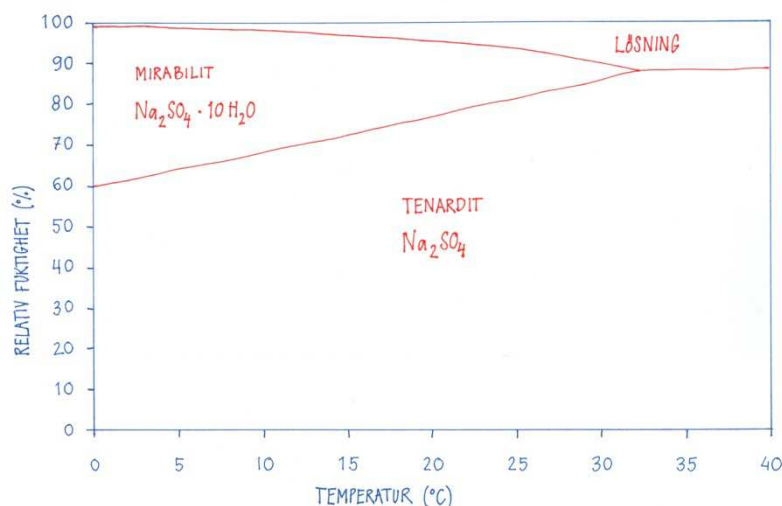
Det salt som enskilt kan orsaka mest skada genom kristallisation i ett murverk är natriumsulfat, vilket beror på dess två stabila kristallfaser, som hydratiserat och vattenfritt, och att dessa båda kristaller kan bildas vid olika RF och temperatur enligt ett fasdiagram, se figur 44. Likaså ger det vid upprepade kristallisationscykler upphov till en kristalltillväxt som ger höga tryckkrafter (Shahidzadeh-Bonn et al 2010). För mättade saltlösningar där tenardit och mirabilit samexisterar kan kristallisationsstrycket uppgå till nivåer om ca 30-60 MPa (Steiger Asmussen 2008) som vida överstiger draghållfastheten i såväl granit (ca 4,8 MPa), tegel (ca 2,8 MPa) samt kalkbruk (ca 2,1 MPa). Vid hydratisering expanderar tenardit i volym med 320 % (saltwiki.net 2018-03-01).



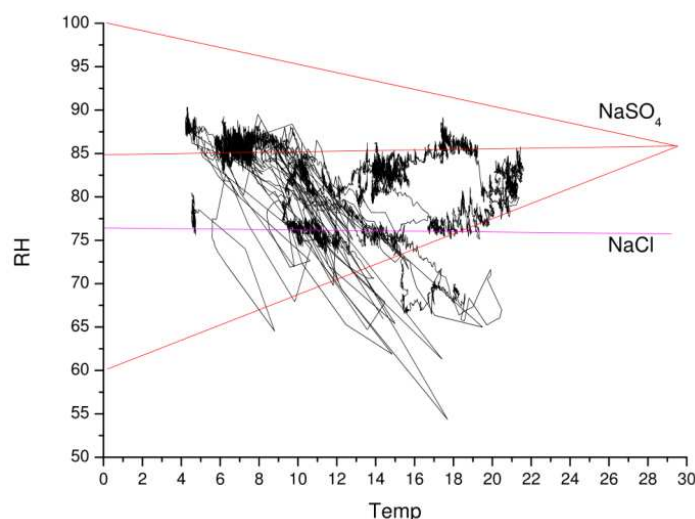
Figur 43. Illustrationen visar principen för tillväxt av kristaller av olika salter och hur de successivt bryter ner ytan på materialet. Haliten växer från ytan i trådlikt mönster. Mirabilit/tenardit växer inuti materialet i ett trådlikt mönster och lyfter materialet. Kalcitkristallerna bildar ett blankt hårt glasartat skal utanpå. Ettringiten bildar krutor där kalk löses upp och integreras. Teckningarna över halit respektive tenardit visar hur effluorescens respektive subfluorescens bildas på ytan respektive i luft- och kapillärporerna i ett material. I det senare fallet spränger salterna sönder materialet i takt med att kristallisationsstrycket ökar. Ettringit bildas ofta genom att kalk i materialets yta löses upp och bildar ett poröst lager av gipskristaller – på så sätt löses en del av materialytan upp och ersätts med gipskrutor. Kalcit kan bildas på en yta som är fuktig under lång tid och som matas med kalcium som kan omkristallisera – här illustreras det av en kalkputs med tät yta där kalk som gått i lösning kan transporteras ut och avsättas ytterst som en svårslös glasartad kristallhinna.

Kristallisationsbeteende i porösa material finns tydligt och pedagogiskt illustrerat av Pühringer (1983).

FASDIAGRAM FÖR NATRIUMSULFAT



Figur 44. Fasdiagrammet för natriumsulfat visar hur saltet rör sig mellan sina olika faser utifrån hur relativa fuktigheten och temperaturen växlar. Varje gång klimatet lokalt passerar en röd linje sker en förändring, en s.k. kristallisationscykel, och saltet ändrar kristallfas. Följden blir att kristallerna trycker sönder materialet varje gång. (Illustration efter förlaga i Camuffo et al 2010).



Figur 45. Här visas ett diagram över en klimatomätning i en saltskadad kyrka på Gotland där man kan se hur ofta klimatet passerar över dels natriumkloridens kritiska RF, dels mellan natriumsulfatets två kristallfaser. Bl.a. solinstrålning har direkt effekt på mikroklimatet på en vägg. (Illustration Magnus Wessberg, Kulturvård, Uppsala universitet.)

För exempelvis klorid kan man tydligt identifiera ett kritiskt RF för kristallisation. Men genom att natriumsulfat kan övergå i olika faser enligt figur 44 så finns det inte ett enskilt kritiskt RF att förhålla sig till (Flatt 2002).

Att styra salternas kristallisation genom att styra inomhusklimatet är inte omöjligt, men för att natriumsulfat skulle kunna vara löst hela tiden skulle det krävas ett inomhusklimat som ligger över 93-95 % RF om temperaturen ligger mellan 15-20°C. Det är dessvärre ett olämpligt inomhusklimat som kan orsaka andra typer av fuktrelaterade skador, framförallt i form av (mikro)biologisk aktivitet (Broström 2008). Om klimatet pendlar inom natriumsulfatets fasdiagram övergår mirabilit ofta till

tenardit och tillbaka, vilket orsakar de största skadorna. Detta beror på att tenarditkristallerna fungerar som grogrund för mirabilitkristallerna och att den totala volymen och därigenom kristallisationsstrycket då blir som störst (Shahidzadeh-Bonn et al 2009). Därför vore det lämpligt att undvika denna specifika (inomhus)klimatvariation. När det handlar om förekomst av natriumsulfat i tegelmurverk har många fallstudier (Balksten et al 2012, Balksten 2017, Balksten et al 2018) tydligt visat att problemen är som störst i vissa väderstreck. Väggar som vetter mot söder och väster är betydligt mer utsatta för vittring av salt- och frostsador än väggar mot öster och norr. Det hänger samman med murverkets ytliga temperatur- och fuktbelastade rörelser som orsakar mikrosprickor mellan fog och tegel, där fukt genom regntillförsel är som störst utvändigt och där mikroklimatet på utvändiga såväl som invändiga väggar påverkas av solen genom strålvarme.



Figur 46. Skadorna är tydligt koncentrerade efter väderstreck.

Fuktvandring och murröta

I de nygotiska tegelmurverken med saltrelaterade problem kan fukt tas upp på framförallt tre sätt; genom kapillärsugning i fogbruk, genom kapillärsugning i vittlade tegelstenar samt genom sprickor och håligheter som uppstår mellan tegel och fog. För flera av de nygotiska murverken har man även haft problem med tak- och plåttäckningar vilket inneburit att vatten även kunnat komma in uppför till murverket. Då kärnan består av tegel och kalkbruk som är porösare än fasadmaterialen innebär detta att vatten sugas in i murkärnan från fasadskalet och ackumuleras där. I arkivmaterial från exemplet Högsäters kyrka har man uppskattat vattenmängden i tornet till 140 m³ vatten vid något tillfälle.

Vattnet från murverkets kärna kan avgå genom diffusion och kapillärtransport till ytan. Både inåt rummet och utåt mot fasadytan är möjliga vägar för vattnet att torka ut. Eftersom murkärnan är byggd av så porösa material

innebär det att murverket kan magasinera så mycket vatten att det är svårt för fukten att någonsin hinna torka ut då ytan tenderar släppa in mer vatten än vad som kan diffundera ut. När vattnet avgår mot den invändiga murytan transporteras även salterna som lösts upp från teglet. Dessa avsätts sig när (inomhus) klimatförutsättningarna gör att de bildar kristaller, med följden att ytan missfärgas och sprängs sönder. När man i omgångar använt täta färger, asfaltbeläggningar eller tätare puts invändigt så har detta ytterligare förvärrat läget då fukt har blivit instängd i murkärnan och det beskrivna scenariot har inträffat.

För murkärnor är det intressant att kalken i murbruket fungerar som ett svårslutligt salt, se tabell 1; CaCO₃. Det krävs att det utsätts för en fuktig miljö (högre än RF 100 %) under lång exponeringstid för att det skall gå i lösning (Forster 2007). Om det dessutom finns tillgång på någon typ av salt som sänker pH så ökar dess löslighet genom en syra-bas reaktion. Inuti många murverk förekommer såväl hög relativ fuktighet under lång exponeringstid som salter – således kan kalken i murbruket lösa upp sig och murbruket pulveriseras och förlorar hållfasthet och bärighet.

Under 1900-talet har de flesta omfattande murverksreparationer utförts med cementbruk, oavsett om murverket från början varit murat med någon typ av kalkbruk (vilket det kan förutsättas ha gjorts om det är uppfört före 1940-talet, dock med stora variationer). Troligen har man tänkt att det är viktigt att laga med ett starkt och tätt material utan att riktigt vara medveten om vilka följder det kan få. I exemplet med Högsäters kyrka visar arkivmaterialet att man i vissa tider har varit medveten om detta och försökt hålla fast vid användningen av kalkbruk, men det förekommer både (kalk)cementbruk och kalkbruk. Då ett rörligt murverk med kalkfogar har lagats med ett hårt och styvt bruk såsom cementbruk, kalkcementbruk eller starkt hydrauliskt kalkbruk, kommer sprickor i ytan så småningom uppkomma pga. fukt- och temperaturbetingade rörelser (Burstrom 2001). Genom dessa sprickor kommer vatten att kunna ta sig in i murverket, men även vittrat tegel bidrar till detta. Om murverket delvis har fått ett tätt ytskikt kan det innebära att avdunstningen inte sker i samma takt som uppfuktningen och det gör att fukt ackumuleras inuti murverket, bakom den täta ytan. När dessutom murskalet inte är i förband med bakmuren utan fristående kan ingen kapillärtransport av vatten ske och uttorkningen blir därför mycket begränsad.

När detta har skett under flera årtionden, vilket i dagsläget är fallet med flertalet stora murverkskonstruktioner i Sverige, bl.a. Adrian Peterssons nygotiska kyrkor, så har det ofta lett till att kalken som från början fanns som bindemedel i fog- och murbruk har lakats ur (Balks-

ten et al 2012). Den höga fuktbelastningen inuti murverket har likaså lett till att frostrelaterade skador uppkommit inuti muren. Kvar i murverket finns då inte ett bindemedel med sammanbindande förmåga utan det består istället framförallt av fuktig kalkhaltig sand. I Högsäter finns fenomenet beskrivet i arkivmaterial och man har sett att både murbruket och murteglet har pulveriserats och håller mycket fukt på sina ställen – i äldre litteratur beskrivet som *murröta*.



Figur 47. Här visas hur fukt som ansamlas inuti murverket ger upphov till så kallad murröta; tegelstenarna har frusit sönder och delar sig medan kalkbruket har antagit karaktären och egenskaperna av blöt sand. Exempel från Örgryte nya kyrka.

Följden av detta fenomen kan på sikt bli att strukturella problem uppkommer (Forster 2007). Vid renoveringen av tornet i Högsäter år 1992 kunde murarna Ahlbom och Larsson bekräfta att hela innandömet i murverket var sönderfruset och pulveriserat (Balksten 2017:1). Då murskalet dessutom inte var murat i tillräckligt förband (var sjunde skift istället för vartannat) så hade dessa djupgående fasadstenar frusit av. Följden av det var, förutom att skalet satt bom från murkärnan, att löst material inuti muren hade ramlat loss bakom skalet och skapat ett allt större hålrum, se återigen figur 6.

Möjliga åtgärder?

Att bli av med salter som förekommer i murverk är i dagsläget inte möjligt. Avsaltning kan fungera i vissa fall för enstaka objekt som statyer och dylikt. För tjocka murverk, källarvalv eller höga kyrktorn är salterna förekommande i en sådan omfattning och på ett sådant djup att de inte är åtkomliga (Eklind 1983).

Beroende på vilka salter som förekommer liksom hur de tillförts kan dock vissa skador minimeras genom följande åtgärder;

- minimera vattentillförseln utifrån
- anpassa inre ytskikt så att fukttransporten kan styras och uttorkning kan ske
- klimatstyrning (gäller framförallt inomhus).

Klimatskalet måste självklart vara i funktion med fungerande vattenavrinning och fungerande dränering. Ytermurar bör inte kunna suga upp mer vatten än vad som kan diffundera utåt. Om det förekommer punkter

eller sprickor i murverket som tar in vatten så krävs det att hela murverket hjälper till att få fukten att avgå igen, dvs. dess yta får inte vara alltför tät om det samtidigt förekommer partier med hög sugförmåga bakom den täta ytan. I äldre murverk pågår ett ständigt åldrande vilket i princip innebär att alla murverk tar in mer eller mindre vatten genom de vertikala murytorna med (kapillär)sugande murstenar och dess fogar.

Ytskikt inomhus skall inte vara täta så att uttorkning försvåras eller omöjliggörs. Om så är fallet avsätts salter under ytskiktet och "äter" sig in i materialet under. Två exempel på åtgärder som orsakat mer skada än nytta är; ¹)lagning av kalkputs med ett tätt putsbruk baserat på cement samt ²)målning med latexfärg på kalkputs (Balksten 2009). Om en offerputs skall tillämpas på ytan så gäller det att den får en porstruktur som gör att den suger fukt från underlaget kapillärt samtidigt som att den inte får innehålla alltför stora hålrum. Hur en sådan puts bör se ut i detalj finns det inte någon tydlig forskning som visar på. Om putsen är mager och porös samt har en tätbearbetad yta så utsätts den för omfattande skador vilket man kan se exempel på bl.a. i tornet på Örgryte nya kyrka (Balksten et al 2012). Då har inte bindemedlet någon chans att hålla emot det kristallisationsstryck som bildas när salter avsätts i porerna.

Det finns beskrivet (Rodriguez-Navarro, Doehne 1999) att i material som enbart innehåller få stora porer samt begränsat med kapillärporer, varigenom de har en begränsad inre yta, innebär det att saltlösningen snabbare kan nå ytan och bilda effluorescens snarare än subfluorescens. Det finns också beskrivet att där porstorlekar under 100 nm förekommer (gäller för tenardit medan 5,2 nm gäller för halit) så kommer ofta kristallisationsstrycket överstiga 3 MPa, vilket är mer vad de flesta oorganiska byggnadsmaterial har för gränsvärde på draghållfasthet (Rijners 2004).

För halit (NaCl) gäller då att ytskiktet skall innehålla oerhört små porer för att dess kristaller kan orsaka skada genom subfluorescens. Detta är sammantaget faktorer som måste beaktas när lagningsbruk, offerputs eller nya färgskikt skall tillföras en yta. Bruk måste därmed tillredas, appliceras och bearbetas så att det får en anpassad porstruktur (Balksten 2005). Olika åtgärder behövs dessutom beroende på om salterna är klorider eller sulfater och utifrån om de avsätts inuti murverket eller på ytan. För klorider kan en åtgärd väljas så att salterna kan avsättas på ytan utan att därigenom orsaka alltför estetiskt störande skador som exempelvis färgbortfall. För sulfater kan en åtgärd väljas så att salterna kan avsättas inuti ett inre putsbärande material under ytan som kan rymma saltkristallerna och tåla dess kristallisationsstryck utan att låta salterna spränga av ytputsen.

Där salter förekommer inomhus på eller i en puts är det i vissa fall möjligt att styra klimatet så att man minimerar antalet kristallisationscykler. Detta är i teorin endast möjligt för vissa salter och vissa kombinationer av salter. Det gäller då först och främst att identifiera vilka salter som förekommer i murverket och identifiera det kritiska RF var de kristalliserar. Om det finns flera salter behöver ett intervall av kritiskt RF beräknas (Laue, Schaab 2011). För avgränsade rum kan sedan klimatet styras så att förändringen i RF inte upprepade gånger passerar den kritiska nivån. Dock kan även yttre faktorer påverka inomhusklimatet i vissa typer av utrymmen. T.ex. kan det ske genom att solen värmer upp såväl inomhusluften som avgränsade murverksytor och därigenom skapar lokala variationer i väggens mikroklimat.

När det är salt av natriumsulfat som förekommer är det svårt, om inte omöjligt, att skapa ett optimalt klimat för att undvika kristallisation. Det beror på att det börjar kristallisera vid mycket låga RF och varierar i kristallfaser upp till 93 % RF då allt kan sägas gå i lösning vid 20°C (Flatt 2002). Här gäller då att tillförd fukt till murverket måste minimeras och att avdunstning måste kunna ske på både yttersida och innersida av murverket. Bara genom att ha ett välplanerat löpande underhåll med byte av skadat tegel och skadat fogbruk kan vatteninträning minskas.

Hydrofobering av tegelfasader

Kan hydrofobering lösa problemet med inträngande fukt i murverket och därigenom minska saltproblematiken? Hydrofobering innebär att man behandlar murverkets yta med ett medel som gör att ytan blir vattenavvisande. Detta skall bidra till att ett murverk minskar vattenupptagningsförmågan varvid mängden vatten som tränger in i murverket minimeras och det vatten som ännu magasineras i murverket sedan innan får en chans att torka ut inåt och ibland även utåt om hydrofoberingsmedlet tillåter diffusion.

För att ett hydrofoberingsmedel skall kunna fungera tillfredsställande får det inte finnas tillstymmelse till skador på murverket som skall behandlas varför det är av yttersta vikt att först byta ut framförallt skadat fogbruk och ersätta detta med nytt fogbruk av yttersta kvalitet (van Hees 1998). Det får inte heller förekomma frostskaadat tegel eftersom förekomsten av frostskaadat tegel alltid kommer att uppkomma på nytt. Fogbruket måste vara kompatibelt med murverket vad gäller vidhäftning till tegel och murbruk, fukt- och temperaturutvidgningsförmåga samt elasticitetsmodul (Balksten et al 2014). Om fogen kommer att arbeta sig loss från murverket, om minsta sprickbildning förekommer eller om fogen genom sin hårdhet kommer att spränga teglet vid rörelser

kommer impregneringen bli verkningslös så snart den första nya skadan har uppkommit.

Det saknas utvärderingar av hydrofoberingsmetoder i det nordiska klimatet men det finns utvärderingar gjorda för andra delar av Europa där frostproblematik förekommer (van Hees et al 1998). När hydrofoberingsmetoder har utvärderats har man studerat tegel/fogbruk som system då dess samverkan är av yttersta vikt och då olika tegel och olika fogbruk kan skilja i sugförmåga är detta något som måste tas i beaktande vid behandlingens genomförande. Generellt håller en behandling längre om murverket står sig helt utan skador (van Hees et al 1998). För att förhindra fuktinträning gäller det således att ha god kontroll på tak- och plåttäckningar, stigande markfukt och minsta skada som uppkommer i form av materialförlust, rörelsesprickor mm.

Även om hydrofoberingen innebär att murverket fortsatt blir diffusionsöppet så innebär den samtidigt att den snabba uttorkning som normalt kan ske med kapillärtransport helt förhindras. Det innebär att uttorkning inte längre kan ske tillfredsställande.

Om salter förekommer i murverket kan följande inträffa efter att hydrofobering utförts; salter kan inte längre transporteras ut till ytan och avsättas utanpå tegelytan eftersom bara fuktdiffusion och inte kapillärtransport av vatten kan ske genom hydrofoberingen (van Hees et al 1998). Det kan istället innebära att salterna avsätts innanför hydrofoberingens verksamma zon med sprängning av teglets/fogens yta som följd och därmed förlorar hydrofoberingen sin verkan.

Om vatten tränger in i murverket genom en första skada kan även detta ansamlas bakom yt-zonen med hydrofoberingsmedel genom en försvårad och långsammare uttorkning. Följden kan då bli att ytan fryser sönder och spjälkas loss och även då förlorar hydrofoberingen sin verkan (van Hees et al 1998). Om vatten på något sätt kan ta sig in bakom hydrofoberingen genom vittring av murverket kan hydrofoberingen leda till ökade risker för skador genom att det försvårar och förändrar möjligheten till uttorkning.

I en av fallstudierna – Högsäter kyrka – har man vid två tillfällen behandlat delar av fasaderna med hydrofoberingsmedel. Den första som användes 1992 var en siloxan som räknas till silikonhartser. Enligt produktbladet skulle det ge en diffusionsöppen yta då porerna inte tätas utan bara får en vattenavvisande yta som hindrar vatten att sugas upp. Den andra som användes 2009 var en alkylalkoxysilan-produkt vilket räknas till produktgruppen silaner. Enligt produktbladet skulle produktens molekyler binda kemiskt till mineraliska underlag såsom tegel och fogbruk medan den vattenavvisande delen av molekylen sticker ut från underlaget och hindrar vatten från att sugas upp samtidigt som ytan fortsätter vara

diffusionsöppen och därigenom tillåter uttorkning att ske. Båda medlen anges däremellan som miljöfarligt avfall och bör ej spridas i naturen. Båda dessa produkter har ett av tillverkaren angivit underhållsintervall på 7-10 år för maximal effekt. Inget av materialen rekommenderas för användning om frost- eller saltskador förekommer i murverket då det kommer att förvärra problemen på sikt (Kärnbratt 2016).

I en forskningsstudie som presenterades 1998 (van Hees et al) visade det sig att en impregnering dock kan vara verksam, helt eller delvis i upp till 30 år, förutsatt att murverket inte har åldrats under tiden genom frostska-
dor eller annan materialförlust, vilket i så fall innebär att obehandlade ytor kommer i dagen.

Vid jämförande studier (Barnat-Hunek et al 2016, Stefanidou, Karozou 2016) där silikonhartser och silaner ingått har det visat sig att produkterna har olika egenskaper och effektivitet som hydrofoberingsmedel; silanerna är mer effektiva än silikonhartserna genom en längre hållbarhet samt genom att de ger ett ökat skydd mot fuktuppsugning och effektivare skydd mot frost- och saltsprängning. Genom att silanerna även ger en lägre ånggenomsläpplighet är det dock extra viktigt att det aldrig får komma in vatten bakom dessa då murverket bryts ner.



Figur 48. En hydrofoberad yta på Högsäters kyrka där det syns hur vatten pärlar sig på hela tegelytor. Här är dock många vittrade tegelytor som vittnar om att vittringen är en ständigt närvarande process och då är hydrofoberingen inte lämplig eftersom det kan ge ökad vattenbelastning på skadade fläckar.

Observera att hydrofoberingsmedel inte rekommenderas för gamla tegelmurverk där fortsatta skador kommer

uppkomma pga. inneboende svagheter i murverkets material, se figur 48. Där rekommenderas att hydrofoberingsmedel avlägsnas med syra för att förhindra svåra skador (Kärnbratt 2016) om det mot all förmodan har använts.

För fasader som har behandlats med silaner för att minimera vattenupptagningen i murverket är det ytterst viktigt att ha koll på det löpande underhållet på dessa och angränsande fasader där påtvingat regn kan tränga in istället. Så snart man finner nedfallna tegelbitar eller fogbruk måste detta åtgärdas och återbehandlas om inte hydrofoberingen skall ställa till med ökade skaderisker när vatten kommer in bakom hydrofoberingen. En underhållscykel där statusen på murverket undersöks årligen från marken och underhållet kan utföras från skylift ca var 5 år kan således anses rimligt; såväl vad gäller lagning av trasigt tegel, trasigt fog som återbehandling med impregnering. Likaväl som att tegelmurverket bryts ner snabbare i vissa väderstreck och hårt utsatta ytor kan man förvänta sig att även impregneringsmedlet kommer att nötas bort snabbare på dessa ytor med behov av tätare återbehandlingsintervall. Om ett underhållsintervall skall kunna göras glesare bör eventuella hydrofoberingsmedel på sikt avlägsnas.

Sammanfattande analys

Saltproblematiken i tegelmurverk är i särklass illa när det gäller de nygotiska kyrkorna, med höga torn där söder- och västfasader tidigt uppvisat omfattande problem.

De är vanligen uppförda i murtegel och kalkbruk 1:2-1:3 (volym kalk/sand). Redan på 1800-talet visade det sig vara en undermålig kvalitet på såväl tegel och kalkbruk i murkärnan. I fasaden är det istället hårdbrända fasadtegel med tät yttersida ihop med ett tunt skikt av styvt och tätt cementrikt fogbruk. Bland murteglet förekommer sannolikt stenar som är relativt lösbrända av en lera innehållande svavelkis vilket har gett upphov till inmurade mursalter. Fasadteglet saknar god förankring i bakmuren då endast vartannat till vart sjunde skift är murat i förband.

När fogbruket är styvt och tätt och teglets yta är hårt och tätt innebär det att när en muryta rör sig pga. temperatur- och fuktrörelser så riskerar det att bildas sprickor, dels mellan tegel och fog och dels parallellt med teglets ytskikt. Med tegelytor som spjälkar loss och med sprickor mellan tegel och fog, kan vatten komma in och ackumulera i murverket. Det bidrar i sin tur till frostska-
dor i ytan, murröta i kärnan och salttransporter med saltvittring in- och utvändigt. Med en rik förekomst av mursalter har saltproblem tidigt yttrat sig som saltskador invändigt i putsen och utvändigt med söndersprängda tegelytor och fogbruk som följd.

Konstruktionen var ny på 1870-talet när både cementbruk och fasadtegel fick genomslagskraft i Sverige. Innan dess kan vi tydligt se att tegelmurverk generellt var murade av högkvalitativt tegel, som homogena samverkande monoliter av högkvalitativt tegel och gott murbruk (i synnerhet om vi tittar på medeltida murverk).

Sannolikt kommer den här typen av murverk alltid innebära ett visst mått av fuktproblem. Framförallt kräver de ett välplanerat kontinuerligt underhåll där skadat material ersätts med kompatibla material vad gäller såväl tegel, murbruk som fogbruk. En noggrann underhållsplanering för de kommande 50 åren kan konstateras vara lämpligt.

Lagningsmaterialen av det utvändiga tegelmurverket behöver vara kompatibla sinsemellan samt med det ursprungliga murverkets material. De behöver ha en lämplig porstruktur för såväl fukttransport som frosthållighet och de behöver fukt- och temperaturutvidgningsförmågor som är likvärdiga för att undvika sprickbildning. Dessa forskningsfrågor som berör lagningsmaterialens kompatibilitet behöver noggrannare studeras i framtiden.

Tak, plåttäckningar och regnskydd måste alltid vara i gott skick för att undvika punktrinträngning av vatten ovanifrån. Hydrofobering är inte lämpligt på kontinuerligt vittrande murverk då det redan efter första skadan blir överksam och istället släpper in punktvist med rikliga vattenmängder genom sprickor mellan tegel och fog samt genom frostsadade tegelytor. Dessutom hindrar det inträngande fukt från att torka ut. Hydrofoberingen orsakar även att vatten kan driva längs med fasaderna och istället tas upp på andra oväntade ställen, under plåtar, runt hörn mm.

Salter som avsätts invändigt i byggnader rör sig med fukttransporten i murverken. Genom att ett murverk kan ta upp mycket fukt går salterna i lösning och rör sig med det uttorkande vattnet mot en yta. Genom temperaturförändringar, såväl beroende av lufttemperatur som genom direkt solljus, ändrar ytor temperatur och salterna kan därigenom passera kristallisationspunkterna ofta med upprepade skador som följd. Med salter som natriumsulfat är det inte möjligt att styra klimatet för att helt undvika att salternas kristallisationscykler passerar och det gäller istället att minimera effekten av skadorna.

För att kunna vidta åtgärder är det viktigt att först identifiera saltskadans karaktär och vilken typ av salt som förekommer. Därefter behöver man identifiera vilka faktorer som styr saltförekomst och salttransport såväl som kristallisationsmönster och kristallisationscykler utifrån mikroklimatet vid skadans uppkomst. Vissa faktorer kan därefter avhjälpas genom ett kontinuerligt väl utfört underhåll. Det gäller framförallt:

- murverkets beteende vid fuktuppsugning/avdunstning såväl utvändigt som invändigt
- rörelseförmåga, vidhäftning och kompatibilitet mellan tegel och fogbruk
- porstruktur och frostbeständighet hos porösa material
- minimering av kristallisationscykler på och nära murytor genom (inomhus)klimatstyrning.

Genom att skapa förutsättningar för ett förändrat mikroklimat som kan erhållas med ett värmeisolerande skikt och genom en putsbärare som har en gynnsam porstruktur kan salttransporten till ytan minskas något. Fallstudier med hampakalkskikt som invändig putsbärare, se kapitel 8 "Hampakalk mot saltvittring" har visat att det dröjer innan salter vandrar från tegelmurverket genom hampakalken och till ytan av kalkputsen jämfört med om en vanlig offerputs för salt används. Utvändigt behöver samtidigt murverket vara helt och oskadat för att minska vattenupptagningen och därmed behovet av avdunstning inåt.

Underhållsfria material existerar inte, men de kan vara mer eller mindre möjliga att underhålla. Här gäller det att tänka utifrån att det ska vara lätt och f att underhålla ett murverk och att inga åtgärder får förvärra eller orsaka skador. Vid val av tegel, murbruk, fogbruk och putsbruk är det därför av yttersta vikt att man har en förståelse för murverkets komplexa funktion och verkningssätt.

Referenser

- Andersson, E. (2010) *Fuktproblematik i oputsade sten- och tegelkyrkor i Göteborgs stift*. Projektrapport. Göteborgs stifts skriftserie 2010:4.
- Balksten, K. (2005) *Kalkputs – Porstrukturens betydelse för beständighet*. Licentiatuppsats, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Balksten, K. (2009) *Saltskador Annedalskyrkan*. Opublicerad förundersökning.
- Balksten, K. (2007) *Traditional lime mortar and platser – Reconstruction with emphasis on durability*. Doktorsavhandling. Göteborg Chalmers
- Balksten, K., Lange, J., Lindholm, M. (2012) *Fuktproblem i salt och frostsakat tegelmurverk – Fördjupad analys av Örgryte nya kyrka*. Göteborg: Göteborgs stifts skriftserie 2014:01.
- Balksten, K. & Mebus, U. (red.) (2013). *Bruk av ruiner: kulturarv, konstruktion, kalkbruk, komfort & kalsonger*. Visby: Fornsalens förlag
- Balksten, K., Lindholm, M., Lange, J. (2014) *Increased salt and frost damages in solid neo-Gothic brickwork masonry due to low permeable restoration materials of the 20th century*. 9th International Masonry Conference 2014 in Guimarães, Portugal.
- Balksten, K. (2017:1) *Högsäters kyrka. Fördjupad förundersökning av fukt- och saltskadat tegelmurverk*. Munkedal: Balksten byggnadsvård
- Balksten, K. (2017:2) *"Gotlands obrutna kalktradition" Byggnadshyttan på Gotland 2015-2016*. (Red. Utas, J.) Sid. 33-45. Visby: Byggnadshyttan på Gotland.
- Balksten, K., Lindholm, M., Rodin, A. (2018) *Gödestads kyrka. Förundersökning & Åtgärdsprogram för underhåll*. Munkedal & Göteborg: Balksten Byggnadsvård AB & Lindholm Restaurering AB.
- Barnat-Hunek, D. (2016) *Effect of hydrophobisation on durability related properties of ceramic brick*. Construction and Building Materials 111 (2016) 275-285.
- Burstrom, P.G. (2001) *Byggnadsmaterial – Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur.
- Byggnadstekniska Föreningen i Göteborg (1945). *Murväggar i västkustklimat*. Göteborg: Bröderna Töpel's boktr..
- Camuffo, D. et al (2010) *Thenardite-Mirabilite cycles in historical buildings*. 9th Indoor Air Quality meeting Chalon-sur-Saone, France.
- Carlsson, T. (1995) *Luftporstrukturens inverkan på egenskaperna hos puts- och murverk*. Lund: LTH.
- Cronstedt, A.F. (1761). Om tillgång på ämnen för stenhusbyggnad och om kalkbränning i masugnar.. *Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar* Stockholm: Kungl. Vetenskapsakademien.
- Tillgänglig på Internet: <http://hosting.devo.se/kvah>*
- Eliander, C. Håkansson (1748). *Beskrifning om kalkugnarerna i Ängeland och norr i Frankrike*. *Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar* Stockholm: Kungl. Vetenskapsakademien.
- Tillgänglig på Internet: <http://hosting.devo.se/kvah>*
- Eklind, Å. (1983). *Saltvittring i äldre tegelmurverk: tekniska problem och metod att förhindra saltvittring*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning
- Eriksson, A. (1932). *Murtegel och tegelmurverk ur byggnadsteknisk synpunkt*. Stockholm: Tegellbrukens Försäljningsaktiebolag
- Fagerlund, G. (1972) *Kritiska vattenmättnadsgrader i samband med frysning av porösa och spröda material*. Lund: LTH
- Flatt, R.J. (2002) *Salt damage in porous materials: how high super saturations are generated*. Journal of Crystal Growth 242 (2002) pp. 435-454.
- Forster, A. (2007) *Binder loss in traditional mass masonry: a cause for concern?* Structural Survey. Vol 25 Iss: 2, pp. 148-170.
- Freedland, J (1999) *Soluble salts in porous materials: evaluating effectiveness of their removal*. Master thesis. Uni-versity of Pennsylvania.
- Grahn Andersson, A. (2008) *Salter i porösa oorganiska byggnadsmaterial*. Högskolan på Gotland: Examensarbete.
- Granhölm, H. (1958). *Om vattengenomslag i murade väggar med särskild hänsyn till tegel som fasadmaterial..* Göteborg: Gumpert
- Henström, A. (1869). *Praktisk handbok i landtbyggnads-konsten* Örebro: Beijer
- Hesselman, G. (1945). *Från skråhantverk till byggnadsindustri: om husbyggen i Stockholm 1840-1940*. Stockholm: AB Tidskriften Byggmästaren
- Holmberg, J W. (1812). *Fullständig beskrifning om mur-tegels tillverkning ... tryckt hos directuren Johan A. Carlbohm. 1812..* Stockholm
- Håkansson, O. (1925). *De som byggt Stockholm: ur mureriarbetets och murarnas historia*. Stockholm: Seelig & C:o
- Karlson, Valfrid (1988). *Sekelskiftets byggt teknik: om arkitekten Valfrid Karlson: byggnadsverk och läroböcker*. Stockholm: Svensk byggtjänst
- Konow, T. von. (1997) *Restaurering och reparation med puts- och murbruk*. Åbo: Åbo akademi.
- Konow, T von et al (2002) *The study of salt deterioration mechanisms*. European Commission, Suomenlinnann hoitokunta.
- Kjellin, E. & Hökerberg, O. (1928) *Byggnadskonsten, dess teori, juridik och praktik*. Stockholm: Lars Hökerbergs Bokförlag
- Kreüger, H. (1916). *Om murbruk och tegelmurverk..* Stockholm: Svenska teknologföreningens förlag
- Kärnbratt, S. (2016): *"Hydrofobering och klotterskydd på historiska murverk? Ur leverantörens synvinkel"*, produkt-specialist Trion Tensid AB, föreläsning vid Nordiskt kalkforum 2016-11-17, Malmö
- Larsson, R. (2011). *Murverkets hemligheter: en vägvisare till Stockholms stadshus*. Stockholm: Bokförlaget Langenskiöld
- Laue, S., Schaab, C. (2011) *Mitigation of salt damages by climate stabilization and salt extractions in the Crypt of St Maria im Kapitol, Cologne*. Proceedings of SWBSS, Limassol, Cyprus 2011, pp. 129-136.
- Munthe, H et al (1945). *Om kalkindustrien på Gotland*. Stockholm: Ur Hammare och fackla
- Nilsson, L-O et al (2000) *Material och transportprocesser*. Göteborg: CTH. Inst. för byggnadsmaterial: Kurskompendium.
- Pasch, G.E. (1838) *Om Kalkarter och Hydrauliskt murbruk*. Stockholm: Jernkontorets Annular
- Paulsson, G. (red.) (1936). *Hantverkets bok 4 Mureri*. Stockholm: Lindfors
- Paulsson, G. & Granhölm, H. (red.) (1953). *Hantverkets bok. Mureri. 3., omarb. uppl*. Stockholm: Lindfors
- Pühringer, J. (1983). *Salt disintegration: salt migration and degradation by salt: a hypothesis*. Stockholm: Swedish council for building research
- Rijners, L (2004) *Salt crystallization in porous materials: an NMR study*. Technische Univesiteit Eindhoven: Ph D Thesis.
- Rinman, S. (1773) *Rön om cement*. *Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar* Stockholm: Kungl. Vetenskapsakademien.
- Tillgänglig på Internet: <http://hosting.devo.se/kvah>*
- Rodriguez-Navarro, C., Doehne, E. (1999) *Salt weathering: influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern*. Earth Surface Process and Landforms 24 (1999) pp. 191-209.
- Rodriguez-Navarro, C. et al (2000) *How does sodium sulfate crystallize? Implications for the decay and testing of building materials*. Cement and Concrete Research 30 (2000) 1527-1534
- Rothstein, E. von (2003[1890]). *Allmänna byggnadsläran*. Faks.-utg. Kristianstad: Accent
- Rudberg, E. (1999). *Stockholmsutställningen 1930: modernismens genombrott i svensk arkitektur*. Stockholm: Stockholmia
- Shahidzadeh-Bonn, N., Bertrand, F., & Bonn, D. (2009). *Damage due to salt crystallization in porous media*. arXiv:0906.2502.

- Shahidzadeh-Bonn, N. et al (2010) *Damage in porous media due to salt crystallization*. Phys. Rev E 81, 066110.
- Siöbladh, C.G., Engeström, J. (1750) *Beskrifning, huru kalk skal tilredas ifrån thes första Bränning til then warder färdig til sitt bruk*. Original ur Calle Brobäck's Gotlandicasamling, maj 2007.
- Stefanidou, M, Karozou, A. (2016) *Testing the effectiveness of protective coatings on traditional bricks*. Construction and Building Materials 111 (2016) 482-487.
- Steiger, M. & Asmussen, S. (2008) *Crystallization of sodium sulfate phases in porous materials: The phase diagram $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ and the generation of stress*. Geochimica et Cosmochimica Acta 72 (2008) 4291-4306
- Stål, C. (1854). *Utkast till allmän byggnadslära*. Fahlun
- Sveriges tegelindustriförening (1959). *Murtegelnormer: 1955*. Sveriges tegelindustriförening.
- Tegelindustriens centralkontor (1949). *Hur man bygger sin egen tegelvilla*. Stockholm: Tegelindustriens centralkontor.
- Thorslund, P. (1936). *Siljansområdets brännkalkstenar och kalkindustri*. Stockholm:
- Van Hees, R.P.J. (1998) *Evaluation of the performance of surface treatments for the conservation of historic brick masonry*. Protection and conservation of the European cultural heritage. Research report No 7. EUR 17979 EN.
- Werdenfels, Å. (1984) *Skånskt tegel*. Skånes Hembygdsförbud
- Wijnblad, C. (1762). *Afhandling om mur- och tak-tegelbruks inrättande, jämte beskrifning huru tegel på fördelaktigt sätt brännes med stor besparing af wed, samt nödiga ritningar på lerbråkor, lador och ugnar, förestälta uti 6 kopparstycken, af Carl Wijnblad.*: Stockholm, tryckt hos Pet. Hesselberg, 1762. Stockholm
- Zehnder, K., Arnold, A. (1989) *Crystal growth in salt efflorescence*. Journal of Crystal Growth 97 (1989) pp. 513-521.

Hampakalk som byggnadsmaterial

Författare: Paulien Strandberg-de Bruijn & Kristin Balksten

Hampakalk bygger på en gammal tradition av att blanda till ett byggnadsmaterial av fibrer och bindemedel – i det här fallet hampaskävor och kalk. Här presenteras materialets ursprung, sammansättning, byggtekniker och möjligheter.

Hampakalk – ett hållbart material

Hampakalk började användas som byggnadsmaterial i Frankrike i början av 1990-talet. Materialet tillverkas genom att blanda hampans vedämnen (s.k. skävor¹), byggkalk och vatten.

I början av 2000-talet introducerade den brittiske arkitekten Ralph Carpenter hampakalk som byggnadsmaterial i Storbritannien genom ett byggprojekt i Suffolk; Haverhill Hemp Houses projekt. Här byggdes två radhus i hampakalk och två radhus med en vanlig tegelfasad. Byggprocessen dokumenterades och följdes upp genom en studie av det brittiska *Building Research Establishment* (Yates 2002).

Sedan dess har hundratals hus byggts med hampakalk i Storbritannien, och fram till idag (2018) har över 10 000 hus byggts med materialet i Frankrike. Även om hampakalk nu används i flertalet länder, både i och utanför Europa, pågår mycket forskning och utveckling kring byggnadsmaterialet hampakalk fortfarande i just Frankrike och Storbritannien.

Fördelar med att bygga med hampakalk är;

- låg miljöpåverkan
- lättvikt
- förnybar råvara från lantbruket (hampa)
- möjligt att använda lokalt producerade råvaror (hampa och kalk)
- goda termiska egenskaper (se *Hampakalk för tilläggsisolering*)
- goda akustiska egenskaper (se *Hampakalk för god akustik*)
- bra brandsäkerhet (se *Hampakalk för brandskydd på tilläggsisolerade reveterade trähus*)
- unik porositet

Biobaserat byggande

Användningen av ett förnybart restmaterial från lantbruket (hampaskävor) som råvara till produktionen av ett hållbart och beständigt byggnadsmaterial passar väl in i ett biobaserat och fossilfritt samhälle.

Dagens byggsektor har en stor inverkan på miljön i form av utsläpp av växthusgaser, energiförbrukning,

användning av naturresurser och avfallsproduktion. Användningen av betong som byggnadsmaterial leder till stora utsläpp av växthusgaser och utarmning av naturresurser, både fossila och mineral. Cementindustrin står idag för cirka 5 % av världens koldioxidutsläpp (Worrell et al 2001), vilket gör att cement- och betongindustrin till stor del bidrar till utsläpp av växthusgaser och användning av fossila bränslen. Hampakalk har potential att användas i stället för cementbaserade byggmaterial och kan därmed bidra till en minskad användning av fossila bränslen för framställning av byggnadsmaterial.

Användning av hampa som byggnadsmaterial kan bidra till att tillgodose ett behov från samhället att ställa om mot en biobaserad ekonomi och hjälper att minska användning av fossila råvaror samt öka möjligheterna för vidareförädling av svenska lantbruksprodukter. Dessutom öppnas en ny möjlighet för det svenska lantbruket som leverantör av hållbara biobaserade byggnadsmaterial.

Industrihampa i Sverige - förr och nu

Hampa (*Cannabis sativa* L.) härrör från Centralasien och har därifrån brett ut sig till Kina där det först omnämndes som kulturväxt 2800 f.Kr. (Fröier 1960). Troligtvis började dock hampan användas som fibergröda mycket tidigare än så.

Under Vikingatiden blev industrihampa en viktig fiberväxt i Skandinavien. Enligt Fröier (1960) kom Vikingarna troligtvis i kontakt med hampan genom sina resor österut till vad som idag är Baltikum och Ryssland (Fröier 1960). Hampa har använts bl.a. till rep, segelduk, kläder och fiskelinor. Hampakläder och -frö har hittats på Vikingaskepp från så långt tillbaka som 850 e.Kr. (Abel 1980).

Kärt barn har många namn

Hampakalk kallas på svenska även **hampabetong**.

Utomlands refereras till materialet på olika sätt;

Engelska: hemp-lime, lime-hemp, hempcrete,
hemp concrete, hemcrete

Franska: chaux-chanvre, chanvribat,
béton de chanvre, chanvribloc,
construire en chanvre

Nederländska: kalkhennep, hennepbeton

¹ hampaskävor = hemp shiv på engelska

På 1600- och 1700-talen försökte man få fler bönder i Sverige att odla hampa då flottans behov av tågvirke var mycket stort. Hampa kunde odlas i hela landet vilket kan exemplifieras med att de mest kända hampodlande bygderna vid 1700-talets slut var bl.a. Tornedalen, Västernorrland, Jämtland och Gotland (Fröier 1960), se Fig 1.

Under 1800-talets slut odlades mindre hampa i Sverige, bland annat på grund av stark konkurrens från tropiska fibrer såsom jute, manillahampa och sisal. Dock uppstod förnyat intresse att odla hampa i Sverige under första världskriget, men framför allt under andra världskriget. År 1941 odlades hampa på 150 ha, som till 1942 utökades till 2000 ha (Knutsson 1943). År 1943 utkom skriften "Svensk hampodling" som informerade svenska lantbruket om hampodling. Här beskrevs hampa som "*en gammal svensk kulturväxt, som åter kommit till heders*". (Knutsson 1943).

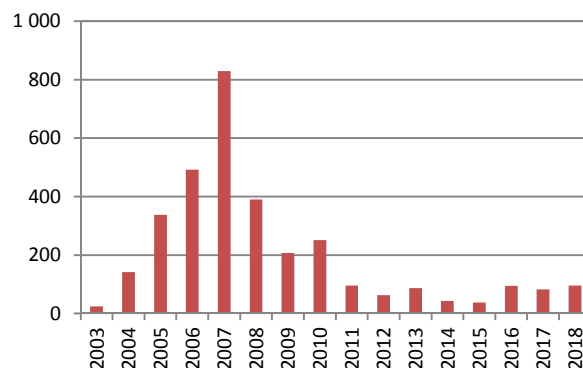


Figur 1. Hampaskörd på Gotland (okänt årtal dock troligen kring 1940-talet). Foto från Anna Anderssons fotosamling.

Efter andra världskriget fick den svenska hampaindustrin stark konkurrens från andra länder, framför allt Ryssland (Fröier 1960). Ännu år 1952 fanns dock en omfattande hampodling i mellersta/östra Sverige och i synnerhet på Gotland. I Visby låg ett beredningsverk för hampa som lades ner 1965, då det statliga stödet drogs in (Skoglund 2016). Enligt Osvald (1959) minskade hampodlingen pga. konkurrens med syntetiska fibrer. Slutligen blev det förbjudet att odla hampa i Sverige 1972 (Skoglund 2016), vilket enligt Holstmark (2006) berodde på hampans innehåll av narkotiska substanser men även på att den inte längre var tillräckligt lönsam att förädla. Här följde Skandinavien efter USA, Tyskland och England medan Frankrike och Spanien höll kvar produktionen för bl.a. tillverkning av papper.

Sedan 2003 har det åter blivit tillåtet att odla hampa i Sverige. Odling i Sverige har dock varit blygsam, se Figur 2. Bara sorter som är godkända enligt EU får odlas. Tetrahydrocannabinol (THC) är det aktiva narkotikaklassade ämnet i hampa. Godkända sorter har en THC-

halt under 0,20 % (Jordbruksverket 2019). Ofta används termen *industrihampa* för att förtydliga skillnaden mot narkotikaklassad hampa.



Figur 2. Hampodling i Sverige 2003-2018, i hektar. Enligt uppgift från Jordbruksverket (2019).

Hampa – en mångsidig växt

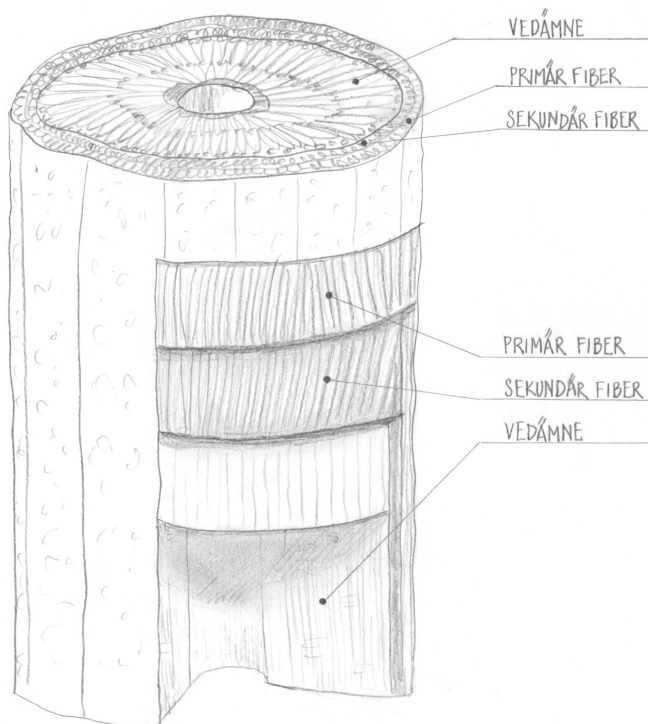
Hampa (*Cannabis sativa*) är en ettårig örtväxt. I Sverige kan hampa växa till 1,5-4 meters höjd (Holstmark 2006; Osvald 1959). Hampa behöver inga pesticider (Bevan & Woolley 2008) och växer som bäst med allsidig växtnäring typ stallgödsel. Enligt Holstmark (2008) har hampa stort kvävebehov i början på odlingsäsongen. Hampa lämpar sig väl i ett växtföljdssystem då det växer snabbt och därmed lätt konkurrerar ut ogräs. Den har inte så stora vattenbehov pga. av ett djupgående pålrotssystem. Hampans förfruktswärde är mycket god (Skoglund 2016). Det finns många olika förädlade sorter av *Cannabis Sativa* vilka ger olika goda förutsättningar att ge textilfibrer, olja mm. De är alla framtagna och förädlade för att passa på växtplatsen.

Hampastjälken kan delas upp i tre delar;

- fibrer
- frö
- vedämnen (skävor)

Fibrerna befinner sig på utsidan av hampastjälken (se Figur 3). De har hög draghållfasthet och kan användas för tillverkning av bl.a. textilier, rep och papper. Hampafrön används idag ofta som djurfoder. De har dock väldigt högt näringsinnehåll och lämpar sig även väl som näring till människor. Hampafrö kan pressas till (mat)olja. De har högt näringsvärde och kan användas för att producera djurfoder eller hampolja som är rik på de essentiella fettsyrorna omega-3 och omega-6. Det finns idag även en del kosmetika, choklad och andra varor där hampafrö har använts. Hampans vedämnen, de träliknande delarna som finns på insidan av hampastjälken, betraktas ofta som restmaterial. De utgör 40-60 % av hampastjälkens massa (Évrard 2003). Historiskt sett har hampans vedämnen använts till bioenergi (Prade 2011) genom att bränna dem. På Gotland försörjde de en stor del av beredningsverkets värmebehov för röttings-

processen (Fröier 1960). Idag i Europa används vedämnen dock oftast som djurströ (Karus 2005), bl.a. till hästar men även smådjur.



Figur 3. Hampans uppbyggnad med fibrer som ligger utanpå vedämnet (hampaskäven). Illustration: Kristin Balksten (efter Fröier 1960).

Det är just skävorna som används när man bygger med hampa och kalk. Fibrerna och vedämnena, se Figur 4-5, har olika kemisk uppbyggnad. Fibrerna har lågt innehåll av lignin, vilket gör dem väl lämpade för pappersproduktion (van der Werf 1994) och andra ändamål som nämnts ovan. Vedämnena däremot har ett lågt innehåll av pektin vilket gör att de är mer lämpade för användning i kombination med ett kalk- eller cementhaltigt bindemedel i och med att pektin bromsar upp bindemedlets bindetid (Dalmay et al. 2010).



Figur 4-5. Hampans vedämnen, skävor syns i övre bilden och hampans fibrer så som den ser ut när den används till hampa-fiberisolering syns i nedre bilden. Foto: Kristin Balksten

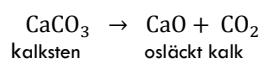
Kalk – ett historiskt och modernt byggnadsmaterial



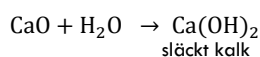
Figur 6. Kalkputs under applicering på en tegelvägg. Foto: Paulien Strandberg

Kalksten har sedan medeltiden bränts och använts mycket i Sverige, främst som bindemedel i puts- och murbruk men även i form av kalksten som byggsten. Idag används kalkbruk (Figur 6) mest för reparation av äldre bebyggelse som mur- och putsbruk. I modern byggnadsteknik förekommer det oftare i kombination med cement, exempelvis som KC-bruk.

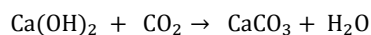
Råmaterial för kalkproduktion är oftast kalksten, men även krita, korall och snäckor har kunnat användas i brist på kalksten. Kalksten består till stor del av kalciumkarbonat (CaCO_3) som hettas upp till ca 900–1100 °C då koldioxid avgår och det bildas kalciumoxid;



Kalciumoxid kallas för bränd kalk eller osläckt kalk. När vatten tillsätts till den osläckta kalken bildas kalciumhydroxid, även kallad släckt kalk eller luftkalk;



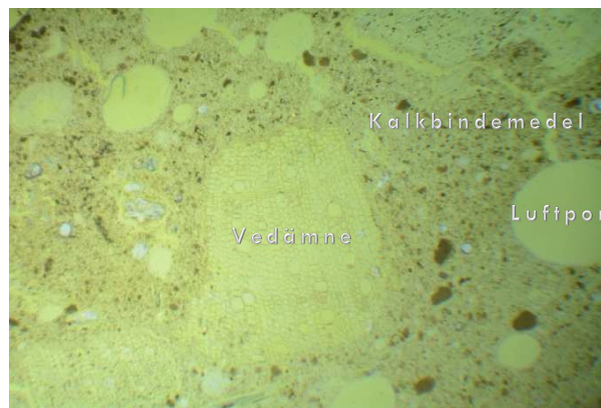
Släckt kalk karbonatiserar med tiden, dvs. det reagerar med koldioxid och bildar då åter kalciumkarbonat. Karbonatiseringsprocessen innebär att kalken binder koldioxid och avger vatten;



Kalkstenen som används för att producera luftkalk innehåller 95–100 % ren kalk, för hydraulisk kalk ligger det normalt mellan 70–90 %. För att producera hydraulisk kalk används en oren kalksten, där det även finns en del lerpartiklar som innehåller silikat (SiO_2), aluminat (Al_2O_3) och ferrit (Fe_2O_3). Dessa reaktiva ämnen ger en kemisk (hydraulisk) härdningsprocess i kalken som sker utöver den beskrivna karbonatiseringsprocessen. På samma sätt kan en puzzolan dvs. hydraulisk tillsats, tillsättas i kalken som då ger en snabbare reaktion och förbättrar den hydrauliska härdningen.

Hampakalkens egenskaper

Hampakalk består av hampans vedämnen (skävor) som kombineras med torrsläckt kalk (lufthärdnande eller hydraulisk) och oftast även en puzzolanisk tillsats. Materialets materialegenskaper beror till stor del på andelen hampa respektive kalk i blandningen, men även på vilken sorts bindemedel som används. För egenskaper avseende brand och akustik hänvisas till respektive artikel baserade på examensarbeten utförda inom projektet av Persson & Edbladh (2017) samt Källgren (2017).



Figur 7. Hampakalk sett i genomskärning i polarisationsmikroskop visar hur hampans vedämnen omsluts av kalkbindemedel. Tunnslipet är tillverkat av Petrolab och analyserat genom polarisationsmikroskop Brunel SP-1500XP av Kristin Balksten. Underkant bild motsvarar 2,65 mm.

Mekaniska egenskaper

Hampakalk har låg tryckhållfasthet och en lastbärande konstruktion, ofta av trä, behöver därför användas. Tryckhållfastheten beror bl.a. på vilken hampakalkblandning som använts (mer bindemedel ger högre hållfasthet) samt vilken ålder materialet hade vid provtagning.

Amziane & Arnaud (2013) rapporterade tryckhållfasthet 1,2 MPa vid högt bindemedelsinnehåll. Vid lågt bindemedelsinnehåll mätte dem en tryckhållfasthet som var så låg som 0,2 MPa. I ett forskningsprojekt där olika bindemedel testades fann de Bruijn et al (2009) att tryckhållfastheten var som högst 0,83 MPa för en hampakalk med bindemedel bestående av hydraulisk kalk och luftkalk.

Arnaud, Cerezo & Samri (2006) fann att hampakalk kan belastas mycket före brott. Först vid 10–15% kompression uppstår sprickor och brott i materialet, vilket är ovanligt mycket jämfört med konventionella byggnadsmaterial. Även de Bruijn et al (2009) konkluderade att hampa-kalk kan deformeras mycket före brott, vilket är en säregen egenskap för materialet.

Termiska egenskaper

Precis som materialets övriga egenskaper beror även de termiska egenskaperna på andelen hampa respektive kalk i blandningen, och huruvida tillsatsmaterial har använts. Tidigare forskning för en blandning med hampa/kalk = 4:1 (volymdelar) och densitet 298 kg/m³ fann en värmeledningsförmåga $\lambda=0,10$ W/mK vid 65 % RF. För en blandning med hampa/kalk = 2,5:1 och densitet 395 kg/m³ var detta värde $\lambda=0,12$ W/mK (de Bruijn, 2012). Amziane & Arnaud (2013) kom fram till en värmeledningsförmåga $\lambda=0,064-0,09$ W/mK vid 75 % RF för hampakalk med olika densiteter. De konkluderar att värmeisoleringsförmågan beror på den relativa fuktigheten; vid högre RF är även värmeledningsförmågan större, dvs. materialet blir mindre isolerande.

Hampakalk – byggmetoder för nya hus

Det finns ett antal olika byggmetoder för att bygga med hampa och kalk, alla illustrativt beskrivna i "The Hempcrete Book" (Stanwix & Sparrow 2014). Alla metoder erfordrar en lastbärande stomme;

- piséteknik
- sprutning (putsbärande i t.ex. tak och väggar)
- block
- prefab-element

Pisétekniken innebär att en form byggs runt en lastbärande stomme av trä. Hampakalken appliceras i formen, och trycks till för hand. Det är av stor vikt att materialet inte kompakteras för mycket då det påverkar värmeisoleringsförmågan negativt.

För spruttekniken behövs en särskild spruta som är anpassad efter hampakalken. På en sida av den lastbärande stommen monteras en byggskiva och hampakalken sprutas direkt mot skivan. Det finns ett antal byggfö-

retag, framför allt i Frankrike och Storbritannien som erbjuder sprutning av hampakalk.

Block och prefab-element tillverkas i fabrik. Tillverkning i väderskyddad fabrik förbättrar möjligheterna för att kunna leverera en kvalitetssäkrad produkt. Materialet kan torka före leverans till byggsplatsen, vilket kortar torktiden i färdig byggnad.

Väggarna bekläds vanligen med kalkputs som anbringas direkt på hampakalken alternativt med träpanel.



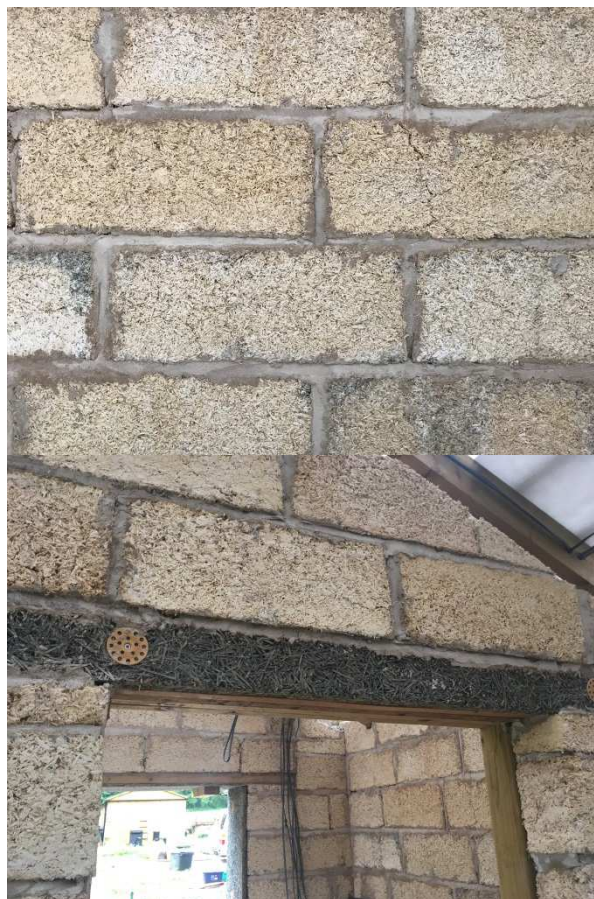
Figur 9. Hampakalk av torrsläckt Ölandskalk och hampaskävor, som bärs av diagonala ribbor på plankstomme. Foto: Kristin Balksten

Figur 7-8. Hampakalkhus under uppförande i England. Här syns ett exempel på piséteknik som tillämpats där Anna iakttar de olika lagren som väggen är uppgjutna i. Väggarna skall överputsas såväl in- som utvändigt. Foto: Kristin Balksten





Figur 10-14. Clay Hill Farm i Lavenham, England som ritats av Modece Architects får representera ett spännande exempel på en modern hampakalkbyggnad där väggarna utgörs av hampakalk i regelstomme. Invändigt är hampakalken kalkputsad och utvändigt klädd med panel. Byggnaden har många spännande lösningar ur ett ekobyggperspektiv och är byggt för att både hus och natur ska hålla länge (www.modece.com, 2017-07-01). Foto: Kristin Balksten



Figur 15-16. Ytterligare ett exempel på byggteknik är att använda färdiga block (exempelvis "Cannabric") som muras likt lättbetongblock med kalkbruk. Hus under uppförande av Alex Swindon i Wales. Foto: Kristin Balksten

Hampakalk – byggmetoder för gamla hus

Det finns ett antal olika byggmetoder där hampakalken används som material i gamla hus och kompletterar redan existerande stommar (Suhr & Hunt 2013, Stanwix & Sparrow 2014). I England används det ofta som fyllnadsmaterial i korsvirkeshus men även som invändigt isolerskikt på timmerstommar och tegelstommar. I England finns en väl utvecklad tradition att kombinera ekobyggtekniker och äldre traditionella byggtekniker för att energieffektivisera med långsiktigt hållbara, kompatibla material och lösningar, vilket bl.a. "Old House Eco Handbook" vittnar om (Suhr & Hunt 2013). Från detta kan även Sverige hämta mycket inspiration och kunskaper – något som detta hampakalkprojekt inom Spara & bevara bl.a. vittnar om.



Figur 17. Ett gammalt korsvirkeshus tillhörandes Marianne Suhr med hampakalk som fyllnadsmaterial i korsvirkessommen. Foto: Kristin Balksten



Figur 18. En gammal tegellada skall omvandlas till bostadshus och då används hampakalk som invändigt isolerskikt där en träkonstruktion bär ett tjockt skikt av hampakalk som putsbärande skikt. Foto: Kristin Balksten

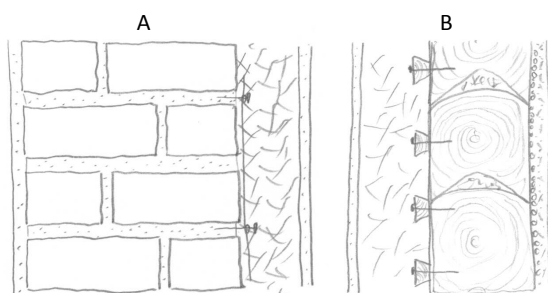
Figur 19-21. Efter att en listad engelsk kulturbyggnad skadats av brand återuppbyggdes det med hampakalk som putsbärande skikt såväl i korsvirkessommen som i invändiga tak. Foto: Kristin Balksten



Av svenska traditionella byggkonstruktionstyper kan man tänka sig att nyttja hampakalk för motsvarande:

- fyllningar i korsvirkeshus,
- reveterade timmer-, plank- och bulhus,
- massiva murade tegel- och stenhus
- olika typer av gjuthus
- putsade innertak

Dessa kan repareras och energieffektiviseras på motsvarande sätt i Sverige som i England och Frankrike. I denna forskningsstudie exemplifieras det genom bulhus och tegelhus.

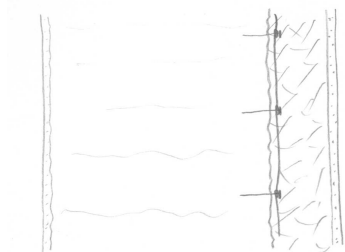


Figur 22. Här syns ett par exempel på hur hampakalk kan nyttjas i kombination med traditionella konstruktioner.

A) Massiv tegelvägg med invändig tilläggsisolering med hampakalk, förankrad med rostfri ståltråd/nät.

B) Reveterad timmervägg med kalkputsad utvändigt tilläggsisolering av hampakalk, buren av diagonala träribbor.

Illustration: Kristin Balksten



Figur 23. Här syns ett exempel på gjuthusvägg som invändigt tilläggsisolerats med hampakalk som liksom för tegelväggen kan fästas med ståltråd, nät eller bara enstaka kramlor.

Illustration: Kristin Balksten

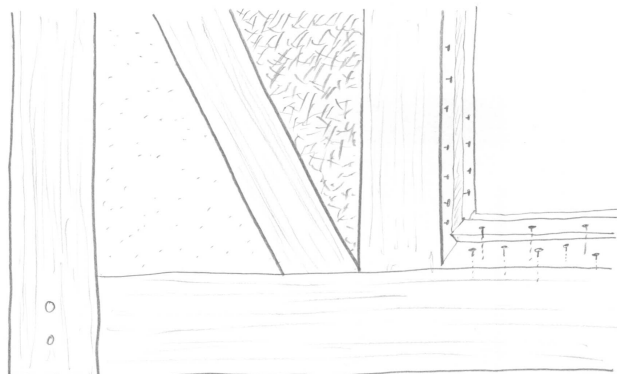


Figur 24. Exempel på hur hampakalk kan nyttjas för isolering i mellanbjälklag som är putsade mellan bjälkarna. Här kan man nyttja såväl värmeisolerande, brandskyddande som akustiskt dämpande egenskaper – förutom att det utgör en bra putsbärare som kan fästas mellan glest satta spjälor.

Illustration: Kristin Balksten



Figur 25. exempel på hur hampakalken kan fästas till underliggande konstruktion, med hjälp av befintliga ribbor eller med glest satt ståltråd. Putsnöt är i regel för tät för att det skall vara lätt att få in hampakalken bakom. Foto: Paulien Strandberg



Figur 26. Exempel på hur facken i ett korsvirkeshus kan fyllas med hampakalk. Här är det viktigt att hampakalksiktet kan nypa fast om något putsbärande element i stommen, t.ex. spik eller träribbor. När fyllningen är putsad med kalkputs syns inte hampakalken. Illustration: Kristin Balksten

För att hampakalken skall skyddas mot inträngande fukt bör den yttre putsen anpassas efter detta. Här kan man vid val av ny puts utgå vad vi vet om traditionella kalkbruk från före 1800-talets mitt. De är generellt kalkrika och kompakta och därigenom beständiga, eftergivliga och vattenavvisande (Balksten & Mebus 2013).

Referenser

- Abel, E.L. (1980) *Marihuana: The First Twelve Thousand Years*, New York and London: Plenum Press.
- Amziane, S. & Arnaud, L. eds. (2013) *Bio-aggregate-based Building Materials*, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.
- Arnaud, L., Cerezo, V. and Samri D. (2006) *Global Approach for the Design of Building Material Containing Lime and Vegetable Particles*. In Proceedings of the 6th International Symposium on Cement & Concrete and CANMET/ACI International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development, Vols 1 and 2., 1261–68.
- Balksten, K. (2005) *Kalkputs – Porstrukturens betydelse för beständighet*. Licentiatuppsats, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Balksten, K. (2007) *Traditional lime mortar and platser – Reconstruction with emphasis on durability*. Doktorsavhandling. Göteborg Chalmers
- Balksten, K. & Mebus, U. (red.) (2013) *Bruk av ruiner: kulturarv, konstruktion, kalkbruk, komfort & kalsonger*. Visby: Fornsalens förlag
- Bevan R. Woolley T. (2008) *Hemp Lime Construction - A guide to building with hemp lime composites*. HIS BRE Press. ISBN 978-1-84806-033-3. Watford.
- de Bruijn, P.B., Sandin, K. & Nilsson, C. (2009). *Mechanical properties of lime-hemp concrete containing shives and fibres*. Biosystems Engineering, 103(4), pp.474–479.
- de Bruijn, P.B. (2012) *Material Properties an Full-Scale Rain Exposure of Lime-Hemp concrete walls*. Measurements and Simulations, Doctoral Thesis, SLU.
- Dalmay, P. et al. (2010) *Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: influence of hemp or flax fibres on the properties of set gypsum*. Journal of Material Science, 45(3).
- Edbladh, J. & Persson, J. (2018) *Hampakalk – en jämförelsestudie med avseende på brandegenskaper*, Examensarbete. Lund: LTH.
- Évrard, A. (2003) *Bétons de chanvre - Synthèse des propriétés physiques*, Saint Valérie.
- Fröier, K. (1960) *Lin och hampa: nutida svensk odling, beredning och användning* Lt. Förlag, ed., Stockholm.
- Holstmark, K. (2006) *Hampa i ekologisk odling*, Jönköping.
- Jordbruksverket (2019) *Gårdsstöd för mark där du odlar hampa*. <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/stod/jordbrukarstod/stodochersattningar/gardsstodochstodratte/markforodlingavhampa.44dfd5d3a1526082877ce8d7.html>.
- Karus, M. (2005) *European Hemp Industry 2001 till 2004; Cultivation, raw materials, products and trends*,
- Källgren, V. (2017) *Ljudmiljö i Kulturmiljö – Hampakalks akustiska egenskaper och tillämpbarhet i kulturhistoriskt värdefulla byggnader*. Examensarbete i kulturvård, 15 hp. Visby: Uppsala universitet
- Knutsson, G. (1943) *Svensk hampodling*, Stockholm: Lantbruksförb.
- Osvald, H. (1959) *Åkers nyttoväxter*, Stockholm: Esselte.
- Prade, T. (2011) *Industrial hemp (Cannabis sativa L.) - a high-yielding energy crop*. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Scrivener, K.L. (2014) *Options for the future of cement*. The Concrete Journal, (Special issue-Future Cements).
- Skoglund, G. (2016) *Hampa: det vita guldet: textilväxten cannabis sativa*. Möklinta: Gidlund
- Stanwix W. Sparrow A. (2014) *The hempcrete book. Designing and building with hemp-lime*. UIT. Cambridge.
- Suhr, M. & Hunt, R. (2013) *Old house eco handbook: a practical guide to retrofitting for energy-efficiency & sustainability*. London: Frances Lincoln
- van der Werf, H. (1994) *Crop Psysiology of Fibre Hemp (Cannabis sativa L.)*. Wageningen University.
- Worrell, E. et al (2001) *Carbon Dioxide Emission from the Global Cement Industry*. Annual Review of Energy and the Environment 26(1):303-29
- Yates, T. (2002) *Client Report: Final Report on the Construction of the Hemp Houses at Haverhill, Suffolk, Garston, Watford, United Kingdom*.

Hampakalk för tilläggsisolering

Författare: Paulien Strandberg-de Bruijn, Kristin Balksten & Anna Donarelli

Hur hampakalk kan bidra till energiförbättring och bra fuktbalans till befintliga stommar av trä och tegel med hänsyn till byggnadernas kulturhistoriska värden är själva kärnan i forskningsprojektet och det presenteras här med utgångspunkt i ett antal fallstudier vilka har utförts inom ramen för detta Spara & Bevara-projekt. Såväl provväggar på EBD-labbet och BML-labbet vid LTH som fullskaleförsök på ett reveterat hus i Visby innerstad har ingått i studien.

Tilläggsisolering på gamla hus

Sedan energikrisen på 1970-talet har många äldre byggnader förändrats både till utseende och termisk prestanda genom att de tilläggsisolerats. Det finns många historiska trä- och tegelbyggnader i Sverige som under de senaste decennierna renoverats och tilläggsisolerats med moderna isoleringsmaterial såsom framförallt mineralull och cellplast. Dessa material är inte hygroskopiska vilket gör att fukttransporten inuti materialen förändras när ett skikt mineralull eller cellplast appliceras på väggen. Skador på historiska byggnader som orsakas av fukt och mögel har ökat under de senaste decennierna, bland annat till följd av ändrad användning och förändring av konstruktioner med nya material såväl på insidan som på utsidan väggkonstruktionerna. Inte sällan har renoveringar utförts med material och lösningar som visat sig vara allt annat än kompatibla.

För att kunna lyckas med förbättring av den termiska komforten i gamla hus är det av stor vikt att finna lösningar som tar hänsyn till hela konstruktionen. Här vill man bevara så mycket som möjligt av originalytor, såväl av kulturhistoriska skäl som av hänsyn till estetisk, ekonomisk och långsiktig hållbarhet. Det kan innebära att renoveringar sker lokalt där skador finns, alternativt bara invändigt eller bara utvändigt. Det kan även innebära att förändringar sker i olika tid, av olika ägare och utan egentlig kunskap om vad som gjorts tidigare eller vad som fungerar bäst för den enskilda byggnaden.

Många av de renoveringar som har utförts sedan 1970-talet med tilläggsisolering har inneburit en total förvanskning av byggnader med stort kulturhistorisk värde. Fasadmaterial har ändrats, fönster har bytts ut, värdeskapande detaljer har försvunnit. Den enda vinsten var den förbättrade komforten.

Frågan som ställs av flera projekt inom Spara & Bevara är om det går att förbättra den termiska komforten med hänsyn till byggnadernas originalkonstruktion och kulturhistoriska värden (www.sparaochbevara.se, 2019-01-31). Mycket kunskap har framkommit i ämnet under hela 2000-talets satsning från Energimyndigheten och svaret är att med rätt kunskap kan förbättrad komfort skapas

utan att byggnader behöver totalförstöras som de ofta gjorts sedan 1970-talet.

Visbys byggnadsbestånd har utgjort ett viktigt kunskapsunderlag i den här studien. Genom den inventering som S. Nygren har gjort av reveterade hus i Visby innerstad, se Nygren (2017) samt kapitel 2 "Reveterade bulhus i Visby", kan vi konstatera att endast en ringa mängd av de 500 reveterade husen i Visby innerstad (ca 8 %) har originalputs delvis bevarad. Resterande dryga 90 procent har förändrats sedan de en gång putsades. Ett stort antal av dessa har förändrats i modern tid, med moderna material (mineralull och kalkcementbruk, se figur 1, eller cellplast och organisk tunnputs) utan kunskap om framtida skadeproblem eller hänsyn till kulturhistoriska värden. Förändringarna har kunnat ske trots att byggnaderna borde varit skyddade genom tidigare byggnadsordningar och trots att PBL länge haft paragrafer som förordat en varsamhet vid renovering av samtliga dessa byggnader (Plan- och bygglagen (1987:10), Plan- och bygglagen (2010:900)).



Figur 1. Tilläggsisolering med mineralull på bulhusstomme, Östermur 28 i Visby. Foto: Anna Donarelli

Ett antal av husen har förändrats bara genom att de fått delvis ny puts (kalk-, hydraulisk kalk- eller KC-puts) utan isolering, en del har förändrats genom tilläggsisolering med biobaserade material och kalkputs.

Även ett antal nygotiska tegelkyrkor ritade av Adrian Crispin Peterson och uppförda runt sekelskiftet 1900 har utgjort ett viktigt kunskapsunderlag utifrån deras problematiska konstruktioner och återkommande behov av invändiga restaureringar. Här finns ett tydligt behov av att finna ett material som bidrar till invändig komfort och som fungerar bra trots förekomst av mursalter.

Hampakalk som tilläggsisolering och putsbärare på trästommar och tegelmurverk

För att se om det är möjligt att finna en isoleringsmetod som kan bidra till ökad termisk komfort utan att äventyra konstruktionen dvs. bulhusstomme med putsbärande ribbor respektive massiv tegelmur med kalkbruk samt estetiken med ytskikt av traditionella och lokala material såsom kalkputs och kalkfärg, har detta projekt om "Hållbar energieffektivisering av historiska trä- och stenbyggnader med hampakalk" tillkommit. Projektets fallstudier och laborationstester har inriktat sig på hampakalk för två användningsområden;

- som utvändigt tilläggsisolering och putsbärare på bulhus
- som invändig tilläggsisolering och putsbärare på massiva tegelväggar.

I det här kapitlet presenteras resultatet av de fallstudier som har gjorts inom ramen för projektet;

- Biskopen 5 i Visby,
- EBD-labbet i Lund,
- BML-labbet i Lund

De första två fallstudier handlar om utvändigt hampakalkputs på trähus och den tredje handlar om in- och utvändigt hampakalkputs på tegelvägg. Den första fallstudien som presenteras innebar omputsning av en gavel på ett bulhus i Visby innerstad; Biskopen 5. Här har metodutveckling varit viktig varför vi har studerat putsbärare, blandningsförhållande, materialsammansättning och applicerbarhet. Fukthalten i väggarna har mätts regelbundet under ca ett år för att studera årsvariationen samt uttorkningsförlopp.

Den andra fallstudien som presenteras är EBD-labbet där två stora väggar av bulhuskonstruktion har putsats med hampakalk och kalkputs på ribbor jämfört med bara kalkputs på ribbor. Här har energiförbrukning och fuktnivåer studerats.

Den tredje fallstudien som presenteras är BML-labbet där mindre tegelväggar har uppförts med hampakalk som tilläggsisolering. Här presenteras resultatet av energiförbrukning och fuktnivåer i väggarna. I denna studie ingick även ett väggfält där saltproblematiken har stude-

rats vilket redovisas i kapitel 5 "Saltvittrande tegelmurverk".

Provytor har även utförts i två nygotiska tegelkyrkor såsom Örgryte nya kyrka och Högsäters kyrka. De är applicerade invändigt på massiva nygotiska tegelmurverk från sekelskiftet 1900 på Örgryte nya kyrka (2016) respektive Högsäters kyrka (2019). Här presenteras framförallt applicering och tillämpbarhet, se mer om detta i kapitel 8 "Hampakalk mot saltvittring".

Resultaten visar att det är möjligt att förbättra energiprestandan för såväl reveterade trästommar som för massiva invändigt putsade tegelmurverk genom att tillföra hampakalk som en del av det innersta putslagret. I Sverige finns stora byggnadsbestånd från tiden före andra världskriget som har uppförts helt utan isolering. Generellt håller detta äldre byggnadsbestånd en mycket god kvalitet som motiverar att de underhålls och renoveras under många generationer ytterligare. Men för att de skall vara intressanta att bebo och använda så krävs att de uppfyller vissa komfortkrav. För att uppnå detta kan det krävas vissa avsteg från originalutförandet vid renovering. Men med kunskap om varsamhet och traditionella byggnadsmaterial och metoder kan man välja mer eller mindre anpassade lösningar.

De studerade byggnadsexemplen representerar två helt olika byggnadstraditioner – trä- respektive tegelstommar. Gemensamt är ett skikt av kalkputs direkt mot stommen utan förekomst av isoleringsmaterial. Trähusen exemplifieras här med skiftesverkstekniken. Dessa är uppbyggda av trästolpar med däremellan liggande plankor, så kallade "bålar" eller "bulor" (Henriksson 1996). Denna byggteknik var långt fram i 1800-talet en vanlig teknik i södra Sverige, såväl i städer som på landsbygden. Dock finns en begränsad mängd bevarat av dessa skiftesverkshus, med undantag för Visby (Henriksson 1996).

I Visby innerstad finns många hus bevarade som är byggda med skiftesverksteknik, över 500 stycken. Tekniken kallas här för bulhusteknik. Flertalet av dessa bulhus är reveterade, vilket innebär att ett tjockt lager kalkputs (upp till 8-10 cm) har applicerats på utsidan av väggarna (så kallad revetering). Diagonalt fastspikade träribbor användes ofta som putsbärare. Reveteringen påverkade att man vindtätade och brandsäkrade ytterväggarna, men den gjordes sannolikt även av estetiska skäl (Hallberg et al. 2010). Mer om detta kan man läsa i kapitel 2 "Reveterade bulhus i Visby".

Stenhusen exemplifieras här med tegelmurverk, uppförda i massivt murtegel och kalkbruk, invändigt putsade med kalkputs. Det finns ett stort bestånd av kulturhistoriska byggnader med oisolerade tegelväggar i Sverige, inte minst stadsbebyggelsen som uppfördes i många svenska städer mellan 1870-talet till 1930-talet, bl.a. de så kallade spekulationsfastigheterna som uppfördes i stor-

städerna från 1870-talet när bostadsbehovet ökade (Håkansson 1925). Men även många kyrkor uppfördes under den här perioden. Även dessa byggnadsverk är i behov av energieffektivisering och förbättrad komfort. En insats där tegelväggarna tilläggsisoleras med hampakalk skulle därför kunna vara fördelaktig även här.

Både när det gäller reveterade träväggar och putsade tegelväggar kan hampakalken appliceras på samma sätt som en kalkputs; att materialet slås på underlaget som en utstockning, se figur 2.



Figur 2. Hampakalk slås på en skiftesverksvägg. Foto: Paulien Strandberg-de Bruijn.

Tilläggsisolering och kulturvärden?

Kan man tilläggsisolera ett gammalt hus och samtidigt värna om dess kulturhistoriska värden eller går de för alltid förlorade hur man än bär sig åt?

Alla gamla hus har en sak gemensamt. De behöver tas om hand och underhållas kontinuerligt för att bestå generation efter generation. Jämfört med nyuppförda hus som byggs med en förväntad livslängd om 50 år kan vi ändå konstatera att de hus som byggdes före 1940-talet så gott som alltid är byggda med en kvalitet som gör dem värda att underhålla och bevara under en oöverskådlig framtid. I synnerhet i en tid när hållbar utveckling måste bli en självklarhet och resursutnyttjande och kvalitet är en överlevnadsstrategi för vårt välbefinnande, jorden och mänskligheten (FN generalförsamling 2015).

För kulturarvet och mer specifikt för byggnader med kulturhistoriska värden finns lagar, förordningar och vägledningar som säger att alla bär ansvar för att skydda och vårda kulturmiljön (Kulturmiljölagen (1988:950), Plan-

och bygglagen (2010:900), Venedigdokumentet 1964, Robertsson 2002).

Enligt Kulturmiljölagen 1 kap 1 § är det "... en nationell angelägenhet att skydda och vårda kulturmiljön. Ansvaret för kulturmiljön delas av alla. Såväl enskilda som myndigheter ska visa hänsyn och aktsamhet mot kulturmiljön. Den som planerar eller utför ett arbete ska se till att skador på kulturmiljön undviks eller begränsas. Bestämmelserna i denna lag syftar till att tillförsäkra nuvarande och kommande generationer tillgång till en mångfald av kulturmiljöer."

Det här gäller således alla inblandade i ärenden som handlar om kulturhistoriskt värdefull bebyggelse som t.ex.;

- fastighetsägare
- hantverkare som utför underhållsåtgärder
- projektörer såsom ingenjörer och arkitekter
- kontrollansvariga enligt PBL
- byggnadsnämndens politiker

Här behövs generellt sett en höjning av kunskapsnivån i Sverige och en ökad medvetenhet om var och ens ansvar, inom hela kedjan i en byggprocess.

Enligt PBL 8 kap 14 § gäller följande för underhåll och varsamhet; "Ett byggnadsverk ska hållas i vårdat skick och underhållas så att dess utformning och de tekniska egenskaper som avses i 4 § i huvudsak bevaras. Underhållet ska anpassas till omgivningens karaktär och byggnadsverkets värde från historisk, kulturhistorisk, miljömässig och konstnärlig synpunkt. Om byggnadsverket är särskilt värdefullt från historisk, kulturhistorisk, miljömässig eller konstnärlig synpunkt, ska det underhållas så att de särskilda värdena bevaras. ..."

Vid ändringar, som exemplet med tilläggsisolering kan räknas som, gäller PBL 8 kap 17 § "Ändring av en byggnad och flyttning av en byggnad ska utföras varsamt så att man tar hänsyn till byggnadens karaktärsdrag och tar till vara byggnadens tekniska, historiska, kulturhistoriska, miljömässiga och konstnärliga värden."

Likaså råder ett förbud mot förvanskning enligt PBL 8 kap 13 "En byggnad som är särskilt värdefull från historisk, kulturhistorisk, miljömässig eller konstnärlig synpunkt får inte förvanskas. ...". Förvanskning är något som lätt uppstår pga. okunskap, vilket kan exemplifieras med många fastigheter runt om i landet där förvanskning har skett, såväl i stor skala som i små detaljer. Med de kvaliteter äldre byggnader generellt är uppförda med kan flertalet av dem, med rätt kunskap, underhållas och bevaras i några hundra år till, vilket kan jämföras med nyuppförda byggnadsverk som idag dimensioneras för att hålla i 50 år.

Lägg därtill att vi förväntas arbeta för att nå de 16 nationella miljö kvalitetsmålen, varav 10 av dessa miljömål anger att kulturvärden skall tillvaratas. Nr 15 "God be-

byggd miljö” syftar till att värna alla orter; *”Städer, tätorter och annan bebyggd miljö ska utgöra en god och hälso-sam livsmiljö samt medverka till en god regional och global miljö. Natur- och kulturvärden ska tas till vara och utvecklas. Byggnader och anläggningar ska lokaliseras och utformas på ett miljöanpassat sätt och så att en långsiktigt god hushållning med mark, vatten och andra resurser främjas.”* Att bevara kulturhistoriskt värdefulla byggnader är att långsiktigt hushålla med resurser och mark samtidigt som tydligt utpekade kulturvärden tas tillvara.

Förhållningssätt som gäller vid byggnadsvårdande insatser i Sverige sedan 1800-talet och fram till idag bygger på ett flertal internationella dokument samt tongivande personer som verkat för bevarande och god byggnadsvård. Robertson har sammanfattat detta ingående i Fem Pelare (2002), och bl.a. Hidemark (1991) samt Jokilehto (1999) har framhållit vikten av att använda traditionella material och hantverksmetoder med originalet som utgångspunkt, värna om autenticiteten, utföra ett fortlöpande kontinuerligt underhåll och säkra de tekniska kvaliteterna. Enligt Venedigdokumentet (1964) och ”Principer för bevarandet av historiska träkonstruktioner” skall vi eftersträva att bevara kulturarvets historiska autenticitet och integritet. Ändringar som behövs utifrån *”nutida krav ska utföras med material, vars uttryck, utseende, textur och form överensstämmer med byggnaden som helhet”* (Robertsson 2002). Vidare återger Robertsson att *”om någon yta behöver förnyas eller byggnadsdelar behöver bytas ut, ska man eftersträva det ursprungliga materialets karaktär, träkvalitet, textur, ytstruktur, hantverksmetoder och konstruktionsteknik”*.

Med detta som utgångspunkt kan vi konstatera att alla äldre hus behöver underhållas. Ibland innebär det byte av fasadmaterial eller ytskikt som helt tjänat ut sin livslängd, ibland innebär det mindre åtgärder. Det kan även handla om om-renoveringar av kulturhistoriskt värdefulla byggnader som vid sin senaste restaurering förvanskats (Femenias, www.sparaochbevara.se, 2019-02-05). När åtgärder på äldre byggnader sker som en del av det kontinuerliga underhållet faller det sig naturligt att samtidigt försöka anpassa byggnaden efter nutida krav. Om man då väljer en åtgärd som bygger på att;

- bevara den ursprungliga konstruktionen,
- tillföra något reversibelt,
- basera ändringen/tillägget på djup kunskap,
- ombesörja kompatibilitet med originalutförandet och de traditionella ytskikten, hantverkstexterna och konstruktionen.

Ja, då bör man kunna tilläggsisolera utan att en byggnad förlorar sina kulturhistoriska värden. Detta under förutsättningen att åtgärden verkligen är nödvändig och

att de originalytsskikt som finns bevarade dokumenteras och pekas ut som synnerligen bevarandevärda.

Reveterat hus i Visby innerstad – Biskopen 5

Den första fallstudien som ingått i hampakalk-projektet är Biskopen 5, ett mindre boningshus i Visby innerstad, uppfört i både kalksten och bulhusstomme med kalkputs som fasadmaterial. Huset står inför en om-renovering som inbegriper fasadrestaurering med tilläggsisolering, fönsterbyte med återgång till det ursprungliga utseendet och ett tillägg i form av en mindre utbyggnad mot gården. Fasaden som ingått i forskningsprojektet är den östra gavelfasaden som vetter mot gatan.

Den aktuella byggnaden omfattas av *Riksintresse för kulturminnesvården* vilken förutsätter renovering av befintlig bebyggelse och anpassning till den lokala byggnadstraditionen. Byggnaden omfattas också av ”Byggnadsordningen för Visby innerstad” (Hallberg 2010) vilket innebär att åtgärden har föregåtts av en ”Antikvarisk förundersökning” av sakkunniga antikvarier vid Gotlands Museum (Mebus, Malmros 2017) samt en Bygglövsansökan. Gotlands Museum genom Ulrika Mebus och Pär Malmros har medverkat i forskningsprojektet om hampakalk och därigenom bidragit med sin antikvariska sakkunskap och sitt djupa intresse kring hållbarhet, kulturarv och bevarande.

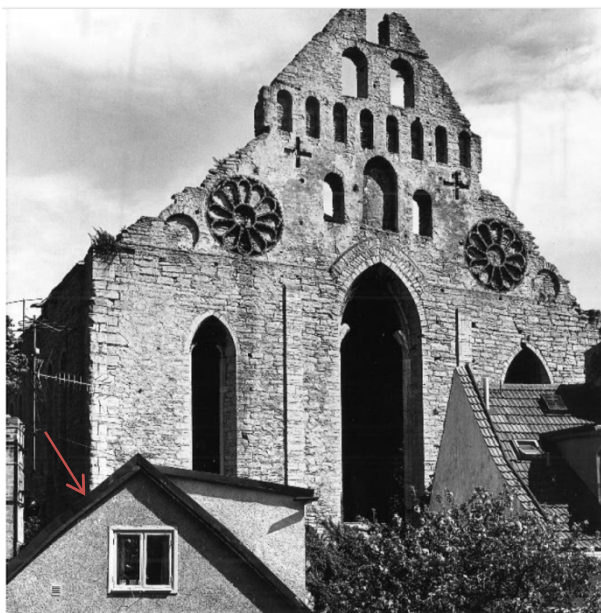
Bakgrunden om huset är hämtat från ”Visby Biskopen 5, fasadrestaurering. Antikvarisk förundersökning 2017” (Mebus, Malmros 2017): *Biskopen 5 är belägen i den mellersta delen av kvarterets östra sida, vid S:t Nikolaigatan. Boningshuset från 1800-talets mitt ligger med gaveln mot gatan i öst och tomten avgränsas mot gatan av ett sentida träplank med port.*

Ett särskilt tack riktas här till fastighetsägarna Bjerne och Annabritta von Schulman som upplåtit sitt hus till att medverka i forskningsprojektet.

Beskrivning av byggnaden och dess kulturhistoriska värden

Byggnaden är ett reveterat skiftesverkshus/kalkstenshus i en våning med inredd vind, troligen uppfört vid 1800-talets mitt. Fasaden är spritputsad. Taket är ett tegeltäckt lätt vinklat mansardtak som domineras av en mycket stor frontespis mot söder, vilken upptar större delen av taket. Huset har renoverats flera gånger, den första dokumenterade renoveringen skedde 1909. År 1936 genomfördes en större renovering av huset då den stora frontespisen tillkom. Fönstren är delvis från 1930-talet med senare insticksfönster på gavlarna. Entrédörren är från 1950-talet, möjligen flyttad till dess nuvarande läge då. Interiört har huset fri planlösning och har helt förlo-

rat sin ursprungliga karaktär och domineras av 1930-talets moderniseringar och senare tillägg.



Figur 3. Biskopen 5 domineras av sin omgivning där den hukar i skuggan av S:t Nicolais mäktiga västgavel. Här ser man takets mycket lätta mansardform som är ett signum för byggnaden, liksom den stora frontespisen mot söder. Foto: Raymond Hejdström, Gotlands Museum 1976.



Figur 4. På denna bild av P-A Säre från 1858 syns det då troligen nybyggda huset på Biskopen 5. Observera att gavelspetsen är oputsad, av resvirke och att den endast har en liten fönsterglugg. Troligt är att taket var täckt av falor och först senare fick tegel. Den lätta mansardformen på taket syns tydligt och har alltså funnits från början. Skorstenen är placerad på husets norra takfall. Byggnaden har en ovanlig placering med gaveln mot gatan.

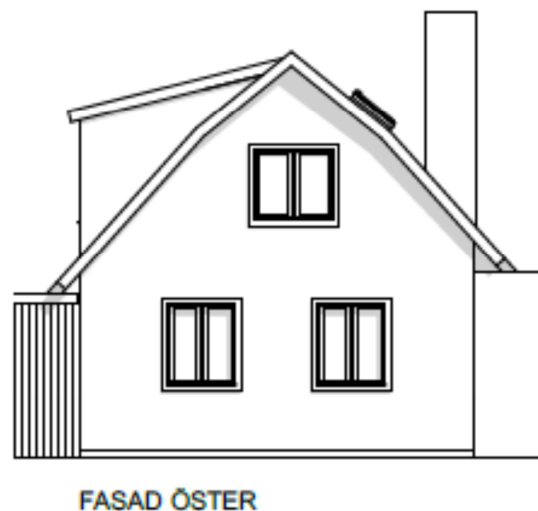
Fastigheten är kulturhistoriskt intressant då dess sträckning och byggnadens placering går tillbaka till åtminstone 1800-talets mitt. Huvudbyggnadens placering i liv med gatan är typisk för kvarteret, medan dess rikt-

ning med gaveln mot gatan är ovanlig. På grund av detta, och även på grund av den överdimensionerade takkupan, utgör byggnaden ett markant inslag i gatumiljön. Byggnadens kalkstens- och skiftesverksstomme är av kulturhistoriskt intresse liksom övriga hus med dessa konstruktioner i Visby. Takets mansardform är ovanlig i Visby och värdefull för både byggnadens uttryck och Visbys mångfald.

Interiört finns få detaljer eller ytskikt kvar från byggtiden. På grund av upprepade större och mindre ombyggnader är byggnaden idag ett lapptäcke av tidsskikt som förvisso kan vara intressanta men som i detta fall är svårtolkade och som delvis är av sämre hantverksmässig kvalitet. Äldre listverk, dörrar etc. blir därför extra viktiga att bevara eftersom de bär på konkreta spår av byggnadens ålder och biografi.

Antikvariska utgångspunkter har definierats för val av åtgärd; arbetsmetoderna skall bygga på traditionellt hantverk och traditionella material med utgångspunkt i aktuell byggnad och dess kulturhistoriska särart:

- Högsta kvalitet ska präglade hantverk, material och arkitektonisk utformning.
- Åtgärder skall anpassas till byggnadens exteriör och interiörens karaktär.
- Bevara och underhåll istället för att byta ut.
- Använd samma material som det ursprungliga vid underhåll och renovering.
- S.k. underhållsfria byggnadsdelar och material ska inte användas på befintliga byggnader.
- Nya behov skall tillgodoses utan att tillföra för byggnaden främmande element.



Figur 5. Östra gaveln. Ritning: agraf.se

Material och konstruktion

Den östra gaveln visade sig efter att arbetet påbörjats, bestå av en nedre stomme av kalkstensmurverk (av gotländsk kalksten och kalkbruk) och en övre stomme, i gavelspetsen, av skiftesverk. Därigenom har tilläggsisolering med hampakalk och ny kalkspritputs endast utförts på den del av fasaden som har skiftesverk och tjock puts, medan den nedre delen med kalkstensmurverk har fått ny tunn kalkspritputs. Den ursprungliga konstruktionen med putsbärande ribbor har bevarats. Där ribborna har suttit mycket tätt har varannan ribba tagits bort för att ersättas med isolerande lager av hampakalk. Eventuellt skadade träribbor har tagits bort och ersatts.

Hampakalken har tillretts av torrläckt kalk från Nordkalk i Storugns och hampaskävor från Hampaprodukter i Grästorp. Blandningsförhållandet fick anpassas efter vad som gav ett "bruk" som var möjligt att putsa med. Utgångspunkten i volymdel kalk till 2,5 volymdelar hampaskävor fick därigenom ändras till ett fetare blandningsförhållande; 5 volymdelar kalk till 7 volymdelar hampaskävor. Här fick Tom Yttergren, murare med erfarenhet av applicerbarhet vara med och styra vilken konsistens som det till slut blev. Hampakalken blandades i en stor planblandare.

TOM YTTERGRENS REFLEKTIONER

"Den tekniska kalken vill jag påstå är mycket finare och på något sätt mer volym per hink, än i NHL-kalk vilket bör bidra till ändå något mer kalk vid blandning på volym. Det slutade nästan med ditt recept om 7 hinkar hampa på 4 hinkar kalk, men det blev efter min känsla en hink kalk till. Alltså 7/5, alltså knappt 1 på 1:1,5. Detta kördes i en stor 320 l tvångsblandare och detta kunde då upprepas ggr 2.

Därav var det svårt att exakt hålla koll på vattenmängden men jag vill påstå att vi ökade den med ca 15-20%, vilket jag upplevde som faktiskt perfekt att påföra utifrån min horisont. Hampakalken kunde till luftkalkens fördel ha samma konsistens i lång tid efter blandningstillfället.

Jag är helt för luftkalk men skulle definitivt, och absolut använda detta igen, men då med hydraulisk kalk, vilket bör vara till det bättre!

Med vänliga hälsningar, Tom Yttergren"

Hampakalken lades på i en tjocklek motsvarande 50 mm, överputsades med 15 mm kalkputs gjord av gotländsk kalkpasta och sand i två lager; ett lager utstockningsbruk samt ytputs av kalkspritputs av gotländsk kalkpasta och naturgrus 2-6 mm inkl. fyller 1:2,5 samt avfärgades med kalkfärg av Gotlandskalk, kalkäkta pigment och vatten.

Arbetet utfördes under sensommaren 2017 av Tom Yttergrens Mureri AB. För årstiden var det ovanligt fuktigt vilket bidrog till en något längre torktid för hampakalken och kalkputsen än förväntat.



Figur 6. Gavelspetsen med sina diagonala ribbor. Nertill är kalkstensmurverket och dess puts bevarade. Foto: Anna Donarelli



Figur 7. Tom och Pär dokumenterar väggen med dess konstruktion, material och gamla skador. Foto: Anna Donarelli

Utgångspunkten i Visby är att nyttja lokal Gotlandskalk, vilket i dagsläget endast innebär lufthårdnande kalk. Det är den typen av kalk som för Gotland är det traditionella materialet i mur- och putsbruk sedan medeltiden (Hallberg 2010, Balksten 2017, Balksten 2008) och det har även använts som bas i kalkcementbruk. Men hampakalken som material är utvecklat med delvis hydraulisk kalk vilket har en fördel i härdningsprocessen och uttorkningen.



Figur 8. Hampakalk under påförande. Hampakalken bygger så bra att det räckte med ett påslag som fyllde mellan och utanpå ribborna. Foto: Anna Donarelli



Figur 9. Hampakalkbruk som kan putsas för hand som ett vanligt styvt kalkbruk. Foto: Tom Yttergren



Figur 10. När hampakalken har härdat utgör den ett mycket bra underlag för kalkputs. Här går den i liv med den gamla kalkstensstommen. Foto: Anna Donarelli

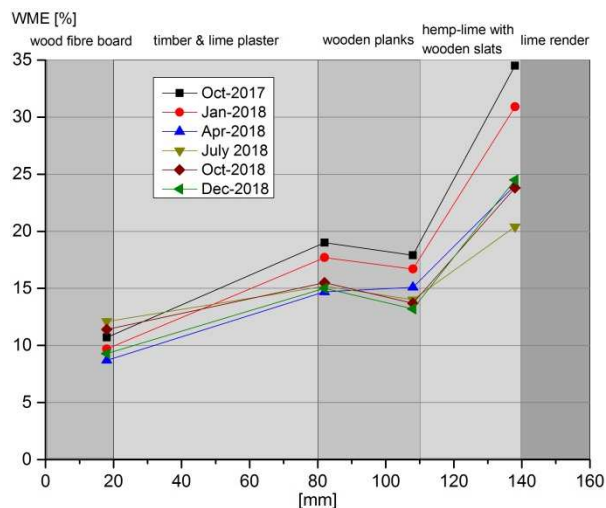


Figur 11. Byggnaden efter putsens färdigställande. Mätsondror för att logga fuktnivåer i väggen har satts in från insidan på övervåningen. Foton: Paulien Strandberg-de Bruijn

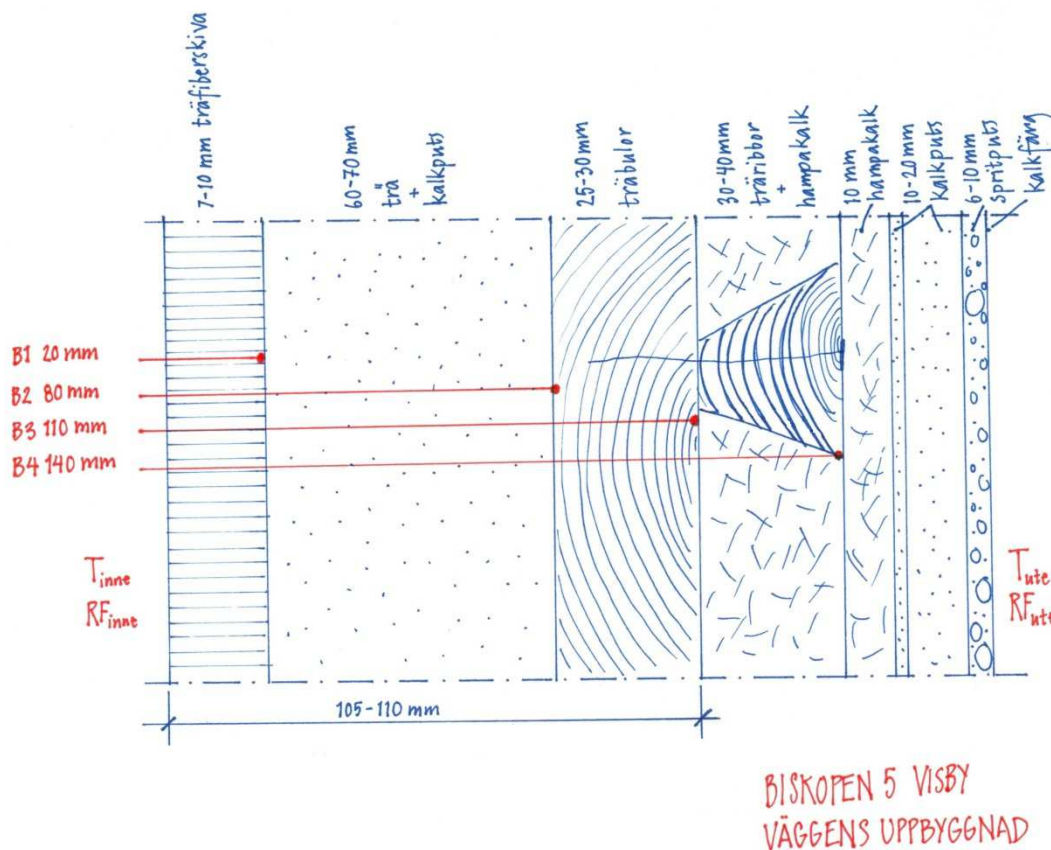
Fuktnivåer i vägg

Sensorer (Omnisense) för övervakning av temperatur och fuktninnehåll placerades på fyra olika djup i väggen, se figur 11. Fuktkvotstift placerades på 20, 80, 110 och 140 mm djup sett från insidan väggen. För varje mätpunkt monterades två fuktkvotstift inuti väggen på ett avstånd av 30 mm från varandra. Dessa skickade sedan en signal till en Gateway som placerats inuti huset, en mätning per timme. Temperatur och relativ fuktighet mättes även i utomhusklimat, några meter från huset.

Mätningen inleddes direkt efter att fasadrenoveringen slutfördes i september 2017 och fortsatte i ett år.



Figur 12. I figuren ovan markeras väggens olika skikt med de blå vertikala linjerna, för beskrivning se figur 13. Mätsondror B1-B4 sitter på 20, 80, 110 respektive 140 mm djup från insida vägg.



Figur 13. Skiss över väggens uppbyggnad med olika lager. Samtliga mätsonder sitter i trämaterial. Mätsond B4 är monterat i ytterkant av skiktet med träribbor/hampakalk – i en träribba. Illustration: Kristin Balksten

Fuktmätningar visade att det under första vintern fanns en viss mängd byggfukt inuti väggen (se okt-17 och jan-18) som under efterföljande år har minskat högst väsentligt. Vad som är intressant att notera är att även om ytputsen fuktas av väder och vind påverkas inte fuktnivåerna på djupet i väggen nämnvärt av detta utan det är framförallt i yttre delen av hampakalkskiktet som fuktnivåerna stiger. Detta resultat överensstämmer med tidigare forskningsresultat av hampakalkväggar (de Bruijn 2012) som visat att fuktnivåerna är låga en bit in i hampakalkskiktet tack vare kalkputsens.

Här kan man reflektera över kalkputsens sammansättning och tydliggöra vikten av att använda en kompakt och fet kalkputs – liksom de historiska putser vi återfinner i Visby – se kapitel 2 "Reveterade bulhus i Visby". Redan runt år 1800 (Wijnbladh 1805) anges vikten av att putsen har en tjocklek om 1,5 tum för att skydda virket i stommen från rötskada, vilket motsvarar tjockleken på den kalkputs som här skyddar såväl hampakalk som stomme.

Reflektion kring resultat från huset i Visby

Fallstudien visar tydligt att hampakalk är tillämpligt som metod för tilläggsisolering på den här typen av byggnad. Hampakalken kan som material lätt appliceras och bäras av traditionella putsbärare såsom putsribbor. Hampakalken utgör ett mycket lämpligt putsunderlag

för luftkalkputs av traditionell typ då den har både bra sugförmåga och en yta som ger god vidhäftning. Hampakalk kan tillverkas av luftkalk av lokal typ även om det kräver mer noggrann planering av torktider jämfört med om hydraulisk kalk skulle använts. Putsytan kan till fullo återskapas med traditionellt luftkalkbruk och kalkfärg, med traditionella hantverksmetoder samt ges den estetik, struktur och det liv som den tidigare haft.

Fuktnivåerna i stommen är på en tillräckligt låg nivå för att stommen skall bestå utan förhöjd risk för rötskada jämfört med originalutförandet med tjock kalkputs. Energiprestandan ökar, boendekomforten förbättras och därigenom har byggnaden anpassats efter nyare krav som kan ställas på en byggnad av den här typen med höga kulturhistoriska värden.

Konstruktionen, med bulhusstomme och hampakalk som tilläggsisolering samt med ytskikt av fet kalkputs kan konstateras fungera utifrån de funktionskrav på klimatskalet som måste uppfyllas dvs. *värmeskydd*, *regnskydd*, *vindskydd* och *luftläckageskydd* (Hagentoft 2002, s 18-19). Lägg därtill resultatet från de båda examensarbetena om brandegenskaper och akustik så kan vi konstatera att även kravet om *brandskydd* och *ljuddämpning* kan uppfyllas, se vidare i respektive kapitel 10 "Hampakalk för brandskydd på reveterade trähus" (Edbladh, Persson 2017) samt kapitel 11 "Hampakalk för god akustik" (Källgren 2017).

Bulhus med hampakalk – provväggar EBD

Den andra fallstudien som ingått i hampakalk-projektet utgörs av två provväggar som uppfördes i Energi- och byggnadsdesignlabbet (EBD-labbet) på Lunds Tekniska Högskola i Lund. Detta labb har den unika möjligheten att fasader kan bytas ut och testas under verkliga förhållanden. Bakom varje fasad finns ett rum som är helt isolerat mot resten av byggnaden. Enda värmeförlusten sker således genom fasaden, vilket ger möjligheten att undersöka och jämföra fasader utifrån energiprestanda. Fasaderna är i söderläge.

Material och konstruktion

Två bulhusväggar uppfördes på EBD-labbet som fasader till de två testrummen. Den ena bulhusväggen byggdes som en historisk vägg med tjock kalkputs, den andra som en bulhusvägg som renoverats med hampakalk under kalkputs. Uppförandet av väggarna har murarmästare Henrik Nilsson vid HN Byggnadsvård stått för.

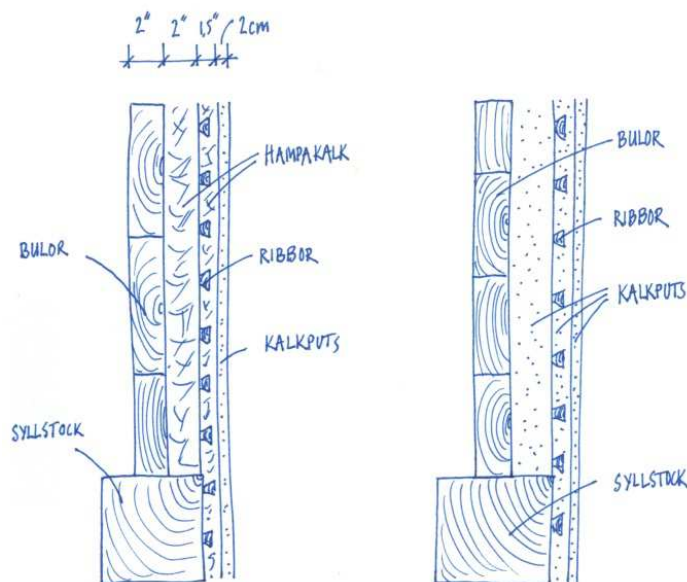
TABELL 1 – UPPBYGGNAD AV PROVVÄGGAR

VäggKALK – Bulhusvägg med tjock kalkputs "före renovering"
Traditionell pappersbeklädnad
Bulhusvägg med 2" brädor (51 mm)
Kalkputs (80 mm) mellan diagonala träribbor (30 mm), ungefär. cc. 200 mm
Kalkputs (20 mm)
Vägg HAMPAKALK - Bulhusvägg med hampakalk "efter renovering"
Traditionell pappersbeklädnad
Bulhusvägg med 2" brädor (51 mm)
Hampakalk (90 mm) mellan diagonala träribbor (30 mm), ungefär. cc. 200 mm
Kalkputs (20 mm)

Såväl kalkbruk på ena väggen som hampakalk på andra väggen påfördes i två skikt mellan ribborna. Därpå påfördes kalkputs i två påslag. Väggarna är 2,7 meter breda; ett putssystem applicerades på ena halvan av väggen, och ett annat putssystem på den andra halvan, båda ungefär 1,35 meter breda fält. Två olika typer av putsbruk användes; på vänster vägghalva naturligt hydrauliskt kalkbruk NHL3,5 1:1,5 och på höger vägghalva luftkalkbruk av våtsläckt Gotlandskalk/sand 1:1,5, detta för att kunna jämföra putsens inverkan på fuktförhållanden i väggarna.

I bulhuskonstruktionen användes prima furu med traditionell sammanfogningsteknik med dymlingar. Hampakalken bestod av kalk typ NHL3,5 från St Astier, Frankrike samt hampaskävor levererade av Hampaprodukter i Grästorps. Hampakalken blandades i volym med 4 delar kalk till 7 delar hampaskävor och 4,25 delar vat-

ten. Det gav en konsistens som möjliggjorde att hampakalken kunde slås på väggen. Det var en avvägning mellan vad som är smidigt att arbeta med och vad som ger bäst isoleringsvärde – mer hampa ger lägre λ -värde, mer kalk ger ökad smidighet och bearbetbarhet.



Figur 14. Uppbyggnad av provväggar för EBD-labbet. Till vänster en bulhusfasad med hampakalkputs, till höger en bulhusfasad med kalkputs. Fasaderna var 2,7 meter breda och 3,1 m höga. Illustration: Kristin Balksten



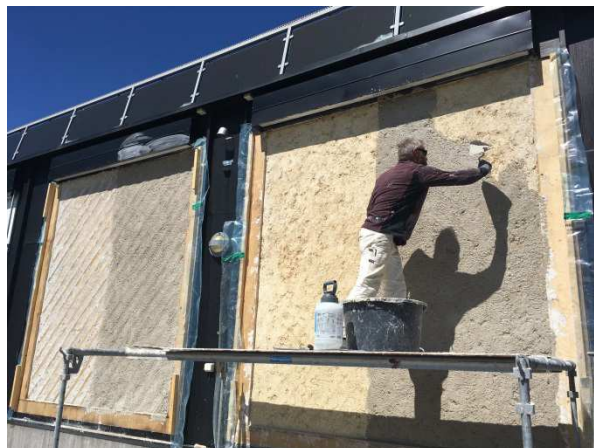
Figur 15. Bulhusvägg under uppbyggnad av HN Byggnadsvård och Kristoffer Fredriksen. Foto: Paulien Strandberg



Figur 16. Konsistensen på hampakalk med blandningsförhållande 4 spann kalk/7 spann hampa/4,25 spann vatten kan anas i "rullen". Foto: Paulien Strandberg



Figur 17. Bulhusvägg som putsas med hampakalk, i två påslag. Foto: Paulien Strandberg



Figur 18. Henrik Nilsson putsar med kalkbruk utanpå hampakalkskiktet. Till vänster syns väggen som har traditionell uppbyggnad med bara kalkbruk mellan ribborna. Foto: Paulien Strandberg



Figur 19. Puts bestående av dels NHL-kalkbruk (t.v.) och dels luftkalkbruk (t.h.). Foto: Paulien Strandberg

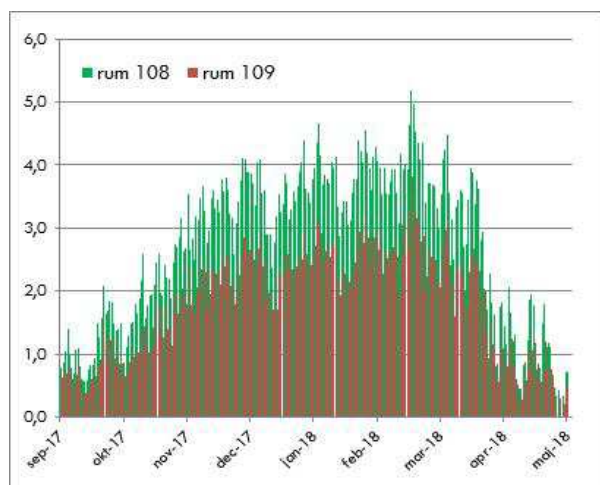
Energiförbrukning för uppvärmning

Inomhustemperaturen i båda rum hölls inom intervallet 19-22°C. Värmen sattes igång automatiskt så snart temperaturen sjönk under 19°C. Uppvärmning av rummen skedde med hjälp av ventilationssystemet. När uppvärmningen sattes igång startade ventilationssystemet automatiskt och värmen spreds jämt genom hela rummet. Så snart temperaturen uppnådde 22°C stängdes ventilationssystemet och därmed uppvärmningen av.

När det var kallt ute gick inomhustemperaturen sedan ner igen, tills den gick ner under 19°C, varefter uppvärmningen sattes igång igen. Därför hölls inomhustemperaturen inom intervallet 19-22°C under uppvärmningssäsongen. Det fanns ingen fungerande kylning i byggnaden, varför temperaturen gick upp långt över 22°C under sommaren utan att kyltågar sattes igång.

Mätning av energi för uppvärmning sattes igång 15 september 2017. Den första dagen som rummet med kalkfasad behövde energi för uppvärmning var 17 september 2017. Den genomsnittliga utomhustemperaturen den dagen var 11,6°C. Första dagen som rummet med hampakalkfasad behövde energi för uppvärmning var nästan två veckor senare, 4 oktober. Den genomsnittliga utomhustemperaturen den dagen var 10,3°C.

Den senaste dagen som båda rummen behövde energi för uppvärmning var 9 maj 2018. Därför sattes analysperioden för uppvärmning till intervallet 15 september 2017-15 maj 2018, totalt 8 månader. Under den här perioden var den genomsnittliga utomhustemperaturen 5,8°C.



Figur 20. Energiförbrukning för uppvärmning per dag i kWh. Rum 108 har kalkfasad medan rum 109 har hampakalkfasad.

Den totala energiförbrukningen för rummens uppvärmning var; rum 108 med kalkfasad använde 654 kWh och rum 109 med hampakalkfasad använde 439 kWh, se figur 20. I siffrorna har hänsyn tagits till värmeflöden mellan rummen och övriga byggnaden.

Rummet med hampakalkfasad använde således bara 67 % av energin för uppvärmning jämfört med rummet med kalkfasad. Det innebär en minskning av energiförbrukningen med mer än 30 %.

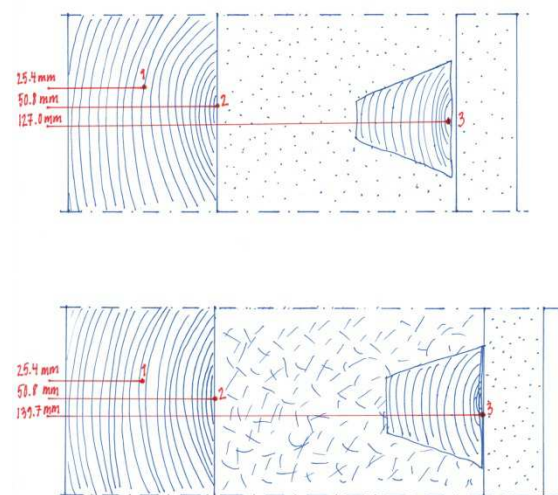
Fuktnivåer i vägg

Även i dessa väggar sattes sensorer in för övervakning av temperatur och fuktnivå. De placerades på tre olika djup i väggen, bakom respektive putsskikt av NHL- respektive luftkalkbruk, se tabell 2 och figur 21.

Dessutom placerades de på två olika höjd; A (høgt) respektive B (lågt). Fuktkvotstift placerades i mitten av bulorna, nära ytan på bulorna mot putsskiktet samt i ytterkant av de putsbärande ribborna, strax bakom ytputsen, se figur 21.

TABELL 2 – Mätsensorernas placering

Djup inifrån	Kalkfasad
25 mm	Mitt i bulorna
51 mm	I bulornas ytterkant
127 mm	I ribborna, strax under ytputs
Hampakalkfasad	
25 mm	Mitt i bulorna
51 mm	I bulornas ytterkant
140 mm	I ribborna, strax under ytputs



Figur 21. Mätsensorernas placering inuti de båda väggarna, överst i kalkbruksväggen och nederst i hampakalkväggen.

Resultatet som illustreras i figur 22, visar fuktnivå som inträffar i mätpunkten mitt i bulorna. Här kan en intressant iakttagelse noteras för båda rummen; nämligen att i de väggfält som ligger bakom luftkalkputs är fuktnivåerna generellt lägre än bakom NHL-puts. Kritiska fuktnivåer som uppmätts för hampakalken som material har i mikrobiologistudierna iakttagits vara ca 85 % RF, se kapitel 9 "Hampakalkens risk för mikrobiell påväxt". I mätningen passerar den gränsen ett antal gånger bakom NHL-putsen men sällan bakom luftkalkputsen i rummet med hampakalkfasad. Även för rummet med kalkfasad noteras samma tendens, nämligen att fuktnivåerna var lägre bakom luftkalkputs än bakom NHL-kalkputs. Att definiera värden för permeabilitet hos de olika traditionella kalkputstyper som används är ett fall för fortsatt forskning, även om tendensen att hydraulisk kalkputs är tätare än luftkalkputs sedan tidigare är känd (Balksten, Magnusson 2002).

Reflektion kring resultatet - provväggar EBD

Målet med studien var att undersöka hampakalkens potential som tilläggsisoleringsmaterial för historiska bulhusväggar och därigenom kunna öka termisk prestanda utan att riskera att konstruktionens byggnadsfysiska kvalitéer och historiska värden förvanskas. Resultaten från provväggarna visar att en ansevärd förbättring av

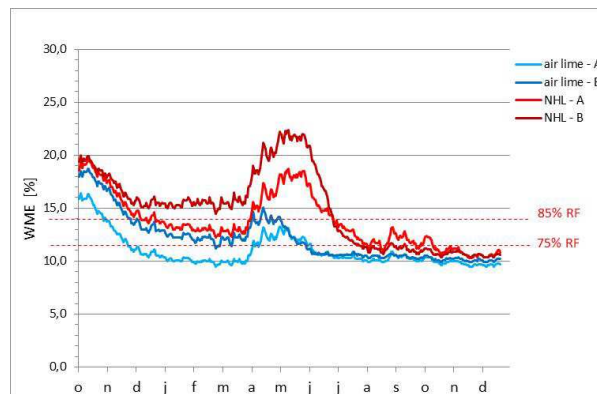
energiprestandan kan uppnås genom att byta ut reveteringens kalkputs mot en hampakalkputs; en förbättring av 33 % kunde uppnås genom att enkelt byta ut kalk mot hampakalk. Inte bara kunde energiförbrukning minskas genom denna åtgärd, det ledde dessutom till ett mer stabilt inomhusklimat med mindre temperatursvängningar. Dessutom kunde fasadens kulturhistoriska värden såsom väggens tjocklek, de gamla träribborna och fasadens utseende och karaktär bevaras.

Till hampakalken och till reveteringens kalkputs användes en luftkalk. Mätningar av fuktnivåer i väggen tyder på att väggen är torrare när en luftkalkputs används som ytputs, istället för en naturlig hydraulisk puts. Bulhusstommen bakom hampakalk med luftkalkputs utsätts nästan aldrig för högre fuktnivåer medan den bakom ytputs av NHL-kalk tidvis (framför allt på sommaren) är i riskzonen för mikrobiell aktivitet.

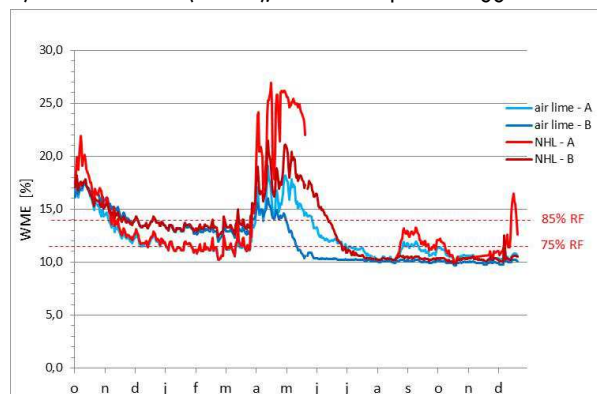
Fuktnivåerna i bulhusstommen är dessutom något lägre i hampakalken än i reveteringens kalk, vilket tyder på lägre fuktnivåer i bulhusfasaden efter en genomförd renovering med hampakalk. Detta talar ännu mer för en förbättring av väggens funktion med hjälp av hampakalk. I samtliga mätningar är det tydligt att fuktnivåer i väggen är relativt höga direkt efter applicering av kalk respektive hampakalk. En tydlig torkning av väggarna ägde rum under sommarmånaderna och tidig höst, se figur 22.

Det är av stor vikt att väggen tillåts torka efter applicering av hampakalken, vilket bör tas med i tidsplaneringen av ett renoveringsprojekt med hampakalk. Det är troligt att båda väggarna kommer ha ännu bättre energiprestanda efter ytterligare torkning, dvs. under den andra vintersäsongen.

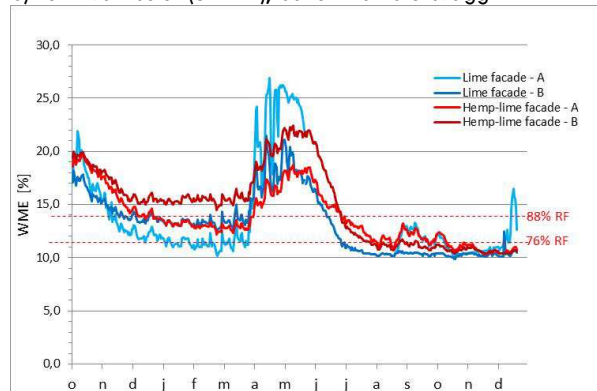
Figur 22. Resultatet från fuktmätningarna. De övre två diagram visar fuktnivåer i bulhusstommen bakom hampakalkväggen (bild a.) resp. bakom bulhusväggen (bild b) när en ytputs av släckt kalk (air lime) användes eller en ytputs av naturlig hydraulisk kalk (NHL) användes. Bild c och d jämför vad som händer i väggarna bakom (bild c) en ytputs av naturlig hydraulisk kalk (NHL), och (bild d) bakom en ytputs av släckt kalk (air lime). De streckade röda linjerna markerar 11,8 % WME (76 % RF) och 13,9 % WME (85 % RF). Det är under andra året när byggfukten torkat ut som är mest intressant att studera och här syns hur fuktnivåer som motsvarar över 85 %RF uppnås bakom NHL-puts på kalkbruksvägg med men i princip aldrig bakom hampakalkvägg.



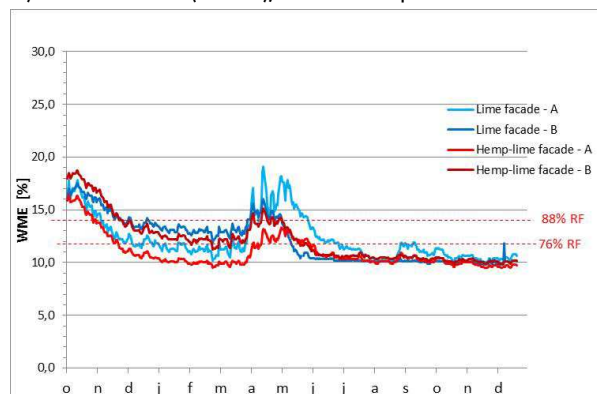
a) Fuktnivå i bulor (51 mm), bakom hampakalkvägg



b) Fuktnivå i bulor (51 mm), bakom kalkbruksvägg



c) Fuktnivå i bulor (51 mm), bakom NHL-puts



d) Fuktnivå i bulor (51 mm), bakom luftkalkputs.

Tegel och hampakalk – Provväggar BML

Vid avdelningen Byggnadsmaterial (BML) på Lunds Tekniska Högskola användes ett provhus för att studera energiprestanda av mindre väggsektioner i tegel. Det byggdes fyra väggsektioner totalt, se figur 23-24. För tre av dessa väggsektioner mättes energiprestandan, den fjärde användes för att studera saltutfällning, se resultatet från dessa mätningar i kapitel 8 "Hampakalk mot saltvittring".

Bakom varje väggsektion (förutom den för saltutfällning) byggdes ett litet rum (1,12×1,04×2,08 m) som var helt isolerat mot resten av byggnaden. Resten av byggnaden värmdes upp till ungefär 20°C. Temperatur i rummen hölls likaså på ungefär 20°C. Härmed kunde värmeflöden genom fasaden studeras, på liknande sätt som i EBD-labbet, se föregående avsnitt. Fasaderna var i

söderläge. I varje rum fanns ett litet värmeelement och energibehov för uppvärmning uppmättes kontinuerligt. Ingen aktiv kylning fanns installerat, och därmed kunde kylbehov inte studeras.

Energibehov för uppvärmning loggades och följdes upp under uppvärmningssäsongen; från mätstart 10 oktober 2017 fram till 30 maj 2018.

Väggens uppbyggnad

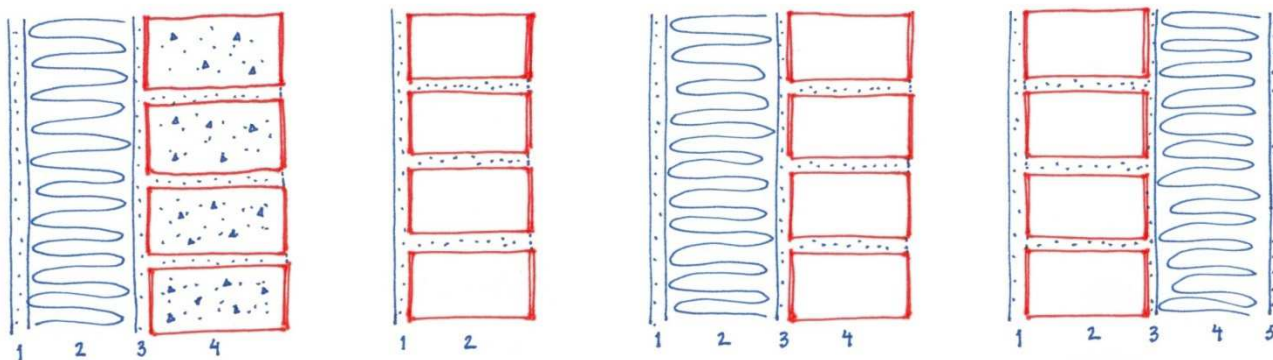
Väggarna är murade med massivt frostbeständigt murtegel typ 10 tum, av svensk standard med kalkbruk NHL3,5. Hampakalken består av hydraulisk kalk NHL3,5 och hampaskävor, blandningsförhållande 4:7 i volym. Uppbyggnaden av respektive vägg syns i figur 23. Invändigt är väggarna putsade med ett grundningsbruk av kalkbruk.

Saltpåverkad fasad

Fasad A

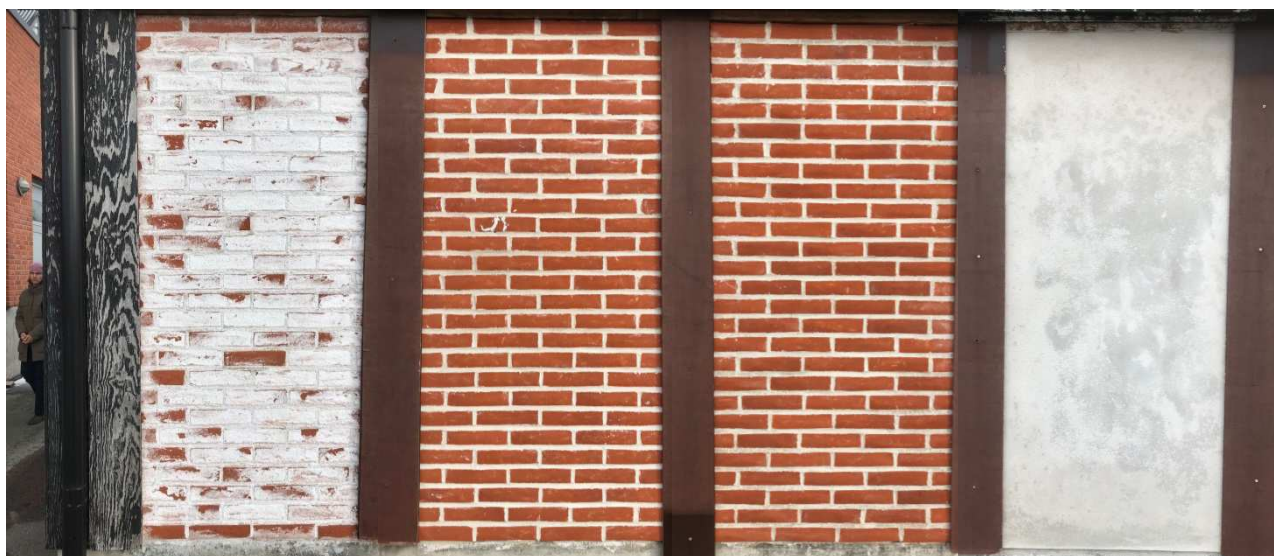
Fasad B

Fasad C

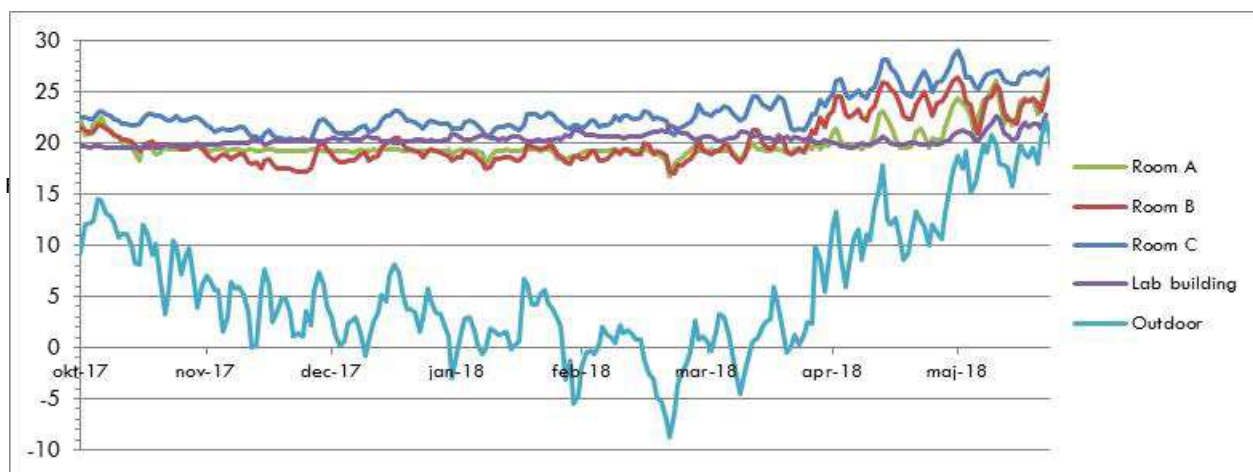


Till murbruk och kalkputs har använts NHL3,5 1:1,5 och till tegelmurning har använts massivt 10" murtegel.

Tegelvägg med saltpåverkan	A)	B)	C)
1 Kalkputs	1 Kalkputs	1 Kalkputs	1 Kalkputs
2 Hampakalk 100 mm	2 Tegelmur	2 Hampakalk 100 mm	2 Tegelmur
3 Grundning av kalkputs		3 Grundning av kalkputs	3 Grundning av kalkputs
4 Tegelmur, mättad med natriumsulfat		4 Tegelmur	4 Hampakalk 100 mm
			5 Kalkputs



Figur 24. Provväggar A-C. Det extrema saltinnehållet syns i vägg till vänster där saltskägget spränger sönder tegelytan.



Figur 25. Temperaturvariationen (°C) i rummen, labbet och utomhus, från okt 2017 till maj 2018.

Energiförbrukning

Energiförbrukning för uppvärmning från 10 oktober 2017 t.o.m. 26 maj 2018 redovisas i tabell 3.

TABELL 3 Energiförbrukning under uppvärmningssäsong.

Rum A	Rum B	Rum C
Tegelvägg	Tegel med hampakalk på insidan	Tegel med hampakalk på utsidan
487 kWh	230 kWh	273 kWh

Att tilläggsisolera en tegelvägg med 100 mm hampakalk ger således en klar förbättring av energieffektiviteten; en förbättring mellan 38 och 55 % uppmättes.

Under uppvärmningssäsongen var dock inomhustemperaturerna inte exakt likadana i alla rum. För temperaturen i rummen, labbet och utomhus, se tabell 4;

TABELL 4 Genomsnittlig temperatur under uppvärmningssäsongen (10 okt 2017-26 maj 2018).

Rum A	Rum B	Rum C	Labb	Utomhus
19,8 °C	19,9 °C	22,6 °C	20,3 °C	5,8 °C

Energianvändningen i rum C var högre än i rum B, samtidigt som temperaturen i rum C i genomsnitt låg väsentligt högre än i rum B. Denna temperaturskillnad förklarar en del av skillnaden i energianvändningen mellan rum C och B.

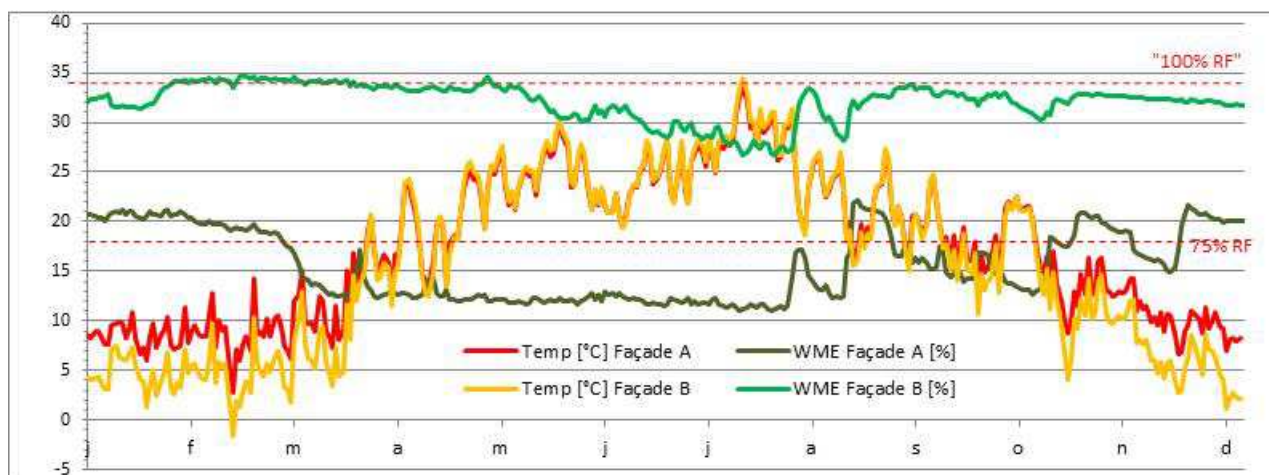
Fuktnivåer i vägg

Fuktnivåerna i väggarna mättes med fuktkvotsstift, vilket gav ett värde för *wood moisture equivalent* (WME) [%], dvs. ett värde för fuktkvot i trämaterial. I detta fall var materialet som mätningarna gjordes i inte trä, utan tegel. Detta gör att de uppmätta värden först och främst ska ses som indikationer av fuktnivåer (och inte som direkta värden för fuktkvot i materialet). Icke desto mindre finns det tydliga skillnader mellan temperatur och fuktnivåer i väggarna när man jämför en vägg som består av oisolerat

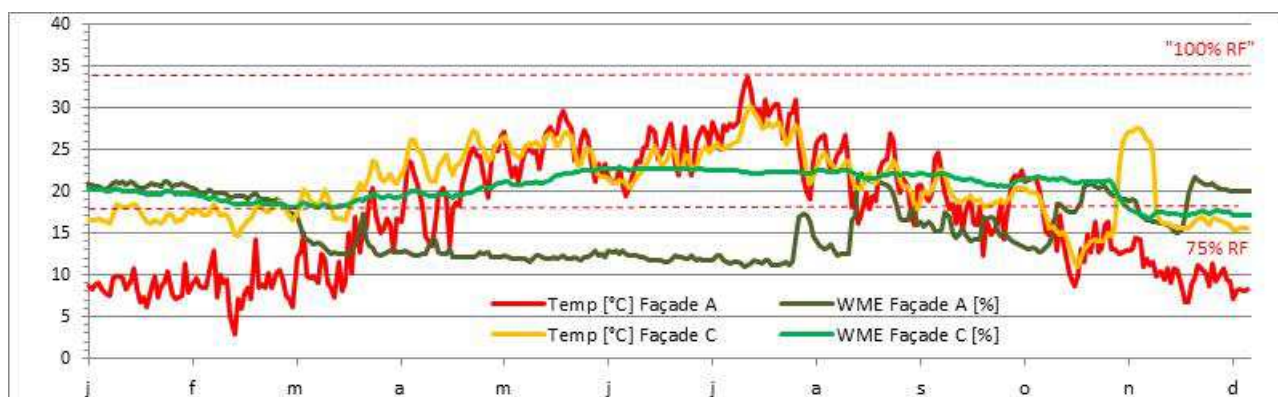
halvstenstegel med en halvstenstegelvägg som isolerats invändigt (Figur 26) eller utvändigt (Figur 27) med hampakalk.

När man tilläggsisolerar en tegelvägg invändigt kommer temperaturerna i teglet att sjunka, vilket syns tydligt i Figur 26 där fasad B har lägre temperatur än fasad A på vintern. Dessutom kommer fuktnivåerna inuti teglet att förändras; fuktnivåer i fasad B är överlag mycket högre än de i fasad A. Detta tyder på en uppfuktning av teglet som följd av den invändiga tilläggsisoleringen. Det måste tilläggas att torkning av väggarna mot inomhusklimatet har varit väldigt begränsat p.g.a. energimätningarna som pågick. De tekniska begränsningar som fanns i rummen gjorde att ventilation ej kunde äga rum under samma period som mätning av energiflöden pågick. Detta gjorde att relativ fuktighet inomhus var väldigt hög. Något som i praktiken, när man tilläggsisolerar en byggnad med hampakalk, enkelt kan undvikas genom att vädra. Detta var dock inte möjligt i labbet, och har högst troligt bidragit till de höga fuktnivåerna i fasad B. Höga fuktnivåer i väggen i kombination med låga utomhustemperaturer kan leda till förhöjd risk för frostsprängning och ställer krav på frostbeständiga material. Vid okulär besiktning av fasaden syntes dock inga frostsador på teglet.

En utvändigt tilläggsisolering av teglet ledde till en högre temperatur i teglet under vinterhalvåret, och en något lägre temperatur i teglet under sommarhalvåret, se Figur 27. Med andra ord uppstod ett jämnare klimat inuti teglet. Fuktnivåerna i teglet var dock något högre även vid en utvändigt tilläggsisolering med hampakalk. Även här kan bristen på ventilation i rummet bakom fasaden ha spelat roll. Fuktnivåerna i teglet i den utvändigt isolerade fasaden är tydligt förhöjda jämfört med en halvstenstegelvägg. De håller dock en jämn nivå över året, utan riktigt förhöjda värden.



Figur 26. Temperatur och fuktnivåer i tegelväggarna; jämförelse mellan halvstenstegel (A) och halvstenstegel med invändig hampakalk 100 mm (B).



Figur 27. Temperatur och fuktnivåer i tegelväggarna; jämförelse mellan halvstenstegel (A) och halvstenstegel med utvändig hampakalk 100 mm (C).

Reflektion kring resultatet - tegelväggar

Genom att använda hampakalk för tilläggsisolering av historiska tegelväggar kan en väsentlig energiförbättring åstadkommas. Mätningarna i BML-provhuset tyder på en förbättring av 44-53 % när man använder 100 mm hampakalk tilläggsisolering jämfört med en oisolerad halvstenstegelvägg. Denna förbättring har rimligtvis även en positiv inverkan på inomhusklimatet, med större termisk komfort inomhus.

Fuktnivåerna var dock högre i båda tilläggsisolerade tegelväggarna. Allra högst var fuktnivåerna i väggen med invändig tilläggsisolering, vilket ökar risken för frostsador. Vid invändig tilläggsisolering borde ett alternativ där ett tunt skikt hampakalk används övervägas, som skulle förbättra värmeisoleringsförmågan av väggen men samtidigt inte leda till lika höga fuktnivåer i väggen.

När man tar energiförbrukning och bevarande av kulturhistoriska värden i beaktning kan tilläggsisolering med hampakalk vara ett mycket bra alternativ till konventionella diffusionstäta material, då det förbättrar väggens termiska prestanda samtidigt som kulturhistoriska värden samt väggens byggnadsfysikaliska egenskaper kan behållas.



Figur 28. Utvändig tilläggsisolering av hampakalk under uppbyggnad. Till vänster; tegelvägg med invändig hampakalk.

Slutsatser om hampakalkens egenskaper som alternativ för tilläggsisolering

Att tilläggsisolera med hampakalk fungerar bra – såväl på trästommar som på tegelstommar. Summeringen av de olika delstudierna om hampakalk som ett material vid tilläggsisolering ger följande slutsatser:

- Det ger en klar energiförbättring, i provväggarna med dess specifika förutsättningar mellan 33 och 53 %.
- Det ger en bra fuktbalans till trästommen vid utvändig tilläggsisolering – kombinerat med en fet kalkputs av luftkalk är trästommen såväl som hampakalken skyddad från höga RF (se vidare kapitel 9 "Hampakalkens risk för mikrobiell påväxt").
- Väggens byggnadsfysikaliska egenskaper bibehålls, jmf med tjock kalkputs.
- Vid tilläggsisolering på tegelmurverk bör tjockleken anpassas till murverkets bredd samt tjocklek och utseende på originalputs. Eftersom hampakalk är formbart fungerar det utmärkt även på t.ex. välvda ytor. Om tilläggsisoleringen utförs invändigt kan det ge högre fuktnivåer till tegelmurverket som då får en något lägre temperatur. Det ställer krav på att fasaden är byggd av frostbeständiga material (vilket det i princip alltid måste vara i det nordiska klimatet).
- Hampakalken ger ett jämnare inomhusklimat med bra komfort. Det påverkar temperatur och RF i det inre ytskiktet vilket bl.a. är en bra förutsättning vid saltvittring (se vidare kapitel 8 "Hampakalk mot saltvittring").
- Originalkonstruktionen med putsbärare kan sparas och återanvändas. Hampakalken kan bäras av såväl träribbor, grovmaskigt nät som ståltråd utifrån behov och förutsättningar i stommen.
- Hampakalkens byggfukt måste tillåtas torka ut och arbetet behöver planeras därefter. Det är ett kalkbaserat material varför byggtiden är begränsad till den varma årstiden för utvändiga arbeten.
- Hampakalk är ett klimatsmart biobaserat material med förhållandevis låg miljöpåverkan och mycket lång hållbarhet – det kan jämföras med likvärdiga materialsammansättningar som finns bevarade sedan 1700-talet med kalk, lera och (biobaserade) fibrer.
- Revetering med hampakalk ger ett fortsatt brandskydd genom ett förutsägbart och långsamt brandförlopp (se kapitel 10 "Hampakalk för brandskydd på reveterade trähus")
- Hampakalk påverkar akustiken i ett rum och kan användas likvärdigt som träullit för att dämpa ljud (se kapitel 11 "Hampakalk för god akustik").

- Genom tilläggsisolering med hampakalk bakom ytskikt av fet kalkputs kan klimatskalet uppfylla förväntade funktionskrav såsom värmeskydd, regnskydd, vindskydd och luftläckageskydd.
- Som putsbärare till kalkputs ger hampakalk förutsättning att traditionell hållbar kalkputs kan användas på kulturhistoriskt värdefull bebyggelse utan att förändra dess autentiska uttryck och material.

Referenser

- Balksten, K. (2017) "Gotlands obrutna kalktradition" Byggnadshyttan på Gotland 2015-2016. (Red. Utas, J.) Sid. 33-45. Visby: Byggnadshyttan på Gotland.
- Balksten, K. (2008) "Det gotländska bruket av kalk" Från Gutabygd 2008. Sid 125-140. Gotland: Gotlands Hembygdsförbunds förlag. ISSN 0349-9278.
- Balksten, K. & Magnusson, S. (2002) *Transportegenskaper hos kalkputs: en jämförelse mellan elva brukstyper*. Göteborg: Chalmers
- Bevan R., Woolley T. (2008) *Hemp Lime Construction - A guide to building with hemp lime composites*. Watford: HIS BRE Press
- Bruijn P. de, (2012) *Material Properties and Full-Scale Rain Exposure of Lime-Hemp concrete walls - Measurements and Simulations*, Doctoral Thesis, Lund: SLU
- Edbladh, J. & Persson, J. (2018) *Hampakalk – en jämförelsestudie med avseende på brandegenskaper*, Examensarbete, Lund: LTH
- FN generalförsamling (2015) *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. UN General assembly 4th plenary meeting 25 September 2015.
- Hagentoft, C-E (2002) *Vandrande fukt, strålande värme: så fungerar hus*. Lund: Studentlitteratur
- Assembly, UN General. 2015. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. UN General assembly 4th plenary meeting 25 September 2015.
- Hallberg, Maria et al. 2010. *Byggnadsordning För Visby Innerstad*. ed. Maria Hallberg. Visby, Gotland: Samhällsbyggnadsförvaltningen, Region Gotland. <http://www.gotland.se/54504>.
- Henriksson, Gunnar. 1996. *Skiftesverk i Sverige - Ett Tusenårigt Byggnadssätt*. Stockholm: The Swedish Council for Building Research.
- Hidemark, O. (1991) *Dialog med tiden*. Haderslev: Privatträck
- Håkansson, O. (1925). *De som byggt Stockholm: ur murerarbetets och murarnas historia*. Stockholm: Seelig
- ICOMOS (1964) *Venedigdokumentet* https://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf
- Jokilehto, J. (1999) *A history of architectural conservation*. Oxford: Butterworth-Heinemann
- Kulturmiljölager (1988:950)
- Källgren, Viktor (2017) *Ljudmiljö i Kulturmiljö – Hampakalks akustiska egenskaper och tillämpbarhet i kulturhistoriskt värdefulla byggnader*. Examensarbete i kulturvård, 15 hp. Visby: Uppsala universitet
- Mebus, U., Malmros P. (2017) "Visby Biskopen 5, fasadrestaurering. Antikvarisk förundersökning 2017". Gotlands museum
- Nygren, S. (2017) *Reveterade bulhus i Visby innerstad*. Examensarbete i Kulturvård (under färdigställande). Visby: Uppsala universitet
- Plan- och bygglagen (1987:10)
- Plan- och bygglagen (2010:900)
- Robertsson, Stig (2002) *Fem pelare - en vägledning för god byggnadsvård*. Stockholm: Riksantikvarieämbetets förlag.

Hampakalk mot saltvittring

Författare: Kristin Balksten & Paulien Strandberg-de Bruijn

Inledning

Som ett delprojekt inom Hampakalkprojektet har studier gjorts om huruvida hampakalk skulle kunna nyttjas som ett inre isolerande och putsbärande skikt på tegelmurverk där saltskador förekommer. Konstruktionslösningen påminner mycket om de från 1940-talet beskrivna murverken med träullit fastputsad på insidan murverket (Tegelindustrins centralkontor 1949). Idén föddes utifrån ett exempel på en källarvägg från 1935 som är uppförd med träullit fastputsad och överputsad på en del av en vägg av betonghålstén. På partier där putsen var lagd direkt på betonghålsténen förekom saltutfällningar men på angränsande partier med träullit förekom inga spår av synliga salter på putsytan.

För beskrivning av tegelmurverkens uppbyggnad och saltproblematik hänvisas till artikeln "Saltvittrande tegelmurverk", se kapitel 5.

Provytor för utvärdering av putsbärande

De första provytorna har utförts 2016 i tornet på Örgryte nya kyrka, bakom orgelläktaren. I detta rum har offerputs utförts tidigare, under 2000-talets början, med resultatet att putsen nästan omgående trillade ner igen (Balksten et al 2012, Balksten et al 2014).

För att hindra salterna från att spränga av putsytan är tanken att det behövs ett skikt som isolerar ytputsen från murverket genom att ändra kapillärtransporten. Skiktet ska vara diffusionsöppet och det bör klara att salter vandrar och avsätts inuti materialet. Om materialet kan påverka så att klimatet invändigt blir jämnare genom att verka värmeisolerande mot ytermuren bör detta vara positivt med tanke på att solstrålning påverkar mikroklimatet med märkbar effekt.

Putsen på ytan är sammansatt för att vara dels kompakt och dels stark nog för att tåla visst tryck från salter som kristalliserar, utan att vara ogenomsläpplig. Putsen är också fastsatt i nät (rostfritt) för att kunna klara en mindre rörelsemån. I det här utrymmet har tre provytor gjorts på väggen mot sydväst efter att putsen skrotats ner till tegelmurverket.

Följande tre provytor är utförda i Örgryte nya kyrka på våren 2016:

Provyta 1: Träullit 25 mm, monterades direkt mot den gamla putsen. Kalkputs av NHL 3,5 1:1,5 till ett lager puts. Bearbetningen av ytan har utförts med träbräda (kanitz eller masonitbräda) efter att bruket

var skurtorrt så att en öppen yta lämnas. Total puts-tjocklek 10-12 mm.



Figur 1. Tre provytor under tillverkning i Örgryte nya kyrka.

Provyta 2: Rostfritt putsnät på ca 1 cm distans från väggen bär upp hampakalk i ca 2 cm. Hampakalken blandades först 1:3 (kalk/hampaskävor). Det var för svårt att slå och få till att fästa varför andra påslaget gjordes med ca 1:1 kalk/ hampaskävor. Svårt att applicera för hand när det är hampa och kalk om kalkmängden under en viss gräns (det bör sprutas). Ytputs av kalkbruk NHL3,5 1:1,5 till ca 2 cm påslag. Bearbetningen av ytan har utförts med träkanitz efter att bruket var skurtorrt så att en öppen yta lämnats.

Provyta 3: Reveteringsmatta av vass och galvaniserat trådnät. Lerbruk med hampaskävor 1:2:0,5 (lermjöl/sand/ hampaskävor) i ett påslag upp till ca 2 cm. Mycket lätt och smidigt att applicera. Kalkbruk NHL2 1:1,5 till ett ca 2 cm påslag för ytputs. Bearbetningen av ytan har utförts med träkanitz efter att bruket varit skurtorrt så att en öppen yta lämnats (Balksten 2017).



Figur 2. Det putsbärande skiktet; 1) träullit, 2) putsnet och 3) vassmatta. Dessa sitter dikt an mot tegelmurverket som frilagts bakom den saltvittrade putsen.



Figur 3. Första påslaget fick torka i ett par veckor innan ytputsen slogs på.

Figur 4. Utvärdering av provytor efter 1,5 år visar att putsen utanpå träullit och hampakalk saknar saltgenomslag till skillnad från putsen på lerbruk som har saltgenomslag.



Efter 2,5 år är provytorna intressanta att utvärdera. Inga salter har avsatts på ytan med träullit eller hampakalk som putsbärare. Däremot den putsytan som har lerputs som putsbärare har rikligt med salter på ytan. Likaså har salter vandrat genom lerputs lagret men på hampakalkens yta syns mest salter som fallit ner från väggen ovanifrån.

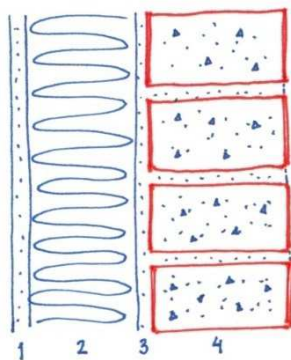


Figur 5. Salterna har gått igenom lerputs lagret men på hampakalken och dess putsyta syns inga salter som avsatt sig på ytan.

Provvägg av saltmättat tegel & hampakalk

Genom det positiva resultatet i ovanstående studie har en fördjupad undersökning utförts inom Spara och Bevara. För att närmare studera hur salter transporteras från ett tegelmurverk till ett lager hampakalk och kalkputs har provväggar utförts vid LTH under 2017 för att dels studera värmeledning och fuktbelastning i tegelmurverk med hampakalkisolering och dels för att studera hur salter beter sig i ett tegelmurverk med invändigt skikt av hampakalk. En yttervägg är uppförd med saltmättat halvstenstegelmurverk. Murens uppbyggnad syns i skiss, figur 6. Vid uppmurningen dränktes teglet i en lösning med glaubersalt dvs. natriumsulfat. Direkt efter uppmurningen började saltvittringen ta vid.

Skikten är studerade okulärt på plats, genom tunnslip av hampakalken samt genom att ta ut prov i en borrkärna och mäta en saltprofil. På utsidan av väggen är syns rikliga saltutslag på teglets yta, se Figur 7 och 8. På insidan av putsen syns dock inga spår av salt och i hampakalkskiktet är mängden salt låg, se tabell 1. På insidan har rummet varit uppvärmt med en lägsta temperatur om 19 °C. Utsidan av väggen är riktad mot söderläge och den har därför haft en avsevärd temperaturvariation, under dygn såväl som årstid. Väggen kan därför sägas representera en söderfasad som vanligen är den som är mest utsatt på en byggnad.

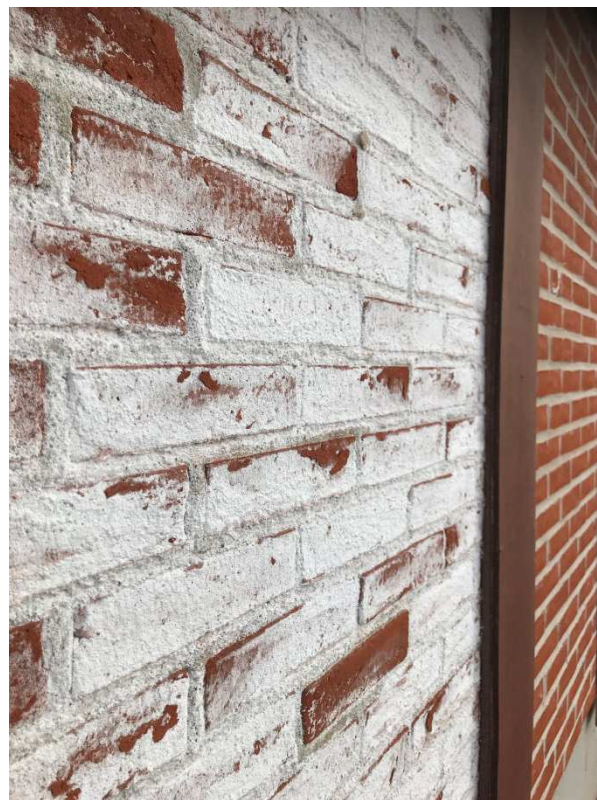


Figur 6. Provvägg utfördes enligt ovanstående skiss. Bredden är 102 cm och höjden 212 cm. Utsidan syns till höger i bild. Till murbruk och kalkputs har använts NHL3,5 1:1,5 och till tegelmurnings har använts massivt murtegel, mättat med NaSO_4 .

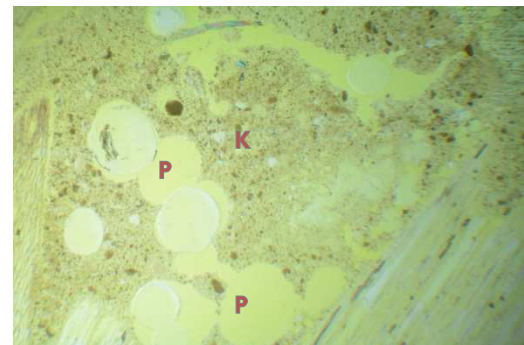
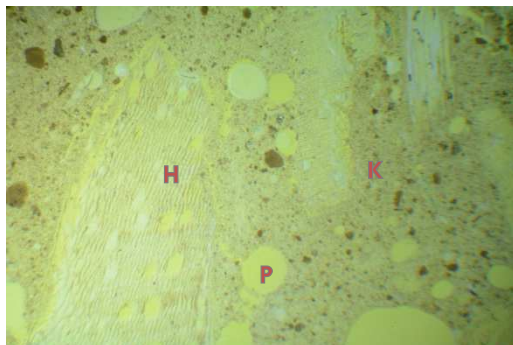
Väggens uppbyggnad, sett inifrån;
 1 Kalkputs
 2 Hampakalk 100 mm
 3 Grundning av kalkputs
 4 Tegelmur, mättad med natriumsulfat



Figur 7. Provvägg A, med det extrema saltinnehållet som syns på ytan.

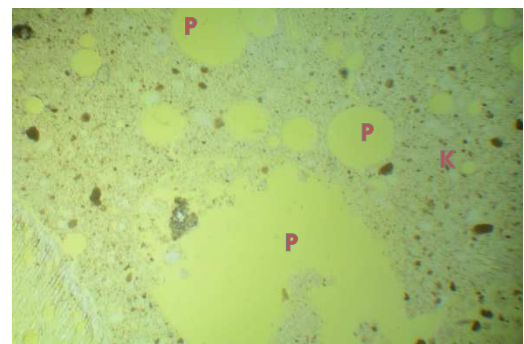
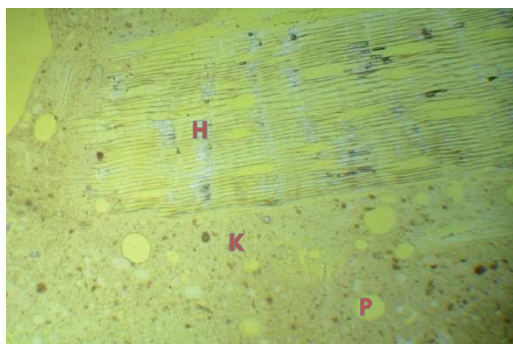
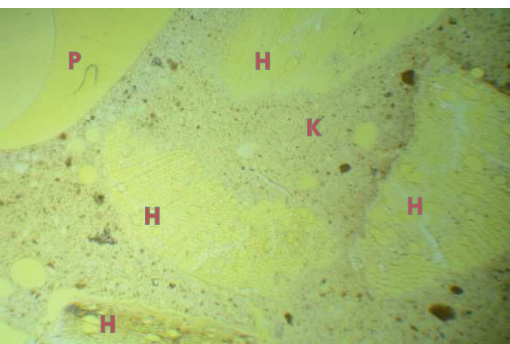


Figur 8. Det har bildats ett saltskäg som spränger sönder teglet och fogbruket



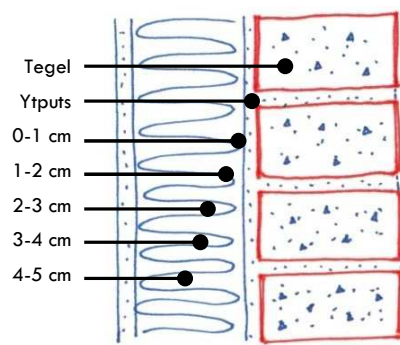
Figur 9. Hampakalk uttaget på 90-115 mm djup i vägg A, sett inifrån. Provet är ingjutet i fluorescerande epoxi varför alla håligheter syns som gula utrymmen. Polarisationmikroskopbild av tunnslip visar en homogen kalkmassa (K) som omsluter hampaskävorna (H). I kalkmassan finns små och stora runda luftporer (P), mestadels väl avgränsade från varandra. I hampaskävornas fiberriktning syns även dess egna porstruktur. Något spår av saltvittring kan inte utläsas, porerna är helt intakta och materialet har inte lösts upp inuti porerna.

Figur 10. Hampakalk uttaget på 115-130 mm djup i vägg A, dvs närmast teglet. Polarisationmikroskopbild av tunnslipet visar, liksom i föregående bild, en homogen kalkmassa (K) som omsluter hampaskävorna (H). I kalkmassan finns runda luftporer av varierande storlek (P), mestadels är de väl avgränsade från varandra utan förbindning via kapillärporer. I hampaskävornas fiberriktning syns även dess egna porstruktur som följer fiberriktningen. Nederkant varje foto visar 2,65 mm av provet.

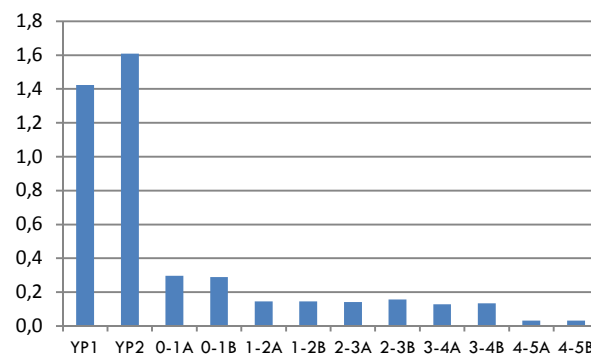


Från hampakalken har tunnslip låtit tillverkas av Petro-lab i Cornwall. Därefter har de studerats och fotograferats i polarisationmikroskop Brunel SP1500-XP hos Balksten Byggnadsvård, för att se om man kan förstå materialets verkningsätt genom dess porstruktur. Här syns tydligt hur kalken omsluter varje hampaskäva och att det finns två typer av porstrukturer, en i kalkpastan och en i hampans egna porstruktur. Spår av vittring pga. salt går inte att utläsa i dessa prover, snare syns alla porerna vara i sitt ursprungliga skick med runda porväggar till synes opåverkade.

En saltprofil har mätts ut för provväggen. Prover togs ut från den saltmättade tegelväggen, och från varje centimeter sett från insida tegelytan, se Figur 11. Material togs från inuti väggen och maldes fint med en mortel. En liten mängd material (ungefär 0,09 gram) blandades med 20 ml avjoniserat vatten. Analys av proverna genomfördes genom Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) av S. Mebrahtu Wisén på Biologiska Institutionen, LTH. Genom ICP-OES analyseras den totala mängden av ett element, i detta fall svavel. Resultatet visas i Figur 12. Mätresultatet visar att det finns ett högt saltinnehåll i kalkputsens intill tegelmurens insida. Däremot har hampakalkskiktet ett markant lägre saltinnehåll, se figur 12.



Figur 11. Mätpunkter i väggen, avstånd i cm från tegelytan.



Figur 12. Svavelinnehåll [mg/g] i mätpunkterna i väggen, november 2018. Två prover (A och B) per mätning.

Nygotiskt tegelmurverk med hampakalk – exempel från Högsäters kyrka

Högsäters kyrka är en av de tegelkyrkor med fuktrelaterade problem som uppfördes efter ritningar av Adrian Crispin Peterson, runt sekelskiftet 1900. Sedan dess finns många åtgärder gjorda pga. återkommande saltproblem invändigt i kyrkan. Sedan provytor med hampakalk som putsbärare av hydraulisk kalkputs gjorts i Örgryte nya kyrka 2016 visat sig varit fria från saltgenomslag på putsytan efter 2,5 år har systemet med hampakalk som putsbärare provats i en något större skala i Högsäters kyrka. Under jan-feb 2019 har två väggytor i koret mot sydöst och söder fått helt ny puts och intressanta reflektioner har kunnat göras under arbetets gång.

Putsytorna med den saltskadade putsen har bytts ut minst två gånger sedan kyrkan uppfördes; första gången sannolikt på 1930-talet med en grundstrykning av konstgjord tät asfalt samt oljemålning på putsen. Den nuvarande putsen hade sannolikt på vissa väggar tillkommit vid den stora invändiga renoveringen 1979-80 under ledning av Jerk Alton. Då hade all puts på de aktuella korväggarna avlägsnats, asfaltbeläggningen delvis tagits bort och tegel bytts ut under fönstren. Även el hade frästs in i tegelmurverket. Putsen var påförd i en tjocklek om 3-4 cm i flera påslag. Saltskadorna visade sig dels i putsens yta, dels i teglets yta. Där övriga skador idag förekom fanns även äldre putsskikt med underliggande asfaltstrykning och oljefärg bevarad.



Figur 13. Väggfälten i koret som nu omputsats pga. återkommande saltskador. Foto: Kristin Balksten

Uppbyggnad och material

Sedan tidigare fanns två system för att fästa putsen vid väggen på ställen där teglets sugförmåga förlorats pga. tät asfaltstrykning – putsnät samt ståltråd på spik. Beroende på skadans storlek och omfattning tillämpades fortsatt dessa båda två system. För mindre skador virades rostfri ståltråd runt betongskruv, för större ytor fästes ett grovmaskigt hönsnät med betongskruv och brickor, se figur 14 respektive 15.



Figur 14. Där skadad puts har avlägsnats har även del av asfaltbeläggningen – framförallt i fogar – avlägsnats. Små lagningar fästs med ett armerande virrvarr av ståltråd som putsbärare. Foto: Kristin Balksten



Figur 15. Där större putspartier görs om fästs ett grovmaskigt hönsnät med brickor och betongskruv som ett armerande och putsbärande alternativ. Hampakalken har här slagits på i tjocklek 2-3 cm direkt mot tegelväggen. Foto: Kristin Balksten

Hampakalken har tillretts av fransk hydraulisk kalk NHL3,5 och hampaskävor. Blandningsförhållandet blev 1:1 i volym mellan kalk/hampa och det anpassades för att ge ett smidigt bruk som lätt gick att slå på tegelväggen, i ett lager som kunde jämnas till med rätkäpp. Tjockleken har anpassats efter den tidigare putsen och hampakalkskiktet ersätter här grundning/utstockning och byggdes i tjocklek 1-3 cm beroende på vilken yta som skulle putsas och hur tjock den totala putstjockleken varit tidigare.



Figur 16. Hampaskävor på bal och NHL-kalk i säck.
Foto: Kristin Balksten



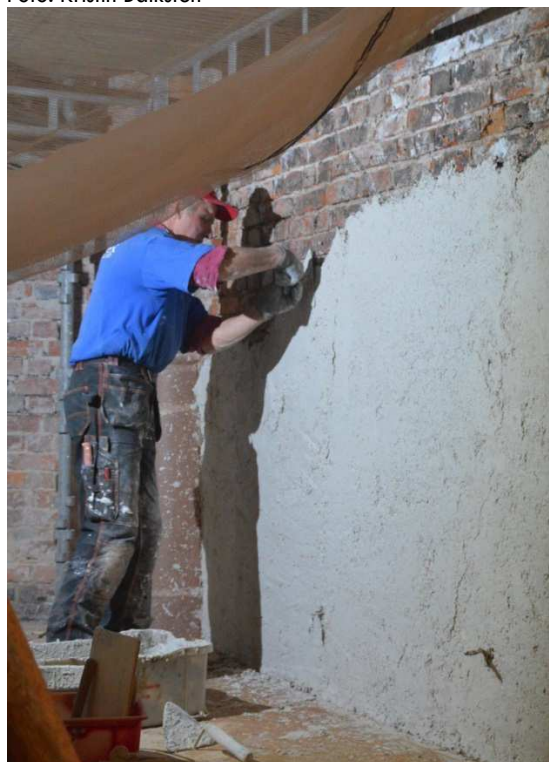
Figur 17. Konsistensen på hampakalken kan anas från bilden ovan (jämför med bruket som användes i fallstudierna). Foto: Kristin Balksten

Hampakalkbruket blandades i frifallsblandare då ett första försök med planblandare inte klarade att blanda ihop beståndsdelarna utan att fastna. För att få en extra smidighet blandades bruket i kärran med bruksvisp precis innan användning.

Hampakalken gav ett lättarbetat bruk som sög sig fast bra i underlaget. Det var lätt att slå på och dra ut med storskånskan och sedan jämna till med rätkäppen. På så sätt utgör hampakalkskiktet ett bra underlag som putsbärare; det får en grov makrostruktur i sin jämna yta.



Figur 18. Hampakalk som utstockning på tegelvägg.
Foto: Kristin Balksten



Figur 19. Hampakalken appliceras som ett vanligt putsbruk och jämnas till med rätkäpp. På bilden syns Bertil Larsson från Högsäter. Foto: Kristin Balksten



Figur 20. Genom att materialet är formbart kan det appliceras även i smyggar och i rundade valv, här i angränsning till gammal puts. Foto: Kristin Balksten



Figur 21. Ytputsen har här gjorts av ett infärgat kalkbruk som appliceras direkt på hampakalken, vilken har god sugförmåga som ger bra vidhäftning. Foto: Kristin Balksten

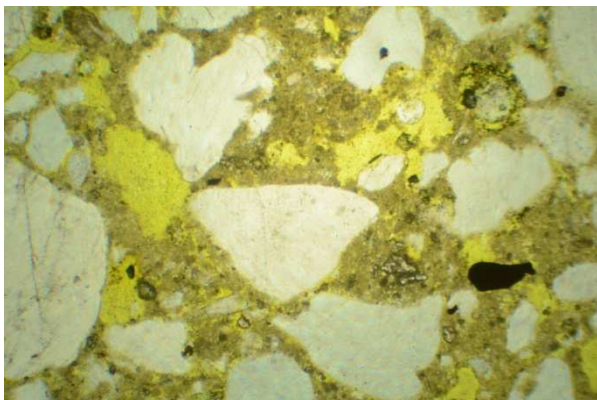


Figur 22-23. Den färdiga putsytan är här utförd med infärgat kalkbruk av NHL3,5 1:1,5 0-4 mm, med en närliggande kulör som färdig avfärgad yta. Foto: Kristin Balksten



På hampakalkens yta applicerades sedan ett kalkbruk, baserat på samma typ av kalk som finns i hampakalken, här fransk NHL-kalk. För att skapa förutsättningar för ett framtida förfall som hellre ger en känsla av patina än av skada har det valts ett infärgat bruk med närliggande kulör som omgivande ytor. Kalkfärgen gjordes i samma kulör men av våtsläckt kalkpasta.

Till grund för val av utförande och material ligger dels provytor som utfördes i Örgryte nya kyrka 2016 och dels laboratoriemätningarna som utförts i Lund under projektets gång. Det som provytorna visar är att det dröjer innan salter tar sig genom hampakalkskiktet och når ytputsen. Ytputsen är därtill gjord av ett relativt starkt och fett kalkbruk med egenskaperna att vara både relativt kompakt så att det motstår visst kristallisationsstryck och ändå ånggenomsläppligt för uttorkning genom sin porstruktur, se figur 24.



Figur 24. Putsbruk av NHL3,5 1:1,5 0-4 mm. Underkant bild visar 2,1 mm. De gula fälten visar provets luftporer.

Reflektion kring resultatet i Högsäters kyrka

Tanken bakom att applicera hampakalkskiktet här är att det skall verka som ett skikt som minimerar salttransport från tegelmurverket till putsytan. Dels genom att det är ett värmeisolerande skikt kan det påverka RF i ytputsen t.ex. vid direkt solstrålning kan det påverka hur den inre putsytan värms upp i förhållande till bakomliggande murverk och därigenom påverkas mikroklimatet i ytputsen. Hampaveden ger en annorlunda draghållfasthet till hampakalken jämfört med vad sand ger till ett putsbruk vilket är positivt när ett material utsätts för inre tryck pga. kristallisation. Eftersom saltet här är natriumsulfat vilket har ett fasdiagram som påverkar hur kristalliseringsförloppet är det intressant att skapa ett mikroklimat som skulle innebära ett minskat antal kristallisationscykler direkt under putsytan.

Sammanfattande analys

Natriumsulfat, det salt som orsakar mest skada invändigt i byggnader, rör sig med fukttransporten i murverken och avsätts inuti porerna, nära ytan av ett poröst material där kritiskt relativ fuktighet för kristallisation uppstår. Ett tegelmurverk med synligt fasadtegel kan ta upp mycket fukt vilket gör att salter i murverket löses upp och rör sig med det uttorkande vattnet mot en yta, såväl inåt som utåt. Drivande faktorer är förändring i relativ fuktighet och temperatur såväl i omgivande luft som i murverkets yta. Temperaturförändringar beroende av såväl lufttemperatur som genom direkt solljus ändrar ytornas och murverkets temperatur lokalt och salterna kan då passera sin kristallisationspunkt ofta, med upprepade skador som följd, se "Saltvittrande tegelmurverk", kapitel 5.

När saltet utgörs av natriumsulfat är det inte möjligt att styra klimatet för att helt undvika att salternas kristallisationscykler passeras eftersom de har ett komplicerat fasdiagram, beroende av både RF och temperatur och då de dessutom rör sig mellan sina båda varianter natriumsulfat och natriumtiosulfat. Det gäller istället att minimera effekten av skadorna.

Genom att skapa förutsättningar för ett förändrat mikroklimat nära putsytan, som kan erhållas med ett värmeisolerande skikt, och genom att välja en putsbärare som har en gynnsam porstruktur kan salttransporten till ytan minskas och fördröjas. Vid utvärdering av fallstudierna med hampakalkskikt som invändig putsbärare har det visat sig att det dröjer innan salter vandrar från tegelmurverket genom hampakalken och till ytan av kalkputsen jämfört med om en vanlig offerputs för salt används.

Referenser

- Balksten, K., Lange, J., Lindholm, M. (2012) *Fuktproblem i salt och frostsakat tegelmurverk – Fördjupad analys av Örgryte nya kyrka*. Göteborg: Göteborgs stifts skriftserie 2014:01.
- Balksten, K., Lindholm, M., Lange, J. (2014) *Increased salt and frost damages in solid neo-Gothic brickwork masonry due to low permeable restoration materials of the 20th century*. 9th International Masonry Conference 2014 in Guimarães, Portugal.
- Balksten, K. (2017) *Högsäters kyrka. Fördjupad förundersökning av fukt- och saltskadat tegelmurverk*. Munkedal: Balksten byggnadsvård
- Tegelindustriens centralkontor (1949). *Hur man bygger sin egen tegelvilla*. Stockholm: Tegelindustriens centralkontor.

Hampakalkens risker vid mikrobiell påväxt

Författare: Sanne Johansson, Paulien Strandberg-de Bruijn & Kristin Balksten

Biologiskt nedbrytbara material drabbas under rätt förutsättningar alltid av mögelpåväxt. För hampakalken har dessa förutsättningar inte tidigare varit fastslagna varför vi här presenterar resultatet av en laboratoriestudie om mikrobiell påväxt på hampakalk respektive på hampaskävor (de träliknande delarna av hampastjälken).

Risker för mikrobiell påväxt i byggnader

I byggreglerna (BBR) ställs höga krav på utformningen av nya bostäder. Man föreskriver att fuktnivåerna inte får överstiga s.k. kritiska fukttillstånd, vilket avser de fuktnivåer över vilka mikroorganismer växer. För material och materialytor där mögel och bakterier kan växa skall väl undersökta och dokumenterade kritiska fukttillstånd användas. Om det kritiska fukttillståndet inte är känt ska en generell relativ fuktighet på 75 % RF användas som kritiskt fukttillstånd (Boverket 2014). Med detta som utgångspunkt har det varit önskvärt att kartlägga de kritiska fukttillstånd som gäller för hampakalk.

Mögel på byggmaterial

Mikrobiell påväxt är ett välkänt problem i fuktiga miljöer. I våra byggnader har vi ofta missfärgningar av mögel exempelvis i badrum, på fönsterbågar, på vindar och i källare (Mattsson 2004). Förekomsten av mögel på biologiska byggnadsmaterial är väl beskrivet av Mattsson (2004) och Nielsen (2002). Även utomhus på husfasader kan mikrobiell påväxt vara ett estetiskt problem vilket finns utförligt beskrivet av bl.a. Johansson (2006, 2011). Om rätt och gynnande växtvillkor finns kan man alltid hitta biologisk påväxt, men vad som är gynnande växtvillkor är olika från organism till organism. Det styrs av tillgång på näring, fukt och därtill rätt temperaturförhållande (Mattsson 2004).

Det är en interaktion av biotiska och abiotiska faktorer som styr om en organism kan leva på ett material eller inte. En avgörande faktor är den relativa fuktigheten. För byggnadsmaterial finns det ofta en kritisk relativ fuktighet (RF_{krit}) under vilket tillverkaren garanterar att mikrobiell påväxt inte kommer att äga rum. Till exempel ligger RF_{krit} för trämaterial runt 80 % (Nevander and Elmarsson 2006). Men även temperaturen spelar roll och eftersom vi inte har stationära förhållanden i våra byggnader blir även tiden hur länge det är tillräckligt fuktigt en avgörande faktor. Vissa enskilda ämnen kan hämma tillväxten av mögel, bl.a. saltförekomst kan ha den inverkan (Mattsson 2004). Många mögelsvampar är anpassade till att överleva under växlande fuktnivåer och kan överleva i sin miljö även under lång tid med ogynnsamma

växtvillkor (Gaylarde & Morton 1999). Särskilt vanligt är detta för arter som förekommer i och på byggnadsmaterial, vilka ofta utsätts för ett varierat mikroklimat över året (Johansson 2011) och det är välkänt att många typer av mögel kan växa bra på smutsiga substanser om de rätta fuktförhållandena är tillgängliga (Gravesen et al. 1994). De mögelsvampar och alger som växer på fasader är ofta pigmenterade, därför att de på det sättet kan motstå solens UV-strålar, som annars skulle kunna döda dem (Graham, Graham & Wilcox 2009).

Mögelsvampar är den gemensamma beteckningen för en heterogen grupp mikroskopiska svampar som lever på och delvis i olika näringsämnen/material (Mattsson 2004). Eftersom mögelsvampar, precis som alla andra svampar, behöver en organisk näringskälla är de inte växter och kan inte göra fotosyntes (svampar har idag sitt eget rike). Mögelsvampar kan producera rikligt med svampsporer och olika flyktiga organiska föreningar. Den viktigaste faktorn för etablering av mögel är tillgången på fukt/vatten. Olika mögel har olika krav på fukt; vissa kan leva på ett substrat med RF på 70 % och andra kan överleva långa perioder av torka (Nielsen 2002).

Den vanligaste formen av mögel som har hittats på utvändiga mineraliska fasader är den svartfärgade arten *Cladosporium*, som är en art som är mycket vanlig i utomhusluften eftersom den bryter ner döda organiska ämnen i naturen. Dessutom finns ofta en annan vanlig luftburen mögelart på bygghusfasader; *Alternaria* (Frambøl et al. 2003). Båda dessa typer är svarta, innehållandes pigmentmelanin som skyddar mot stark UV-strålning. Det har även upptäckts tillväxt av *Penicillium*, som inte har detta pigment (Johannesson 2003). Släktet *Stachybotrys* är en annan fruktad mögelsvamp som är vanligt förekommande i byggnader, speciellt på gipsskivor (Nielsen 2002). Den anses ha immunsuppressiv effekt pga. produktion av vissa mykotoxiner.

Biologisk påväxt på hampakalk

Hampakalk är ett material med både organiskt (hampaskävor) och oorganiskt innehåll (kalk). Genom kalkens höga pH förväntas den ge hampaskävorna ett skydd mot påväxt av mögel. Frågan är hur väl och hur

länge kalken skyddar hampan. Genom laboratoriestudier med gynnsamma förhållanden för mikrobiell tillväxt har tillväxtförlopp och klimatförutsättningar kunnat kartläggas.

När forskningsstudien påbörjades var det kritiska fuktillståndet för hampakalk inte känt varför ett viktigt mål med studien var att fastställa detta. I ytterväggar kan den relativa luftfuktigheten periodvis vara hög. Därför är det mycket viktigt att undersöka risken för mikrobiologisk påväxt på hampakalk och att ta reda på dess kritiska fuktnivåer. De faktiska fuktförhållanden som har uppmätts i provväggarna finns presenterade i kapitel 7 "Hampakalk för tilläggsisolering".

I den här presenterade studien har materialprover utsatts för olika relativa fuktigheter i syfte att fastställa dess känslighet för mikrobiell påväxt.

Material och metod

I studien har olika material studerats, varav två olika hampasorter, se tabell 1.

TABELL 1

Prov	Innehåll
Hampa	Hampaskävor
Hampa med kalk	Hampaskävor med ett tunt skikt våtsläckt Gotlandskalk
Hampakalk	Hampaskävor med våtsläckt Gotlandskalk
Kalk	Våtsläckt Gotlandskalk

Provkroppar, se figur 1, har tillverkats av ren kalk respektive hampakalk som syns i bilderna. Kalken som användes var våtsläckt Gotlandskalk. Hampavedämnena kom från Tyskland respektive Frankrike. Hampaskävorna har placerats löst liggande i skålar, se figur 2.

Proverna har, efter att de karbonatiserat, placerats i klimatlådor med tre olika relativa fuktigheter; 95 %, 85 % respektive 75 % RF. Dessa relativa fuktigheter kunde åstadkommas med hjälp av saturerade saltlösningar (NaCl, KCl och KNO₃).

Lådorna med tre olika RF placerades sedan i två olika klimat med konstant temperatur på 23°C. Här har de stått under en tidsperiod om 221 dagar. Proverna plockades ut i genomsnitt en gång per vecka för att studera förekomsten av mikrobiell påväxt med stereomikroskop (Olympus SZX7) med 16-64x förstoring (prover lades även i lådor vid 15°C, resultat från dessa försök presenteras i en vetenskaplig publikation).

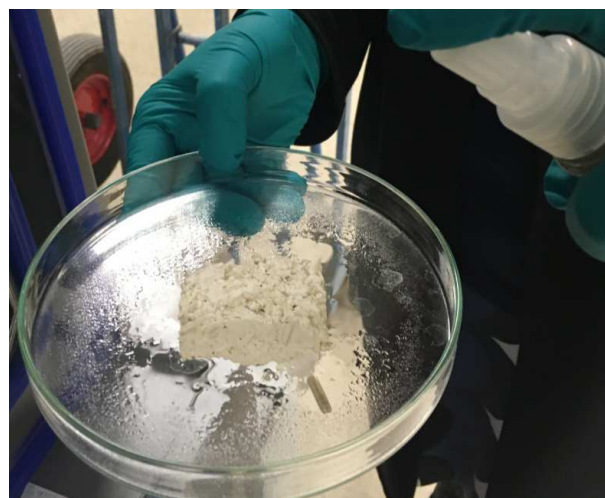
För att skapa bästa möjliga förutsättningar för påväxt (accelererat test) blev halva uppsättningen prover (i egna lådor) sprayat med en sporlösning med olika sporer (105 sporer/mL), se figur 3. I sporlösningen fanns sporer av *Penicillium rubens*, *Aspergillus versicolor*, *Trichoderma* sp. och *Cladosporium* sp.).



Figur 1. Provkropparna tillverkades en tid innan mätningen skulle påbörjas så att de hann genomkarbonatisera före mätning. Karbonatiseringen påvisades med indikatorämnet tymolblå. Foto: Paulien Strandberg



Figur 2. Provkroppar placerade i klimatlåda. Uppifrån syns hampakalk, därefter ren kalk, fina hampaskävor, grova hampaskävor och i mitten till höger hampaskävor med ett tunt kalkskikt. Foto: Sanne Johansson



Figur 3. Hälften av proverna kontaminerades med olika mögelsporer för att skapa bästa möjliga förutsättningar för tillväxt. Foto: Paulien Strandberg

Mikroskopering i stereomikroskop

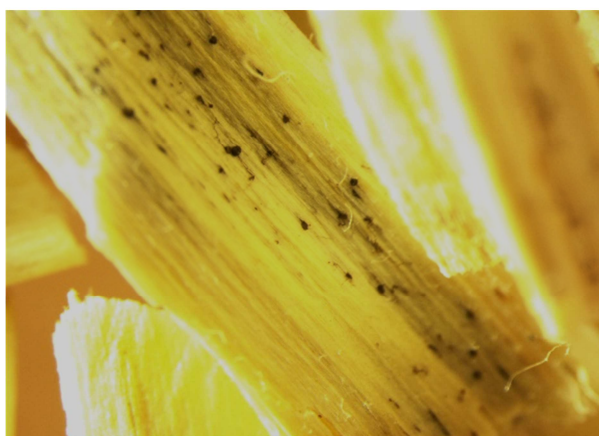
Vid det mikrobiologiska laboratoriet på Avdelningen för Byggnadsmaterial i Lund har alla prover mikroskoperats, se figurer 5-9, och förekomsten av mögel har bedömts utifrån en skala 0-4 enligt Johansson et al. (2012), se figur 4. När det var möjligt blev det även bestämt vilken mögelsvamp som växte på proverna.

- | |
|---|
| <p>0 Ingen påväxt</p> <p>1 Begynnande tillväxt, en eller några hyfer och inga konidioforer*.</p> <p>2 Sparsam men tydlig etablerad tillväxt; ofta börjar konidioforer utvecklas.</p> <p>3 Fläckvis, kraftig påväxt med många välutvecklade konidioforer.</p> <p>4 Kraftig påväxt över mer eller mindre hela ytan.</p> |
|---|

Figur 4. Förekomst av mögel (skala 0-4) enligt Johansson et al. (2012). *konidioforer är en struktur på mögelsvampens fruktkropp där sporer (konidierna) sitter.

Resultat och diskussion

Uppsättningen av provkroppar utan inokulering var ett försök på att undersöka om den (synliga) påväxt av mögel som fanns i hampan kan bli aktiv när hampamaterialet utsätts för gynnsamma växtförhållanden.



Figur 5. Här syns hur hampaved utan kalk ser ut i stereomikroskop (16x). Det svarta är mögelsvampar som växer i veden när svampen har legat blöt. Foto: Sanne Johansson



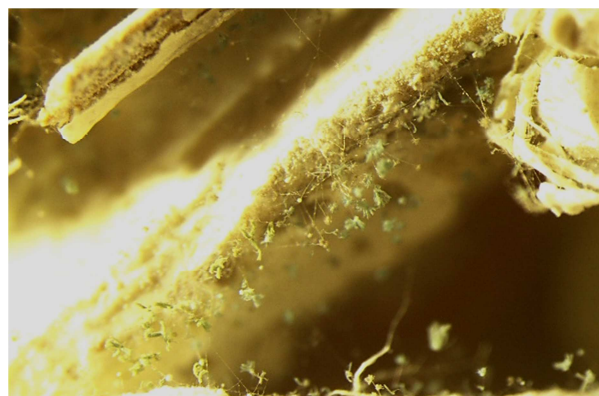
Figur 6. Kalken ligger som en skyddande hinna med kalkkristaller runt hampaveden (16x). Foto: Sanne Johansson



Figur 7. På ställen där kalken inte täckt hela ytan kan mögelsvampen (hyalina hyfer) lättare etablera sig på själva hampan (40x). Foto: Sanne Johansson



Figur 8. Efter kort tids exponering med gynnsamma förhållanden (23°C och 95 % RF) är hampan helt täckt med mögelsvampen *Penicillium* sp. (16x). Foto: Sanne Johansson

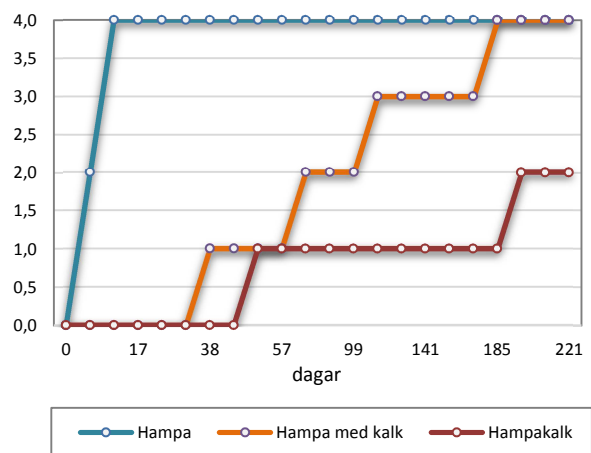


Figur 9. Efter längre tids exponering blir det även massiv påväxt av mögelsvamp (*Penicillium* sp.) på hampakalk (25x). Foto: Sanne Johansson

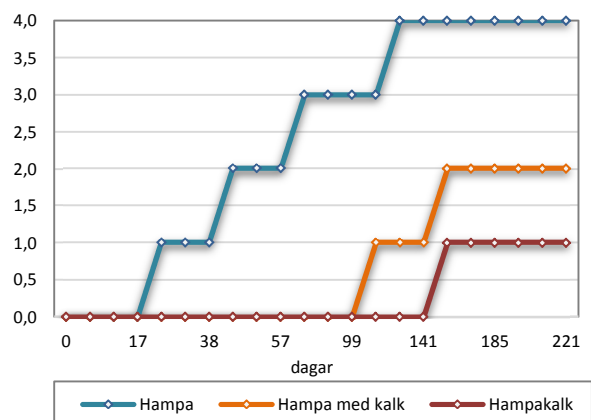
Förekomst av mögelpåväxt

Resultaten presenteras genom sex olika diagram med och utan sporinokulation vid 23°C och relativa fuktigheter 95 %, 85 % samt 75 %, se figur 10-15.

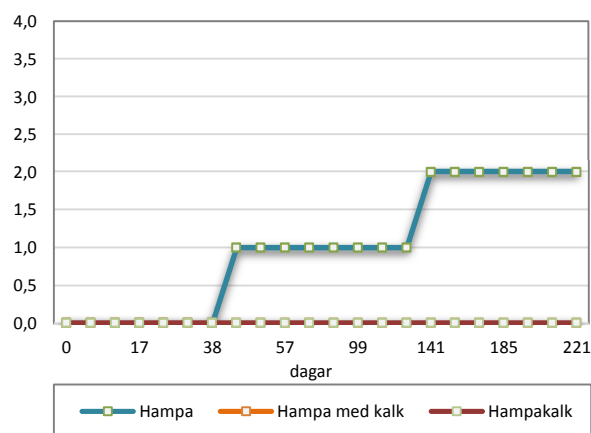
Inokulerade prover vid 23°C



Figur 10. Mikrobiell tillväxt på prover **med** sporinokulation, vid 95 % RF och 23°C.

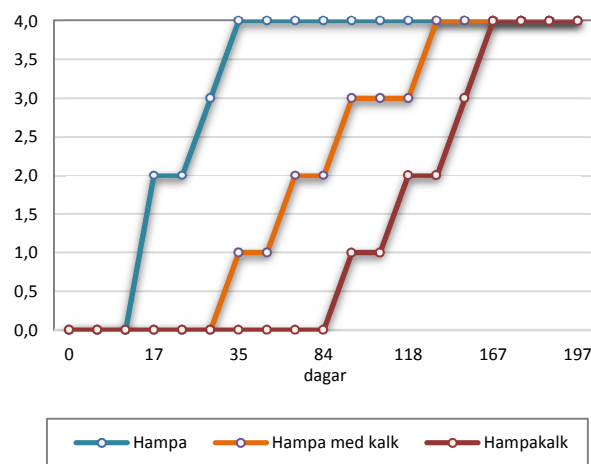


Figur 11. Mikrobiell tillväxt på prover **med** sporinokulation, vid 85 % RF och 23°C.

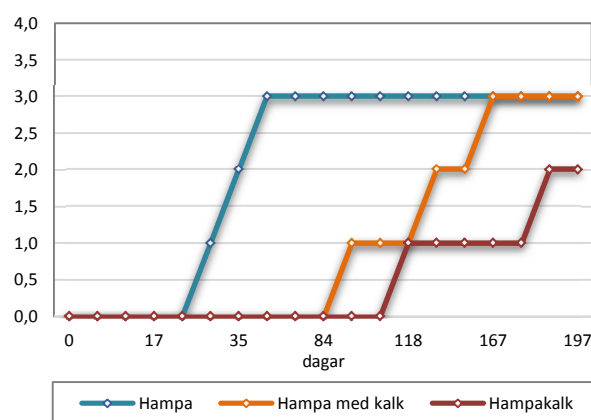


Figur 12. Mikrobiell tillväxt på prover **med** sporinokulation, vid 75 % RF och 23°C.

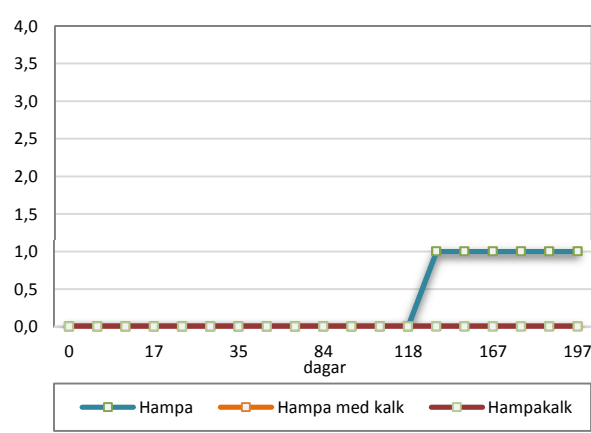
Prover utan sporinokulation vid 23°C



Figur 13. Mikrobiell tillväxt på prover **utan** sporinokulation, vid 95 % RF och 23°C.



Figur 14. Mikrobiell tillväxt på prover **utan** sporinokulation, vid 85 % RF och 23°C.



Figur 15. Mikrobiell tillväxt på prover **utan** sporinokulation, vid 75 % RF och 23°C.

Det syns mycket tydligt att kalken har en skyddande effekt på hampaskävorna vilket gjort att tillväxten av mögel fördröjts för samtliga prover jämfört med prover av ren hampa. Samtliga provresultat tyder på detta.

Vid 95 % RF påbörjar mikrobiell påväxt ganska omedelbart på hampan; det syns begynnande påväxt redan efter 4 dagar (inokulerat prov) respektive efter 10 dagar (prov utan sporinokulation) och på hampan uppnås maximal nivå på mögelskalan efter en vecka (inokulerat prov) respektive 3 veckor (prov utan sporinokulation). Däremot tar det 46 dagar (inokulerat prov) respektive efter 84 dagar (prov utan sporinokulation) innan det upptäcks begynnande påväxt på proverna av hampakalk. Men även här uppnås maximal nivå på mögelskalan, dock efter mycket längre tid än för den oskyddade hampan.

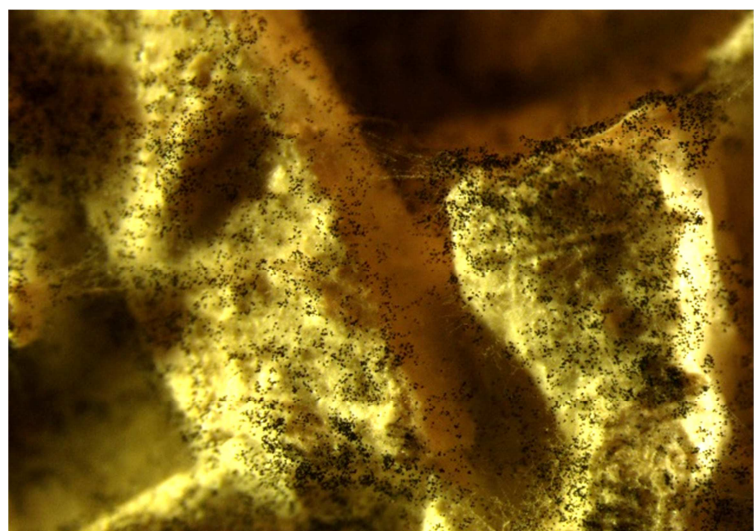
Vid 85 % RF påbörjas mikrobiell påväxt på hampakalken efter 140 dagar (inokulerat prov) respektive efter 100 dagar (prov utan sporinokulation). Detta innebär att det tar över 3 månader vid 85 % RF innan det finns en begynnande påväxt på hampakalken. På den oskyddade hampan syns däremot begynnande påväxt redan efter 17 dagar (inokulerat prov) respektive efter 24 dagar (prov utan sporinokulation). Det är värt att notera att vid denna lägre RF (85 %) tar det längre tid för mögelsvamparna att uppnå maximal nivå på mögelskalan när den växer på den oskyddade hampan än vid 95 % och på proverna utan sporinokulation hamnar vi inte på maximalnivå på mögelskalan efter 197 dagar. Både vid 95 % och 85 % RF uppnås högre värde på mögelskalan på hampakalken på prover utan sporinokulation än för prover med sporinokulation. Detta beror på att det är en annan mögelsvamp som växer (olika arter av släktet *Penicillium*).

Vid 75 % RF klarar sig både hampakalken och hampa med ett tunt skikt av kalk helt utan påväxt. Däremot finns det begynnande påväxt på hampan efter en månad (inokulerat prov) respektive efter fyra månader (prov utan sporinokulation). Att mögelsvampar har svårt att växa vid låga fuktigheter, som här vid 75 % RF, stämmer väl överens med alla andra studier (se exempelvis Nielsen 2002).

Det är intressant att notera att inga prover av ren kalk hade någon mögeltillväxt efter 221 dagar vid samtliga tre relativa fuktigheter och vid båda temperaturerna. Därför kan kalken mycket väl ha en hämmande effekt på mögelpåväxten, och därmed en skyddande effekt på hampan.

I denna laboratoriestudie har vi haft stationära förhållanden vilket inte avspeglar verkliga förhållanden utomhus. Studierna ger dock en inblick i hur väl olika byggnadsmaterial motstår mögelpåväxt under gynnsamma förhållanden. Sporinokulationen innehöll sporer från

mögelsvampar som är vanliga på byggnadsmaterial, men det var framför allt mögelsvamparna *Penicillium* spp. och *Aspergillus* spp. som växte på materialen i studien. Det fanns dock ingen påväxt av *Cladosporium* spp. som annars är ett välkänt släkte på fasader. Det kan bero på att detta släkte behöver fluktuerande fuktförhållanden för att kunna växa (Nielsen 2002). Dock hittades släktet *Stachybotrys* sp., se figur 16, på en uppsättning prover vid 15°C som hade kontaminerats från annat material i samma skåp (resultat visas inte här). *Stachybotrys* sp. växte snabbt fram och uppnådde efter kort tid till maximum på mögelskalan på hampa med kalk och hampakalk vid 95 % RF. Den växte dock inte alls på ren kalk, vilket tyder på att kalken hade en hämmande effekt på mögelpåväxten.



Figur 16. Mögelpåväxt av mögelsvampen *Stachybotrys* sp. på hampakalk vid 95 % RF och 15°C (16x). Foto: Sanne Johansson

Slutsats

Hampaved verkar ha liknande beständighet mot mikrobiell påväxt som trä. Men genom att hampan skyddas av mögelhämmande kalk klarar hampan sig dock även vid mycket högre relativa fuktigheter. Kalken har en tydligt skyddande effekt och verkar mögelhämmande, både över tid och med varierande temperatur och fuktighet.

Sammantaget kan man i denna studie se att den kritiska fuktnivån för hampakalk är uppnådd vid 85 % RF men att hampakalk klarar sig helt utan påväxt i 75 % RF.

Referenser

- Boverket (2014) "Kritiskt Fukttillstånd."
<https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/om-fukt-i-byggnader/nyproduktion--fuktsakerhetsprojektering/kritiskt-fukttillstand/>.
- Frambøl, C., Hansen, H., Østergaard, J. et al. (2003) *Renere teknologi til undgåelse af biologisk vækst på murværk, tegl- og betongtage*. Miljøministeriet, København, Danmark.
- Gaylarde, C.C., Morton, L.H.G. (1999) *Deteriogenic biofilms on buildings and their control: a review*. Biofouling 14(1): 59-74.
- Graham, L.E., Graham, J.M. & Wilcox, L.W. (2009) *Algae*. 2nd ed. San Francisco: Benjamin Cummings
- Gravesen, S., Frisvad, J.C. & Samson, R.A. (1994) *Microfungi*, Copenhagen, Munksgaard.
- Gravesen, S., Nielsen, P.A., Iversen, R. & Nielsen, K.F. (1999) "Microfungal contamination of damp buildingsexamples of risk constructions and risk materials", *Environmental Health Perspectives*, 107, 505--508.
- Johannesson, B. (2003) *Mikrobiell påväxt på fasader*. Lund: LTH.
- Johansson, P. et al (2012) Laboratory Study to Determine the Critical Moisture Level for Mould Growth on Building Materials. *International Biodeterioration & Biodegradation* 73: 23-32.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830512001230>.
- Johansson, S. (2011) *Biological growth on rendered façades*. Diss. Lund: Lunds universitet
- Johansson, S. (2006) *Biological growth on mineral façades*. Licentiatavhandling. Lund: Lunds universitet
- Mattsson, J. (2004) *Mögelsvamp i byggnader: förekomst, bedömning och åtgärder*. Oslo: Mycoteam förlag
- Nevander, L.E., & Elmarsson, B. (2006) *Fukthandbok - Praktik och Teori*. Stockholm: Svensk Byggtjänst AB
- Nielsen, K.F. (2002) *Mould growth on building materials - secondary markers, Secondary metabolites, mycotoxins and biomarkers*. PhD Thesis. BioCentrum-DTU, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.

10 Hampakalk för brandskydd på reveterade trähus

Författare: Josefin Edbladh & Joar Persson

När trähusen i Visby innerstad en gång putsades erhöill de ett värdefullt brandskydd. När huset nu har tilläggsisolerats och putsats om kan detta skydd ha upphört. Om hur beståndet i Visby innerstad riskerar att påverkas när det tilläggsisoleras och tjockputsen försvinner handlar denna artikel som jämför brandegenskaper hos olika vanligt förekommande isoleringsmaterial använda vid restaureringar i Visby.

Introduktion

Vid tilläggsisolering av äldre reveterade trähus kan ett flertal olika isoleringsmaterial användas, som underlag för ny puts. Då den gamla putsen hade brandskyddande egenskaper genom ett tjockt lager kalkbruk är det av stort intresse att även de nya material som tillförs ger byggnaden lika bra eller bättre brandskydd än tidigare. I den här studien har en jämförelse gjorts av själva isoleringsmaterialen och hur de reagerar vid brand. Arbetet har utförts vid Brandingenjörsprogrammet vid LTH i Lund. Baserat på litteraturstudier i kombination med laborationer och mätningar på materialets brandegenskaper kan slutsatser dras om hampakalkens lämplighet för tilläggsisolering på bulhus i Visby innerstad med tanke på innerstadens utformning.

Denna artikel är baserad på examensarbetet *Hampakalk – en jämförelsestudie med avseende på brandegenskaper* av Joar Persson och Josefin Edbladh, 2018.

Brandskydd i kulturmiljö

I dagens samhälle finns det så många regler kring hur byggnader ska byggas på ett brandsäkert sätt att det finns personer som jobbar med detta på heltid. Dock har detta inte alltid varit fallet då det förr i tiden inte var helt ovanligt att hela byar brann ned. De första lagarna i Sverige gällande brandsäkert byggande kom på 1280-talet och gällde bara ett fåtal städer så som Stockholm och Nyköping. Denna lag behandlade skyddsavstånd och sa att avståndet skulle vara minst 2 fot (ca 60 cm) mellan hus och att vägarna skulle vara minst 8 alnar (ca 4,75 m) breda (Albinson 2005).

År 1357 formulerades den första lagen kring brandskydd som gällde hela Sverige. Här går det att hitta regler angående släckning av bränder och försiktighet med eld. Men det finns även ett krav på passivt brandskydd gällande husen, dessa ska nämligen byggas med stengrund. Ungefär 200 år senare försökte Gustav Vasa få invånarna att bygga stenhus istället för trähus och byta sina brandvänliga halm- och trätak mot det brandbeständiga materialet tegel. Detta fanns det dock inga lagar på. Efter ytterligare 100 år, 1694, kom en lag som gjorde

att inga byggnader fick uppföras utan tillstånd, det krävdes alltså något liknande bygglov för att kunna bygga. Det var då även krav på att det skulle finnas en byggmästare som hade ansvaret för bygget och det var även denna som var ansvarig om byggandet inte gått rätt till. Det blev även förbud mot "eldfarliga byggnader och uppslag". Här fanns även regler om att städer skulle indelas i kvarter och att gator skulle vara 24 alnar (ca 15 m) breda och gränder skulle vara 16 alnar (ca 10 m) (Albinson 2005).

Stadsbränder var ett stort problem under 1700-talet så år 1763 fastställdes en byggnadsordning för Stockholm som sedan blev ett föredöme åt andra byggnadsordningar. Denna behandlade återigen gatubredden, men även vilka material husen skulle byggas i. Här skulle nämligen sten användas så mycket som möjligt och krav fanns på så kallad "riskfri takbeläggning". Det fanns även krav på brandfria vindar utan boningsrum, och om dessa skulle inredas var det krav på brandbotten. Eldfarliga byggnader skulle stå på säkert avstånd från boningshus, eldstäder skulle ha en betryggande skorstensrensning och placeras med avstånd till bjälkar och timmer (Albinson 2005).

Mot slutet av 1700-talet påbörjades ett projekt gällande en allmän brandförsäkringsfond, för att ta del av denna skulle vissa krav ställas på brandsäkerheten av den gällande byggnaden. Exempel på några av dessa krav var att halmtak helt skulle förbjudas, byggnaderna skulle vara byggda och granskas ur ett brandskyddsperspektiv, skydd mot eldfarliga och explosiva ämnen skulle finnas och tillstånd skulle även krävas vid förvaring av dessa. Detta förslag gick dock aldrig vidare till att bli en lag, men hade trots detta stort inflytande på hur brandsäkerhetsfrågan i framtiden behandlades vid byggandet av nya byggnader (Albinson 2005).

I början av 1800-talet utarbetade Allmänna Brandförsäkringsfonden direktioner för att öka brandsäkerheten för bebyggelsen. Dessa togs fram i ett samarbete mellan myndigheterna och försäkringsbolag. Det blev därefter krav på att alla städer skulle ha såväl byggnads- som brandordningar. Ny tomtreglering skulle även upprättas av landshövdingarna efter större eldsvådor och en

plankarta skulle tas fram där vägarnas bredd skulle ligga på minst 20 alnar (ca 13 m). Det var även till viss del landshövdingarnas ansvar att reglera bebyggelsen i städerna (Albinson 2005).

År 1874 kom en ny byggnadsstadga som inte längre dominerades av brandskyddskraven, nu ställdes det även krav på aspekter som hygien, estetik och kommunikation. Här får byggnadsfrågorna en egen stadga med stora anknytningar till brandstadgan. Byggnadsstadgan innehöll till exempel krav som att kvarter måste byggas på ett sätt som gör att inte släckningsarbetet försvåras vid brand, medan brandstadgan innehöll regler kring släckande brandskydd och sotning. Här var försäkringsbolag fortfarande medverkande vid beslutsfattandet och samarbetet mellan dessa och myndigheterna avtog inte förrän på 1950-talet då försäkringsbolagen inte längre medverkade (Albinson 2009).

År 1931 kom den första uppdaterade versionen av byggnadsstadgan, efter det har denna samt brandstadgan under åren utvecklats i takt med att byggnadstekniken förändrats. Denna utveckling har sedan lett fram till den Plan- och bygglag vi har idag (Albinson 2005, Albinson 2009).

Brandspridning mellan hus

En brand som startat i en byggnad kan spridas vidare till en annan på flera olika sätt, exempel på dessa är: strålning, konvektion och gnistor (Björnfot 2008).

Vid en brand avger flammorna från det brinnande objektet, och även de varma brandgaserna som bildas, värmestrålning. Genom beräkning, går det att se att det är brandens temperatur, storlek och avstånd som bestämmer hur stor den infallande strålningen blir. Om avståndet till branden är litet blir den infallande strålningen högre och ju högre brandens temperatur är, desto högre blir strålningen (Glenting 2002).

Antändning på grund av strålning är den vanligaste orsaken till brandspridning mellan byggnader. Här är den svaga punkten ofta fönster. Vid en rumsbrand i ett hus kan alltså fönster spricka och därmed släppa ut flammor som, beroende på fasadmaterial, kan antända fasaden ovanför fönstret. Grannhuset med fasaden mittemot det spruckna fönstret börjar bestrålas och beroende på material och om det regnar gnistor från den brinnande byggnaden kan detta hus också antända. Gnistorna agerar nämligen som pilotlåga och gör att det inte krävs en lika hög strålning för att materialet ska antända (Glenting 2002). För trä krävs det till exempel en strålning på 28 kW/m² för spontan antändning medan det endast krävs 12 kW/m² om en pilotlåga finns (Drysdale 2011).

Konvektion är värmeöverföring genom rörelse av en fluid, vilket i detta fall är brandgaserna från det brin-

nande huset som värmer upp en närliggande byggnad. Här är vinden en faktor som har en stor påverkan då denna kan transportera brandgaserna till ett intilliggande hus och trycka in de genom otätheter i byggnaden. Är energiinnehållet i dessa gaser tillräckligt högt kan brännbart material i denna byggnad antända. Dock skulle strålningen från brandgaserna i detta fall ha en större påverkan på brandspridningen (Glenting 2002).

Små glödande partiklar kan stiga och spridas med hjälp av varma brandgaser och när dessa gaser sedan kyls kommer gnistorerna falla ned igen och bilda ett så kallat GNISTREGN. De glödande partiklarna kan då landa på horisontella ytor, så som tak, fönsterbleck eller trappsteg, på ett intilliggande hus och starta en brand. På samma sätt kan större brinnande föremål, så som takspån eller takstickor, transporteras. Detta fenomen kallas FLYGBRÄNDER och kan sprida nya bränder på stora avstånd från originalbranden (Glenting 2002).

Eftersom värmestrålning är huvudanledningen till brandspridning, och avstånden mellan byggnaderna i Visby är korta, fokuseras jämförelsestudien på strålningsmotstånd hos isoleringsmaterialen.

Brandegenskaper hos isoleringsmaterial

De egenskaper som gör material lämpliga som isolering i en byggnad kan även göra dem lämpliga som brandskydd. Vid brandskydd i en byggnad är grundprincipen att branden inte ska växa snabbt och sprida sig från ursprungsutrymmet. Isoleringsmaterial har som uppgift att förminska värmeläckage ur byggnaden, och som följd kan det bidra till att stänga inne en brand ur värmeledningssynpunkt.

När det gäller värmestrålning är det däremot andra egenskaper som krävs som skydd. Materialet måste kunna motstå de temperaturer det utsätts för utan att antända eller på annat sätt förstöras.

För att undersöka hampakalkens förmåga att motstå brand utfördes laboratorieexperiment med olika strålningsnivåer, och resultaten jämfördes med mer konventionella isoleringsmaterial som utsattes för samma försök.

Tidigare studier av hampakalkens brandegenskaper

En undersökning om hampakalkens brandegenskaper utfördes i Australien år 2013-2014. 1100 mm² stora block med olika tjocklekar utsattes för en tid-temperaturkurva enligt den australiensiska standarden AS1530.4-2005, som är baserad på ISO834 standarden. Testet börjar på 20 °C, vilket ökar under 360 minuter till 1213 °C. Mätningar av temperatur gjordes på olika djup i kropparna, och resultat av mätningarna tyder på att kroppens totala tjocklek påverkar temperaturökningen, dvs. en tjockare

vägg av hampakalk skulle få en mer plan temperaturprofil än en smalare vägg. Testet gjordes om med två ytbeläggningar, lerputs och magnesiumoxid-bräda. Slutsatser som dras är att det verkar gå att specificera en vägg tjocklek för önskad brandklassning, och att lerputs eller MgO-bräda kan erhålla samma brandklassning för en smalare vägg (Gregor, 2014).

Material och metod

För att ta reda på hur bra materialet hampakalk mäter sig med andra isoleringsmaterial har försök valts att utföras i en konkalorimeter. Detta eftersom det då, med hjälp av en våg och termoelement, går att få ut data om materialets värmeisoleringsförmåga, massförlust, koldioxid- och kolmonoxidhalterna i eventuella brandgaser. Konen och provkroppen placeras vertikalt för att kunna bestråla materialet från sidan och bättre likna förhållanden som uppstår mellan fönster och vägg på två byggnader mittemot varandra.

Provkropparna som bestrålades har en area på 10 x 10 cm² och är 5 cm tjocka. I dessa placerades tre termoelement på djupen 2, 3 och 4 cm från materialets bestrålade yta. Hålen som termoelementen placerades i förborrades med handborrmaskin, med maskeringstejp på borsten för att markera djupet som hålet skulle vara. Markeringar gjordes även på termoelementen för att dessa skulle placeras på ett korrekt djup. För att få rätt storlek på provkropparna fick de skäras ut ur de större format de införskaffades i. Kanterna av provkroppen kläddes i aluminiumfolie för att minska randeffekter innan den placerades i en stålform. Stålformen begränsar den yta av provkroppen som bestrålas till 9,4 x 9,4 cm². När konen nått önskad strålning placeras stålformen på vågen 2,5 cm från konen och experimentet startar. Mellan provkroppen och konen finns även en gnisttändare som var igång under hela experimentet för att antända eventuella pyrolysgaser.

I figur 1 syns en provbit som förberetts och fästs i hållaren innan försök i konkalorimetern. Bilden visar provbiten, i detta fall stenullsisolering, framifrån. Här går det att se stålformen provet placerades i, provets exponerade yta samt lite av den aluminiumfolie som provets kanter klätts i. I figur 2 visas termoelementens olika placeringar i sidled i kroppen.

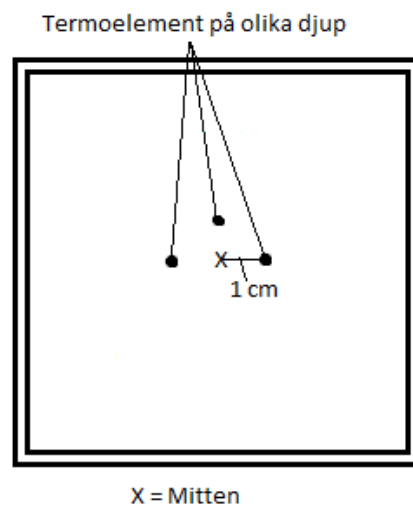
Två försök genomfördes med varje material, ett för varje strålningsintensitet. Strålningen från konen mot provkroppen ställdes in på 10 kW/m² vid ena försöket och 20 kW/m² vid andra. Försöken pågick i 30 minuter där mätningar från konkalorimetern och mätningar från termoelementen loggades varje sekund.



Figur 1. Provbit av stenull placerad i provform av stål inför försök.

För att mäta massan användes en digital våg som loggade massan en gång per sekund under försöket. Resultaten kunde sedan jämföras för att åskådliggöra hur mycket av materialet som brutits ned och "förångats".

Temperaturen mättes i tre punkter i provkroppen, vid olika djup från ytan. Resultaten jämfördes för att se hur bra materialen kan isolera de temperaturer som kan uppstå vid en brand i en intilliggande byggnad i Visby. Temperaturen mättes vid 2, 3 och 4 cm djup.



Figur 2. Placering av temperaturmätare i provkropparna sett framifrån. De olika punkterna sitter vid olika djup i materialet.

Materialen som valts, provbitarnas vikt och material-egenskaper finns i Tabell 1. Här syftar "Provbit 1" på den provbiten som används vid experimentet med strålningen 10 kW/m² och "Provbit 2" på den som används vid 20 kW/m².

Tabell 1. Massan för provbitarna av de olika materialen, samt materialens densitet och värmekonduktivitet

Material	Massa Provbit 1 [g]	Massa Provbit 2 [g]	Densitet [kg/m ³]	Värme- kondukti- vitet (λ) [W/m*K]
Träfiberisolering	19,5	18,7	40* a)	0,038* a)
Linullisolering	20,1	24,8	45 b)	0,038 b)
Cellplast (EPS)	6,2	7,2	13**	0,038 c)
Stenullisolering	62,1	69,4	130**	0,037* d)
Hampakalk	179,4	180,5	360**	-

* - På grund av informationsbrist från leverantör har värden tagits från den mest troliga källan

** - Ungefärligt värde

a – (Pavatex, 2018)

b – (Isolina, 2018)

c – (Beijer Byggmaterial, 2018)

d – (Rockwool, 2018)

Det finns flera material som kan användas vid blandning av hampakalk. Dels kan flera olika delar av hampan eller bara skäven användas, dels kan kalk framställt på olika sätt användas. Dessutom kan olika proportioner av de ingående materialen användas, och olika tillsatser kan blandas i (de Bruijn 2012). Hampakalken som använts i detta arbete har tidigare använts i ett examensarbete om akustik och blandades med följande proportioner och ingredienser:

- 7 delar hampaved
- 4 delar torrsläckt kalk
- 4,25 delar vatten

Då bulhusen i Visby har en stomme av trä bestäms strålningsnivåer från konen utifrån antändningsvärden av trä. Prover görs med två strålningsnivåer, ett över och ett under. Trä antänder generellt vid en infallande strålning på 12 kW/m², vid närvaro av en pilotlåga och då ytemperaturen på träet uppnår 350 °C. För att trä ska antända spontant (utan inverkan av pilotlåga) krävs 28 kW/m² infallande värmestrålning och 600 °C ytemperatur (Drysdale 2011). Eftersom konkalorimetertesterna genomförs med en gnisttändare sätts värmestrålningen till 10 och 20 kW/m², för att se hur materialen står emot dels en strålning lägre än vad som krävs för att antända trä, men även en som är högre. Gnisttändaren motsvarar en pilotlåga.

Strålningsnivån 10 kW/m² motsvarar värmestrålningen 3 m från en flamma som är 2,2 m hög, 0,8 m bred och har en flamtemperatur på 1050 °C, se examensarbetet för

uträkning (Edbladh, Persson 2018). Den högre strålningen motsvarar samma storlek på flamma men på 2 m avstånd och med en flamtemperatur på 1090°C. Bränder i fönster kan uppnå temperaturer av 1100°C (Drysdale, 2011). Syftet med dessa beräkningar är att kvantifiera strålningsnivåerna som valts, inte att motivera dem. Däremot kan avstånden i beräkningarna tänkas förekomma i Visby, där huset ligger tätt. Reglerna har länge ställt krav på en gatubredd på 10 m, men i det medeltida gatunätet är inte alltid detta fallet.

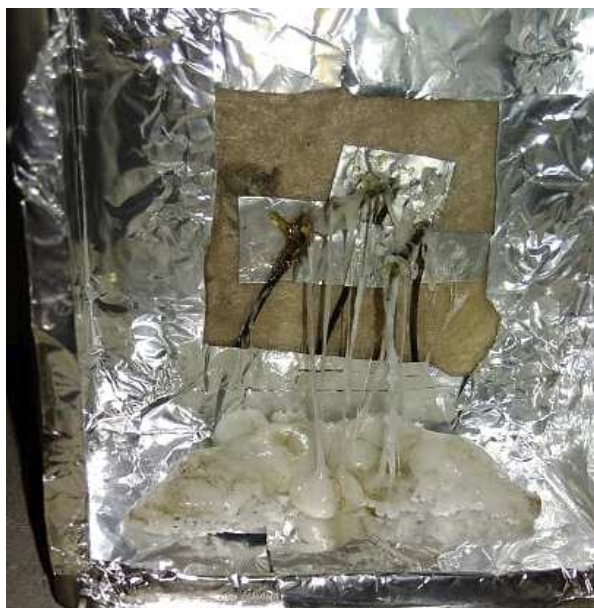
Resultat

Vid båda experimenten med stenullisoleringen syntes ingen större förändring och det syntes varken rök eller flammor. De förändringar som gick att se var att ytan blev grå.

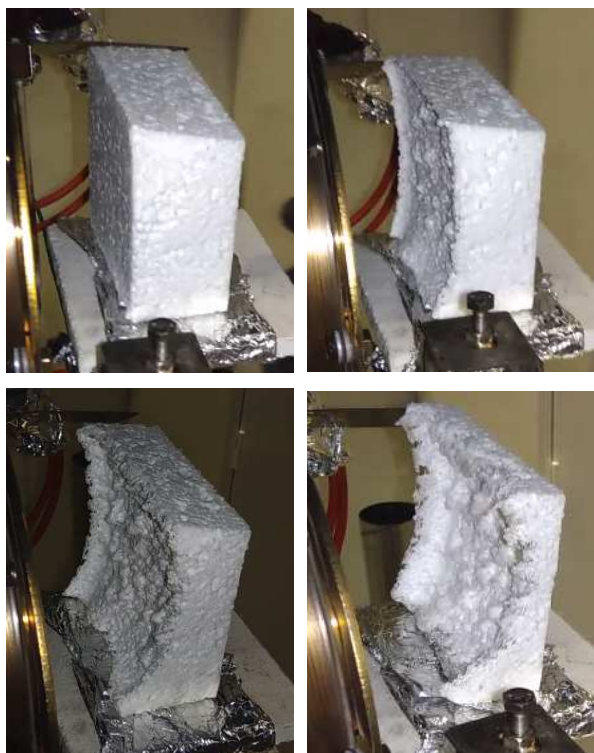


Figur 3. Provbit av stenull efter försök med den högsta strålningsnivån som testades.

Vid experimenten med cellplasten smälte materialet inom de första minuterna i båda försöken. Det gick även att se lite rök då materialet smälte. Båda provkropparna smälte till en klump av hård plast med tunna trådar av plasten som hänger från de termoelement som placerats i materialet. Det går även att se att plasten som utsatts för den högre strålningen är en mer jämn klump och något gulare än den som utsatts för lägre strålning, som ser något fluffigare och ljusare ut.



Figur 4. Provbit av cellplast efter försök med den lägsta strålningsnivån som testades.



Figur 5. Synlig sekvens av hur EPS reagerar vid direkt värme-strålning på 20 kW/m^2

För hampakalken gick det vid experimentet med den lägre strålningen inte att se varken rök eller lågor. Provbiten såg i princip likadan ut före och efter försöket bortsett från den något gulnade ytan efter. Däremot gick det att se rök från materialet vid experimentet med högre strålning. Denna rök missfärgade ytan som efter försöket blivit sotig. Provkroppen som utsatts för den lägre strålningen har fått en något gulare färg än materi-

alet hade innan experimentet, medan kroppen som utsatts för den högre strålningen fått en svart sotig yta. På bilden till höger går det även att se att soten har samlats i de hål och ojämnheter som finns på materialets yta.



Figur 6. Provbit av hampakalk efter försök med den högsta strålningsnivån som testades.

Vid experimenten med linullsisoleringen började materialet vid den lägre strålningen att ryka något. Efter försöket hade materialet svartnat rejält både vid ytan och en bit in. Vid experimenten med den högre strålningen började materialet brinna tidigt i försöket och slocknade efter att ha brunnit i ungefär en minut. Detta lämnade bara en liten hög med aska efter att provtiden var slut.



Figur 7. Provbit av linullsisolering efter försök med den lägsta strålningsnivån som testades.

Vid försöken med träfiberisoleringen började materialet i båda fallen ryka rikligt men aldrig brinna. Det som blev kvar efter båda försöken var en förkolnad och krympt bit.



Figur 8. Provbit av träfiberisolering efter försök med den lägsta strålningsnivån som testades.

Hampakalken var det material som tog längst tid att värma upp. Det höll lägre temperatur i samtliga mät-punkter än övriga material i försöken. Den högsta temperatur som uppmättes i hampakalken var 150°C. Motsvarande temperaturer var 300°C för stenullen, 670°C för träfibern, 600°C för linullen, och eftersom cellplasten smälte gick ingen temperatur att mäta.

Diskussion och slutsatser

En av orsakerna till att hampakalken värms upp långsammast tros vara det höga innehållet av vatten i materialet. Ett samband som gjordes vid jämförelsen var att hampakalkens temperaturökning stannade av vid 100°C, men förlorade som mest massa under tiden då temperaturen inte steg. Eftersom vatten har sin kokpunkt vid 100°C dras slutsatsen att värme går åt till att avdunsta vatteninnehållet istället för att värma upp materialet, vilket även förklarar den höga massförlusten. Samma fenomen verkade ske i träfiber och linull, men pga. lägre vatteninnehåll gick det betydligt fortare.

En annan anledning till hampakalkens långsamma uppvärmning tros vara den höga densiteten, som innebär att det finns mer av materialet att värma upp, och därmed kräver mer värme.

Hampakalken antände inte vid de strålningsnivåer som testades, men sotbildningen i groparna som syns i

figur 6 tyder på att någon form av förbränning har skett. Det som tros vara orsak till detta är att fria hampabitlar, som inte skyddats med kalk, har börjat glöda. Dessa har troligtvis bara förekommit i groparna, vilket skulle förklara varför sotet koncentrerats där.

De slutsatser som dras av studien är:

- Värmetransportmässigt mäter sig hampakalken bra med de andra isoleringsmaterialen i testet. Hampakalken har visat sig ha långsammast temperaturökning i samtliga försök.
- Med tanke på resultaten och tätheten i bebyggelsen i Visby, verkar hampakalk vara ett bra alternativ som isoleringsmaterial där.
- Den låga massförlusten tyder på att hampakalk inte bidrar nämnvärt till ett brandförlopp vid de testade strålningsnivåerna.

Fortsatt forskning

Nedan ges förslag på forskning som kan göras för att utöka kunskapen om hampakalks beteende vid brand.

- För att få ordentlig förståelse för hampakalks brandegenskaper krävs försök på fullskalig nivå, med en hel väggkonstruktion uppbyggd med träregelstomme och putsfasad.
- Det skulle även vara bra att göra flera försök liknande de experiment som utförts i detta arbete, med olika bitar från samma vägg. Detta för att se hur hampakalkens värmeledningsförmåga varierar, med tanke på de olika proportionerna som kan finnas lokalt i materialet.
- Hampakalk kan blandas med olika proportioner av hampa, kalk och vatten, men även med olika tillsatser. Det vore därmed bra att göra experiment på variationer av dessa blandningar, för att åskådliggöra avvikande brandbeteenden mellan blandningar.
- Det skulle vara intressant att veta hur hampakalk beter sig då det skadats på något sätt, om det till exempel uppstått en spricka eller en bit av ytan fallit bort och gjort den underliggande ytan ojämn.
- Med tanke på att hampakalk kan täckas med en fasadputs, bör det undersökas om putsen klarar av de inre spänningar som kan uppstå på grund av värmebetingade rörelser (expanding). Detta undersöks ofta för användning under normala förhållanden, men bör även undersökas för att täcka temperaturer som kan uppstå vid brand.
- Försök med högre strålningsnivåer bör göras för att få en större säkerhetsmarginal, i brandscenarier liknande de som täckts av denna rapport. Det skulle även täcka in fler brandscenarier än bara brandspridning mellan byggnader på var sin sida en gata.
- I denna studie behandlades byggnader som är aktuella för hampakalk, men enbart byggnader med fasa-

der av puts. Det kan vara intressant att även titta på hur hampakalk beter sig då det ligger under en brännbar fasad.

Referenser

- Albinson, B. (2005) *Bygglagar*. Hämtat från *Kortfattad sammanställning om brandskydd i historisk bygglagstiftning inkl. några Värmländska lokala föreskrifter*: <http://www.brandhistoriska.org/bygglagar.html> 2017-11-21
- Albinson, B. (2009) *Brandskyddet sedan medeltiden*. (S. Dahlin, Red.) Bygg & Teknik.
- Arnaud, L. & Gourlay, E. (2012) *Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes*. Lyon: Elsevier.
- Babrauskas, V. (2016) *The Cone Calorimeter*. i M. J. Hurley, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (ss. 952-977). Greenbelt: Springer.
- Benhaim, P. & Marosszeki, K. (2011) *How to build a HEMP HOUSE*. E-book.
- Björnfot, J. (2008) *Skydd mot brandspridning mellan småhus*. Karlskrona: Boverket.
- de Bruijn, P. (2012) *Material Properties and Full-Scale Rain Exposure Of Lime-Hemp Concrete Walls*. Alnarp: Swedish University Of Agricultural Sciences.
- Drysdale, D. (2011) *An Introduction to Fire Dynamics* (Third Edition uppl.). West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Dunn, V. (2017) *Fire spread basics for rookies*. Firehouse, ss. 22-25.
- Edbladh, J. & Persson, J. (2018) *Hampakalk – en jämförelsestudie med avseende på brandegenskaper*, Examensarbete, Lund: LTH
- Glenting, M. (2002) *Brand i äldre trähusbebyggelse*. Lund: Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden.
- Gregor, L. (2014) *Performance of hempcrete walls subjected to a standard time-temperature fire curve*. Melbourne: Centre for Environmental Safety and Risk Engineering, College of Engineering and Science, Victoria University.
- Grey, L. (2013) *Träfiberisolering - en livscykelanalys*. Västra Götalandsregionen: Slöjd & Byggnadsvård.
- Grundvall, M. (2016) *Hemp Built*. Göteborg: Department of Architecture, Chalmers University of Technology.
- Nilsson, H. (2017) *hnbyggnadsvård*. <http://www.hnbyggnadsvard.se/kunskap/> 2017-11-14
- Hallberg, M., Grönberg, L., Renström, J., Sellin, E., Dahlström, M., & Andersson, B. (2010) *Byggnadsordning för Visby innerstad*. Visby: Samhällsbyggnadsförvaltningen region Gotland.
- Janssens, M. (2016) *Calorimetry*. i M. J. Hurley, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (ss. 905-946). Greenbelt: Springer.
- Magwood, C. (2016) *Essential Hempcrete Construction: The Complete Step-by-Step guide* Gabriola Island, Canada: New Society Publishers.
- McLaggan, M. S. (2016) *Novel fire testing frameworks for Phase Change Materials and hemp-lime insulation*. Edinburgh: The University of Edinburgh.
- Moropoulou, A., Bisbikou, K., & Bakolas, A. (1999) *Investigation of the technology of historic mortars*. Athens: Department of Chemical Engineering, Materials Science and Engineering Sector, National Technical University of Athens.
- MSB. (2016) *Olycksutredning Brand i Gamla stan, Eksjö 2015-08-16*. Jönköping: MSB.
- Nord, J. T. (2013) *Cellulosa - en alternativ isolering med hänsyn till brand och fukt?* Karlstad: Avdelningen för enrig-, miljö- och byggt teknik, Karlstads Universitet.
- Oates, J. (1998) *Lime and Limestone - Chemistry and Technology, Production and Uses* Buxton: WILEY-VCH.
- Strandberg, P., Balksten, K., & Donarelli, A. (2017) *Sustainable insulation of historical wooden and stone buildings with lime-hemp*. i S. Amziane, M. Sonebi, & K. Charlet (Red.), *ICBBM 2017 Proceedings of the 2nd International Conference on Bio-Based Building Materials* (ss. 651-655). Paris: RILEM Publications s.a.r.l.
- Wängdahl, T. (2013) *Inomhusklimat i ett statligt byggnadsminne*. Linköping: Institutionen för teknik och naturvetenskap.

11 Hampakalk för god akustik

Författare: Viktor Källgren

Att styra och förändra ljudmiljö i kulturmiljö blir allt vanligare och viktigare. Komfort, materialval och långsiktig hållbarhet skall vägas samman. En fördjupad akustisk undersökning har genomförts av hampakalk med utgångspunkt i att det kan fungera som kompatibelt tilläggsisoleringsmaterial i byggnader med uttalade kulturhistoriska värden.

Introduktion

Inom Byggnadsantikvarieprogrammet har den kulturhistoriska värderingen berört uppfattningen av estetiska värden, hantverksmetoder, material, brukande samt en mängd olika socialhistoriska kontexter. Om ljudmiljöer och dess kulturhistoriska värden har det diskuterats sparsamt. Under denna utbildning föddes nyfikenheten på medvetandet kring de akustiska aspekterna, generellt i kulturmiljöer, men mer specifikt vid val av material i restaurering och renovering av kulturhistorisk byggnation där uppfattningar och regelverk kring ljudmiljö och kulturmiljö borde ha utrymme att diskuteras och utvecklas. Denna fundering ledde till ett examensarbete som rör ämnet materialval vid tilläggsisolering av historisk byggnation där konsekvenser uppstår i akustisk och kulturhistorisk mening; "Ljudmiljö i Kulturmiljö – Hampakalks akustiska egenskaper och tillämpbarhet i kulturhistoriskt värdefulla byggnader" av Viktor Källgren 2017.

Syftet med undersökningen var att undersöka materialet hampakalk, dess akustiska absorptions- och reduktionsförmåga för att ta reda på hur valet av hampakalk påverkar akustiska egenskaper i äldre byggnader. Det fanns inget syfte att hävda hampakalk som ett material med kulturhistoriska värden utan fokus har snarare varit på kompatibilitet med traditionella material och tekniker. Frågeställningarna blev därav följande:

- Vilka är och hur skiljer sig hampakalkens akustiska absorptions- och reduktionsvärden från vanligt förekommande material som används som tilläggsisolering och putsbärare?
- Kan hampakalk samspela med bevarandenaspekter vid restaurering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader?
- Går det att åstadkomma önskad ljudmiljö genom att tillföra tilläggsisolering i form av hampakalk som isolering och putsbärare?

För att kunna besvara dessa frågor studerades forskning om materialet hampakalk tillsammans med undersökningsmetoder i akustik. Det största arbetet och informationsinsamlingen utgjordes dock av genomförandet av de akustiska undersökningarna för att kunna få fram jämförbar data på materialets akustiska förmåga.

För mätning av absorption gjöts små provkroppar för att kunna passa mätutrustningen på akustiklabbet på Tyréns i Stockholm. För att kunna få data på materialets akustiska reduktionsförmåga så byggdes en vägg anpassad för undersökningen som utfördes på LTH, teknisk akustik.

Denna artikel baseras på beskrivet examensarbete och visar på hur hampakalk i vissa fall kan fungera som ett gott exempel där hållbarhetskraven är höga och utseende och uttryck skall bevaras.



Figur 1: Akustikskivor för applicering hängande i tak. Är hampakalk ett alternativ till invändig akustikbehandling i känsliga miljöer?

Ljudmiljö i kulturmiljö

Höga krav ställs på inomhusmiljöer i dag då krav på komfort, hälsa och mål för energibesparing har blivit ett resultat av medvetenheten av välmående samt gemensam påverkan på miljön. I termer som termisk komfort, akustisk komfort, tillgänglighet och anpassning görs idag ingrepp och ändringar på befintlig byggnation för att uppnå dagens satta standarder efter brukarens önskemål och gällande lagstiftning.

I den akustiska inriktningen gällande ljudmiljö finns satta krav på komfort men det får sällan plats i diskussionen kring kulturmiljöer. Att börja diskutera frågor som autentisk ljudmiljö eller uppfattad ljudmiljö som värdebärare i historiska byggnader kan behöva en förberedande medvetenhet kring olika materials påverkan av ljudmiljöer. Denna medvetenhet tillsammans med kun-

skap om olika materials samverkan med vanligt förekommande material i traditionell byggt teknik är till nytta när en byggnad skall förändras utifrån komfort och bevarandeaspekter.

Denna studie ingår i ett större forskningsprojekt där materialet hampakalk studeras utifrån kompatibilitet, komfort, energiförbrukning, saltvittring, mikrobiologisk aktivitet och brand – alla egenskaper som måste viktas vid val av material inom restaurering och hållbart bygande. Undersökningen vänder sig därför mot konstruktioner där materialet hampakalk kan utgöra ett alternativ till vanligt förekommande material. Fokus ligger på hampakalkens akustiska egenskaper där kunskap om dem kan agera som hjälpmedel vid avvägning i materialval vid restaurering eller renovering.

Vid styrning av ljudmiljön ställs också olika krav utifrån byggnadens användningsområden och funktion. I tabell 1 illustreras vanliga ljudkällor och reduktionstal för byggnadsdelar att förhålla sig till.

Tabell 1: Tabellen redovisar reduktionsvärden och vanligt förekommande ljud som vägs mot människans genomsnittliga uppfattningsförmåga av ljud (Källgren 2017).

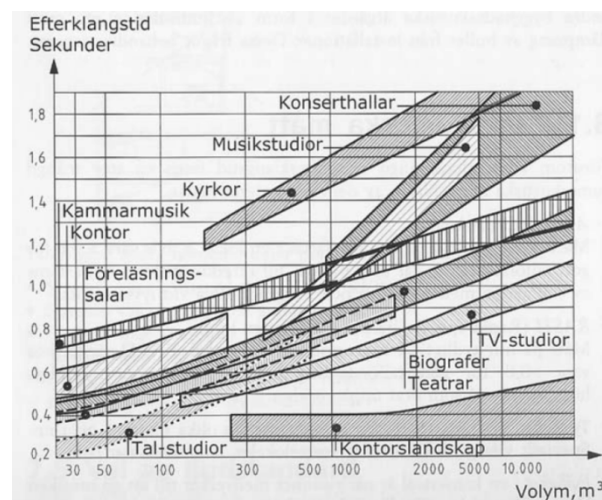
R _w för byggnadsdel	Normal kontorsutrustning	Normalt samtal	Hög-röstat samtal	Skrik	Tv, radio, stereo	Disco
25 dB						
30 dB	Hörs	Hörs				
35 dB						
40 dB	Kan höras	Kan höras	Hörs			
44 dB			Kan höras	Hörs		
48 dB					Hörs	
52 dB				Kan höras		
56 dB					Kan höras	
60 dB	Störs ej	uppfattas ej	uppfattas ej	Hörs ej	Hörs ej	Hörs

Om ljud och akustik

Ljud eller oljud har vi omkring oss dygnet runt och det består enkelt uttryckt av tryckförändringar i luften. Ljudets styrka mäts i den logaritmiska skalan decibel (dB). Olika frekvenser i ljudtrycket innebär olika våglängder och avser hur många ljudvågor som träffar din trumhinna per sekund. Människans öra har inte en linjär uppfattning av olika frekvenser utan uppfattar olika frekvenser olika starkt fast frekvenserna har samma ljudtryck (styrka).

Akustik – läran om ljud – (Bodén m.fl. 1999) innebär den sammansatta kunskapen om alla former av ljud, även det som är utom människans hörbara område. I undersökningen så behandlas framförallt frekvensområden av ljud som för en människa går att urskilja (30-20 000 Hz) och hur dessa ljudfrekvenser förändras av det undersökta materialet.

Mål för ljudmiljöer har en stor akustisk bredd där olika förutsättningar och mål gör att uppfattningen av miljöer kan verka mycket olika. I kyrkor och konsertsalar så vill man att det skall finnas en lång efterklang medan på kontor eller bibliotek så arbetas det med en mer dämpad akustisk miljö för att uppnå komfort och trivsamhet.



Figur 2: Diagrammet ovan illustrerar lämpliga efterklangstider i olika miljöer. Här kan vi utläsa att mängden av absorption måste anpassas till vilken typ av ljudmiljö man är ute efter. Om det t.ex. absorberas för mycket ljud i en kyrka eller konsertsal så förlorar dessa miljöer sina förväntade akustiska egenskaper.

Akustisk absorption

Att absorbera ljud innebär förenklat att ljud dämpas på olika sätt. Ett enkelt sätt att själv kunna förstå att ljudvågor absorberas i t.ex. mjuka och porösa material är när den första pudersnön har lagt sig utomhus och uppfattningen av att kvarteret är varmare/dovare beror på att snön absorberar mycket av det ljud som annars studsar på den hårda asfalten.

I arbetet med att absorbera ljud för att uppnå specifika ljudmiljöer så används framförallt två olika sätt. Det första är resonansabsorption och det andra är det som undersökningen inriktar sig på, porös absorption. Akustisk porös absorption innebär att när ett infallande ljud träffar ett medium/material så dämpas en viss del av ljudet beroende på materialets karaktär och sammansättning. Porösa, luftiga och flexibla material som mineralull och stenull är goda absorbenter och används i installationer och som ingrediens i akustikputs för att nå önskade akustiska egenskaper. Dessa mineralbaserade isoleringsmaterial består av sten eller glasfiber som slumpmässigt placerats ut lager på lager parallellt med materialets yta. Viskösa friktionskrafter bildas i dessa fibrer som vid infallande ljud omvandlar ljudets energi till värme. Detta ihop med materialets förmåga att jämna

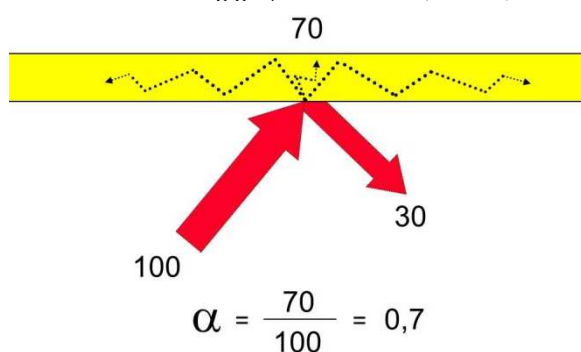
ut de temperaturfluktuationer som skapats av ljudet, utgör delar av materialets goda akustiska absorptionsförmåga.

Hur effektivt ett materials akustiska absorptionsförmåga är styrs av flera faktorer. Det utgår från materialets porositet, strömningsmotstånd, elasticitet och genomsläpplighet. Det måste även ha tillräcklig tjocklek för att få erforderlig massa som krävs för att reducera energin i ljudvågorna.

När ljudenergi märkbart absorberas utanför en laborationsmiljö så innefattar det ofta att man finner sig i en relativt sluten rymd såsom ett rum, hall, sal eller annan miljö som tillåter ljudet att studsas. För att behandla akustiken i en sådan miljö så spelar storleken på det givna rummet roll, liksom summan av de olika yt-material som finns placerade i rummet på väggar och golv mm.

I den här studien har fokus varit att undersöka materialet hampakalk i sitt utförande som gjutet block eller som tilläggsisolering. Sökandet efter faktisk data på hur effektivt materialet absorberar akustiska vågor kan leda till att lättare kunna förutse den akustiska följden av användandet av materialet i olika miljöer.

Ett materials akustiska absorption anges i en ljudabsorptionskoefficient vilket är ett värde mellan 0-1. Ett värde på 0 innebär en total reflektion av infallande ljud och därmed ingen absorption. Ett värde på 1 innebär total absorption och innebär att materialet absorberar allt inkommande ljud (ingen reflektion). Olika frekvenser absorberas olika mycket av samma material där långvågiga ljudfrekvenser (bas) är svårare för ett material att absorbera än kortvågiga ljudfrekvenser (diskant).



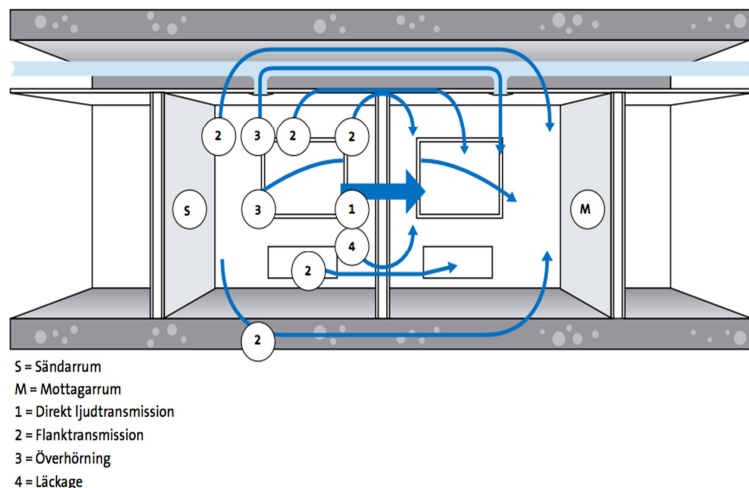
Figur 3: 100 % ljudinfall där väggen/materialet absorberar 30 % och ger ljudabsorptionsfaktorn 0,7.

Akustisk reduktion

För att undersöka hampakalks förmåga att reducera luftburet ljud så gjordes undersökningar i LTHs akustiska labb och nedan förklaras kort vad akustisk reduktion innebär.

Med akustisk reduktion menas i denna artikel luftljudsisolering vilket innebär ett materials eller konstruktions förmåga att reducera luftburet ljud.

Det motstånd ett ljud möts av i sin framfart så att transmissionsförlust av ljudet uppstår gör att ljudet reduceras vid sin genomfart av t.ex. ett material och förlusten i ljudenergi (dB) kan då anges i ett reduktionstal.



Figur 4: Ljud kan transmittas på flera olika sätt i en byggnad, genom och via olika material. Denna reduktionsundersökning avser endast reduktionen i den direkta ljudtransmissionen.

Vid mätning i labbmiljö så används ett vägt reduktionstal (Weighted Sound Reduction Index) där ett värde ges av flertalet reduktionsmätningar på olika frekvensband mellan 100 och 3150 Hz och anges i R_w .

I denna undersökning hanteras hampakalkens akustiska reduktionsförmåga som fristående material. Detta för att kunna använda data från reduktionsmätningar för att kunna applicera i digitala akustikverktyg där sammanslagningar av olika materials reduktionsförmåga kan adderas för att ge resultat av ett materials egenskaper i en konstruktion.

För de flesta homogena material följer överföringen av ljud kraftlagen vilket resulterar i att ju massivare ett material är (hög densitet) desto bättre ljudreducerande egenskaper har det. För tunnare material eller material som befinner sig i ett lagersystem (sandwichkonstruktion) så tillämpas Hooke's lag om fjäderkraft där mjuka eller porösa högabsorberande material (ofta mineral- eller stenull) används som dämpande fjäder i en dubbelbladig konstruktion. Denna ljudreducerande effekt som är vanliga i byggnadskonstruktioner som kan öka reduktionen 5-10 dB samspelar med den termiska isoleringsförmågan som ofta är det primära syftet med konstruktionslösningen.

Data på akustiska reduktionsvärden av hampakalk som eget material kan inte jämföras med reduktionen av en färdig konstruktion utan ställer sig som material i samma position att jämföras med mineralull eller cell-

plast som egna material. Ett framtida behovs finns av akustiska undersökningar som innebär mätningar på konstruktioner som har hampakalk som isolering för att kunna förutse samverkan av material.

Material och metod

Mätningarna kan delas in i absorptionsundersökning och reduktionsundersökning. De akustiska mätningar som genomfördes för undersökningen utfördes under våren 2017 i labbmiljöer under observation av Juan Negreira, doktorand vid teknisk akustik på Lunds tekniska högskola samt vid Tyréns med hjälp av Philip Zalya.

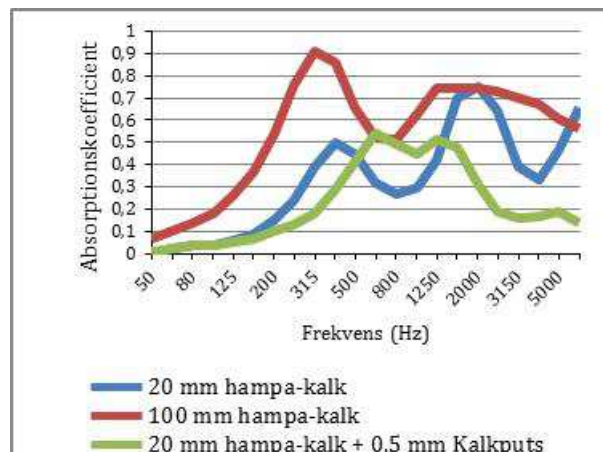
Akustisk Absorptionsundersökning

För att mäta den akustiska absorptionen så gjöts fyra testkroppar för att passa labbutrustningen på Tyréns akustiska laboratorium.

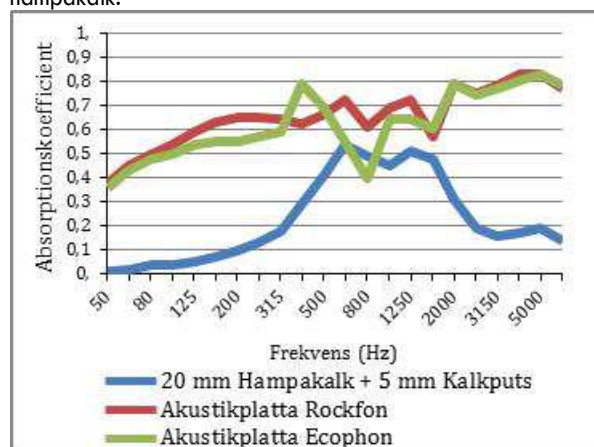
Då parallell forskning utfördes på hampakalk i andra materialtekniska egenskaper i form av tilläggsisolering av Strandberg och Balksten så användes samma recept på hampakalken som utgjorde grunden för dessa undersökningar. Enligt detta recept blandades kalkpasta och hampa i lika delar 1:1. Kalkputsen som applicerades på två av provbitarna gjordes med samma Gotlandskalk och sand med blandningsförhållandet 1:2 samt vatten till den konsistensen då bruket stannar kvar på murarsleven när den vänds uppochner. Provkropparna som gjöts av hampakalk, fick torka ur i 10 dygn och utformades för att motsvara olika konstruktioner:

- Tjocklek: 100 mm, Diameter 100 mm.
- Tjocklek: 20 mm, Diameter 29 mm. + 0,5 cm Kalkputs
- Tjocklek: 100 mm, Diameter 29 mm.
- Tjocklek: 20 mm, Diameter 100 mm. + 0,5 cm Kalkputs.

Anledningen till att provkropparna har olika diametrar är att provkroppar med diameter 100 mm avser absorptionsvärdet för akustiska frekvenser inom området 50 till 1500 Hz och att provkroppar med diameter 29 mm avser absorptionsvärdet för det akustiska frekvensområdet 500 Hz till 6,5 kHz. Mätresultaten redovisas i diagram där spannet på frekvenser som överensstämmer med mätningensstandard utgör x-axeln och absorptionskoefficienten utgör y-axeln.



Figur 5. Diagrammet visar absorptionskoefficienter inom frekvensområdet 50-6300 Hz för de gjutna kropparna av hampakalk.



Figur 6: Diagrammet visar absorptionskoefficienter inom frekvensområdet 50-6300 Hz för 20 mm hampakalk + 5 mm kalkputs samt för akustikplattor och akustikputs. Akustikputsen innehåller sin absorberande egenskap genom innehållet av stenull. Akustikplatta Ecophon innehåller sin absorberande effekt av sitt innehåll av glasfiberull.

Akustisk Reduktionsundersökning

Det akustiska luftljudslaboratorium på LTH och standarden som mätningen utförts enligt kräver en testvägg av en totalyta på 10 m² med dimensionerna 4000 x 2500 mm liggande. För lättare flytt av testkropp så delades gjutningen upp i fyra sektioner à 2000 x 1250 mm. Tjockleken på testväggen är anpassad efter tjockleken på konstruktionsreglar (95 mm) och nära den tjocklek som appliceras på forskningsprojekts väggar som reveterats med hampakalk (Strandberg & Balksten 2019).



Figur 7: Bild på momentet när modulerna monteras på plats i luftljudslaboratorium på LTH. De fyra modulerna tätades med akrylfogmassa mellan varandra och till angränsade mellanrum i väggen för att minimera felaktiga mätvärden på grund av luftläkage mellan mottagar- och sändarrum.

Proportioner av ingredienser för hampakalk till reduktionsundersökningen bestämdes på plats i samråd med Strandberg och är något blötare och innehöll mer bränd kalk än testkropparna för absorptionsundersökningarna. Detta för att försäkra sig om att de stora testkropparna skulle kunna hålla upp sig själva och för att blandningsförhållandet samspelar med Strandbergs pågående forskning.

Blandningsförhållandet av hampakalk som användes i reduktionsundersökningen: 7 delar hampaved, 4 delar torrsläckt kalk samt 4,25 delar vatten. För undersökningens strama tidsplan så fick modulerna torka i 20 dagar innan mätningar utfördes. Vetskapen om att kvarvarande fukt i de gjutna väggarna kanske inte har lämnat materialet vid genomförandet av de akustiska mätningarna noterades men har inte mätts.

Fyra mätningar genomfördes för att kunna erhålla ett medelvärde för resultatet. Den akustiska reduktionen undersöktes genom att mäta upp den akustiska effektkvoten genom väggen. Kvoten genom väggen beskrivs genom ett reduktionstal R (Nilsson m.fl. 2005):

$$R = L_s - L_m + 10 \log (S/A)$$

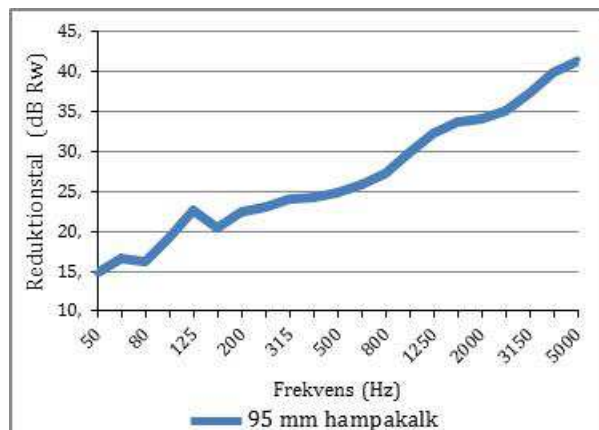
där

L_s = ljudtrycksnivån (i dB) i sändarrummet

L_m = ljudtrycksnivån i mottagarummet

S = skiljeväggens area (hampakalk)

A = absorptionsarea



Figur 8: Diagrammet ovan redovisar resultaten av den akustiska reduktionsförmågan av 95 mm hampakalk i olika frekvenser.

I diagrammet ovan kan utläsas att 95 mm hampakalk reducerar ljud i ett område mellan ca 15 och 40 dB i olika frekvenser. Som väntat reducerar materialet sämre i lägre frekvenser då våglängden av låga frekvenser lättare får materia att flytta med i vågrörelser där böjstyvheten i materialet avgör reduktionen tillsammans med materialets massa. Enligt denna undersökning så är det vägda reduktionstalet 30 dB för 95 mm hampakalk enligt ISO 717-1. Det innebär att hampakalk behöver kombineras med andra material i konstruktionen för att uppnå en bra reduktion av ljud. Som tilläggsisolering ska det samverka med antingen en bakomliggande styv stomme av sten/tegel eller trä samt med en täckande lufttät kalkputs varför detta då skall vägas samman.

Diskussion och slutsatser

Resultaten av de akustiska materialundersökningarna kan användas i materialtekniska beräkningar för att förutse hampakalkens akustiska effekter eller konsekvenser vid användning som putsbärare eller som isolering. Materialet har bland annat porösa egenskaper som ger en absorptionsförmåga som kan användas för att optimera eller justera akustiska miljöer och kan i akustisk mening konkurrera med moderna putsbärare. För användning i inomhusmiljöer så är den akustiska absorptionen mer effektiv för hampakalk som putsbärare än trä eller sten och kan innebära att akustisk komfort skulle kunna uppnås med mindre antal akustiska installationer (absorbenter/akustiskskivor/ akustikputs).

Materialets akustiska reduktionsförmåga begränsas av den låga elasticiteten där den fjäderdämpande effekten inte är lika effektiv som för fiberullsmaterial. Reduktionsegenskaperna som uppnås görs via materialets egen massa och densitet där blandningsförhållandet mellan kalk och hampa i materialet skulle kunna resultera i avsevärda skillnader i reduktionsförmåga. Resultaten av

dessa reduktionsundersökningar kan användas i beräkningen när materialet ska användas som isolering i reve-tering eller tilläggsisolering då den akustiska barriären mellan ute och inne bör kunna förutses i en projektering.

Till en början var ambitionen med denna undersökning att använda en naturvetenskaplig bas med akustiska undersökningar för att öppna upp diskussionen kring autentiska ljudmiljöer. Jag spekulerade i om vetenskapliga mätvärden kunde jämföra och motivera materialval som å ena sidan inte har någon materialhistoria att luta sig mot men å andra sidan innehar andra tekniska aspekter som är viktiga vid hantering av byggnader med kulturhistoriska värden. Som sådant kan det fungera som en katalysator för att diskutera akustisk i kulturhistoriska miljöer. Denna undersökning är en möjlig början till att kunna diskutera ljudmiljöer i kulturmiljöer med material och konstruktionslösningar som anpassas utifrån en rad olika aspekter och egenskaper.

De akustiska undersökningar som hampakalk har blivit utsatt för i detta arbete har gett jämförbara absorptions- och reduktionsvärden som kan ställas mot moderna material och tekniker som av standard används vid både tilläggsisolering och akustisk behandling i dag. Att öppna frågan för både önskad ljudmiljö och för antikvariska målsättningar medför en möjlighet att kunna följa satta standarder och lagar på ett varsamt sätt.

Hampakalk är med sin ekologiska status, sin tekniska samt mekaniska styrka ett alternativ till vanliga isoleringsmaterial som brukas inom byggnadsvården i dag. I jakten på god och hälsosam ljudmiljö i kulturhistoriskt värdefull byggnation så kan kunskapen om hampakalkens akustiska egenskaper öppna för en större förståelse för vikten av materialval i det akustiska området i aspekter som hälsa, arbetsmiljö, användarvänlighet eller verktyg för historiskt berättande. Materialet hampakalk presterar i akustisk mening bra om man är ute efter ett relativt absorberande material, som utanpåliggande isolering eller som putsbärare och kan med sin breda funktionalitet konkurrera med de redan etablerade materialen, särskilt genom sin kompatibilitet ihop med material i känsliga miljöer samt som god putsbärare av kalkputs.

Tack

Tack till Philip Zalya och Tyréns AB för hjälp med utrustning och teknisk expertis. Tack till Delphine Bard och Juan Negreira på Teknisk Akustik LTH för tillgången till akustiklaboratoriet, akustisk expertis och utrustning. Ett stort tack till Paulien Strandberg-de Bruijn och Bengt Nilsson (in memoriam) på Avdelningen för byggnads-material LTH för hjälp med material och tillgång till

betonglaboratoriet samt till Kristin Balksten för god handledning.

Referenser

- Bevan R. Woolley T. (2008) *Hemp Lime Construction - A guide to building with hemp lime composites*. HIS BRE Press. ISBN 978-1-84806-033-3. Watford.
- Bruijn Paulien de, (2012) *Material Properties and Full-Scale Rain Exposure of Lime-Hemp concrete walls*. Measurements and Simulations, Doctoral Thesis, SLU.
- Demker Axel (2008) *Ljudlandskap i Kulturmiljöer*. Kandidatuppsats, Institutionen för kulturvård Göteborgs universitet, Göteborg,.
- Dictionary.com. *Hookes law*
<http://www.dictionary.com/browse/hooke-s-law>. Hämtad 2017-03-22.
- Jacobsson H, Truesson H. (2013) *Frefabricerade väggelement av hampabetong*. Examensarbete, Halmstads Universitet. Halmstad..
- Klang F. (2016) *Material och uppbyggnad vid renovering av reveterade skiftesverk. En analys ur fuktsynpunkt*. Examensarbete 15 hp. Institutionen för teknikvetenskaper, Tillämpad mekanik, Uppsala universitet.
- Källgren, Viktor (2017) *Ljudmiljö i Kulturmiljö – Hampakalks akustiska egenskaper och tillämpbarhet i kulturhistoriskt värdefulla byggnader*. Examensarbete i kulturvård, 15 hp. Visby: Uppsala universitet
- Nilsson E. Johansson A-C. Brunsog J. Sjökvist L-G. Holmberg D. (2005) *Grundläggande Akustik*, TVBA-3116, Tredje upplagan, Lund,.
- O'Dowd J. Quinn D. (2015) *An Investigation of Hemp and Lime as a Building Material*, Bachelor of Engineering. Department of civil engineeringUniversity College Dublin..
- Riksantikvarieämbetet *Vad är kulturmiljö?*
<http://www.raa.se/kulturarvet/kulturpolitik/daochnu-att-bevara-anvanda-och-utveckla-kulturmiljon/vad-ar-kulturmiljo/>. Hämtad 2017-05-03.
- Saarne M. (2005) *Utredning av ljudabsorption hos spaltpanel - Mätning i efterklangsrum*, Thesis for the Degree of Master of Science Civil Engineering, KUNGLIGA TEKNISKA HÖGSKOLAN, Institutionen för Byggetenskap. Stockholm.
- Stanwix W. Sparrow A. (2014) *The hempcrete book. Designing and building with hemp-lime*. UIT. Cambridge..
- Swedish Standards Institute. Byggakustik - *Ljudklassning av utrymmen i byggnader - Bostäder*. STD-22693.
- Swedish Standards Institute. Akustik - *Bestämning av ljudabsorptionsfaktor och impedans i impedansrör - Del 1: Metod med stående våg* (ISO 10534-1:1996). 2001.
- Swedish Standard Institute. Byggakustik - *Mätning av ljudisolering hos byggnadselement i laboratorium - Del 1: Produktspecifika provningsmetoder* (ISO 10140-1:2016, IDT). 2016.
- Sällström P.M. (2000) *Att studera ljud och arkitektur*. Nordisk arkitekturforskning.

Bildkällor

- Tabell 1: <http://gyproc.se/sites/gypsum.nordic.master/files/gyproc-site/document-files/HB8-4.1.pdf> s. 459
- Figur 1: <https://www.paroc.se/-/media/images/products/parafon-decibel-35-open-ceiling-edgea-9566287.jpg>
- Figur 2: www.akustik.lth.se/fileadmin/tekniskakustik/education/F5_-_Ljudabsorption.ppt
- Figur 3: källa: <http://www.ljudskolan.se/ljudfakta/vad-ar-ljudabsorption/>
- Övriga figurer: Viktor Källgren

HAMPAKALK

Tilläggsisolering på reveterade trähus och saltskadat tegelmurverk

Redaktörer – Kristin Balksten & Paulien Strandberg-de Bruijn

Hampakalk är ett biobaserat material som i sin moderna form utvecklades under tidigt 1990-tal, bestående av hampaved och kalk. Det bygger på en ålderdomlig byggteknik där man blandar fiber med bindemedel och får ett byggnadsmaterial som kan fungera för gjuthustekniker, som byggblock, för inre putslager mm. Projektet som presenteras här har fokuserat på hur hampakalk kan användas för tilläggsisolering och därmed bidra till energieffektivisering och ökad komfort vad gäller värme, fukt, akustik och brand. Genom fallstudier och fullskaleförsök har projektet undersökt hur det fungerar som ett kompatibelt material på ett byggnadsbestånd med höga kulturhistoriska värden. Utgångspunkten har varit det stora bestånd av reveterade bulhus som finns i Visby men också de många massiva tegelmurverk som finns runtom i Sverige varav flera är saltskadade.

Resultaten är spännande – hampakalk har visat sig ge god förbättring av komfort, energibesparing, brandskydd och akustik. Hampakalk kan väl kombineras med befintliga konstruktioner och traditionell kalkputs vilket kan ge ett oförändrat utseende till byggnader där materialval innebär en viktig bärare av kulturhistoriska värden.

Denna antologi är resultatet av två forskningsprojekt finansierade av Energimyndigheten genom forskningsprogrammet Spara & bevara. Projektet har drivits som ett tvärvetenskapligt samarbete mellan Avdelningen för Byggnadsmaterial, LTH, Lunds Universitet och Kulturvård, Campus Gotland, Uppsala universitet.



Energimyndigheten



LTH
LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA



**UPPSALA
UNIVERSITET**
CAMPUS GOTLAND

Avdelning Byggnadsmaterial
Lunds Universitet
Lunds Tekniska Högskola
P.O Box 118
SE-221 00 Lund, Sweden
www.byggnadsmaterial.lth.se

Kulturvård
Campus Gotland
Uppsala universitet
Cramérgatan 3
SE-621 57 Visby, Sweden
www.konstvet.uu.se/kulturvard

ISBN 978-91-7895-034-8 (print)

ISBN 978-91-7895-035-5 (pdf)