

Karbonatisering i kalkputs

- hur hantverksmetoder kan påverka processen

Mikel Thorstensen

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i
Kulturvård, Bygghantverk
22,5 hp
Institutionen för kulturvård
Göteborgs universitet

2018



Titel
Karbonatisering i kalkputs – Hur hantverksmetoder kan påverka
processen

Författare
Mikel Thorstensen

Handledare: Jonny Eriksson

Examensarbete, 22,5 hp
Bygghantverksprogrammet

UNIVERSITY OF GOTHENBURG
Department of Conservation
Box 77
SE-542 21 Mariestad, Sweden

www.conservation.gu.se
Tel +46 31 786 00 00

Program in Conservation, Building Crafts
Graduating thesis, 2018

By: Mikel Thorstensen
Mentor: Jonny Eriksson

Uppsatsens titel på engelska

Carbonation in lime plaster - how craft methods can affect the process

ABSTRACT

This thesis illustrates how the rate in which carbonation occurs in plasters with air-lime mortars can be affected by different surface structures and by the application of water as an after treatment over time. In the first part of the study, the rate of carbonation in the plaster has been examined and compared with three different surface structures. The second part of the study has examined and compared how the application of water with different intervals in two plasters has affected the carbonation rate. These studies have been carried out by applying a pH indicator (phenolphthalein) into holes drilled in the plaster with regular intervals. The indicator has shown the extent of the process by coloring the uncarbonated areas inside the plaster. Measurements have then been made from the surfaces of the plaster to the colored area and the depth recorded, those records have been compiled to make up the results. The results of the first part of the survey on how the processing of plastered surfaces affects the carbonation rate shows an indication of the most open textured of the plasters being carbonated the fastest. The other two plasters (one having a more closed surface – one having a more closed surface but slightly roughened) showed indications of being simultaneously carbonated at the final measurements. However, the slightly roughened plaster showed a greater carbonation depth faster than the more closed textured one. The results from the second part of the survey, regarding how after treatments by water application affects carbonation, indicates that both plasters being tested were equally carbonated at the final measurements and that both showed a consistent and similar depth of carbonation at previous measurements.

Title in original language: Karbonatisering i kalkputs – Hur hantverksmetoder kan påverka processen

Language of text: Swedish

Number of pages: 23

Keywords/Nyckelord: Carbonation, carbonation rate, air-lime, craft, plaster. / karbonatisering, karbonatiseringshastighet, luftkalk, hantverk, puts.

Förord

Som studerande på bygghantverksprogrammet med inriktning mureri, institutionen för kulturvård vid Göteborgs universitet, har jag under åren 2015-2018 deltagit i undervisning om historiska mur- och puts tekniker. Stort fokus har legat på kalk och dess roll som bindemedel i mur- och putsbruk. Genom utbildningen har jag fått möjlighet följa kalkens process från att brännas, släckas och slutligen användas som bindemedel i bruk för putsarbeten. Dessa erfarenheter har legat till grund för valet av detta kandidatarbete.

Jag vill passa på att tacka alla inblandade som har hjälpt mig under arbetets gång. Ett extra stort tack vill jag ge min handledare Jonny Eriksson som guidat mig igenom arbetet.

Innehåll

1. Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Terminologi	9
1.3 Syfte	10
1.4 Undersökningens relation till kunskaps- och forskningsläget.....	10
1.5 Metod.....	12
2. Undersökning av karbonatiseringshastighet	17
2.1 Karbonatiseringshastigheten i putser med tre olika ytbearbetningar	17
2.2 Karbonatiseringshastigheten i putser med olika eftervattningsintervall	19
3. Avslutning	21
3.1 Diskussion.....	21
3.2 Styrkor och svagheter i undersökningen	21
3.3 Förslag till vidare undersökningar	22
4. Käll- och litteraturförteckning	23

1. Inledning

I detta kapitel ges en bakgrund till studien. Här redogörs också en förklaring av termer, syfte, samt en beskrivning av hur studien står i relation till kunskaps- och forskningsläget. Slutligen redovisas den metod som använts i undersökningen.

1.1 Bakgrund

Denna studie behandlar kalkputs, som är ett fasadmateriel med lång historisk användning. Det är ett vanligt förekommande materiel i kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Studien handlar om kalkputsens karbonatisering, dvs. den huvudsakliga process som sker när putsbruket hårdnar, och hur karbonatiseringens hastighet kan påverkas i ett putsningssammanhang.

Traditionen att använda kalk till mur- och putsbruk sträcker sig i Sverige nästan tusen år tillbaks i tiden (Hidemark & Holmström 1984). Kalk användes då för kyrkobyggnationer (Riksantikvarieämbetet 2013). Under denna tid var bruken feta och klistriga (Hidemark & Holmström 1984). Från medeltiden fram till 1700-talet var putser ofta bearbetade till en glättad yta. De fick sedan en mer grov och sandig yta och troligtvis uppkom den brädrivna putsen någon gång runt 1700-talet (Hidemark & Holmström 1984). Under 1800-talet kom enligt Balksten (2007) arkitektoniska krav på puts, som bidrog till att många putser blev väldigt släta och riktade. Att putser slätskurades framgår också i byggnadsläror från andra halvan av 1800-talet (Stål 1854; Henström 1869; Rothstein 2003). Från 1800-talet och framåt har enligt en litteraturanlys av Eriksson (2015) putsbruken generellt utvecklats från att vara fetare, med mindre kornstorlek på ballasten och tunnare påslag, till att bli magrare, innehålla större kornstorlekar och utföras i tjockare skikt.

Bruk med kalk som enda bindemedel var fram till mitten av 1900-talet vanligt förekommande i putssammanhang men försvann till stor del då cementen alltmer började användas. På senare tid har dock kalken till viss del åter fått en större betydelse, framförallt vid restaureringar av kulturhistoriskt värdefulla byggnader (Riksantikvarieämbetet 2013).

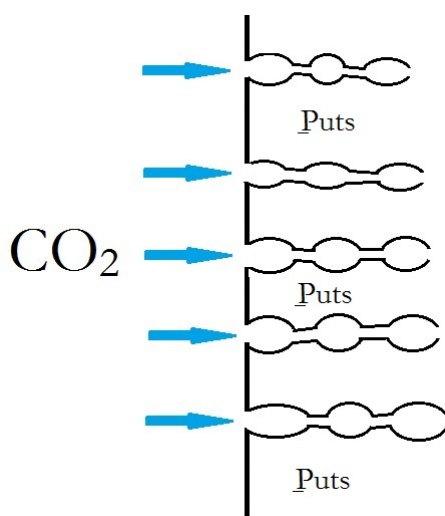
Ett vedertaget sätt för uppbyggnaden av en puts beskrivs bland annat i *Bruk- murning- putsning* (Dührkop, Saretok, Sneck & Svendsen 1966). Den består av ett grundningsskikt, en grovputs och en slutputs. Grundningens främsta uppgift är att tillgodose vidhäftning mellan underlag och puts, samt reglera att en jämn och ej för stark eller svag vattensugning sker vid nästkommande putsskikt. Grovputsen, även kallad utstockning, kan vara ett förberedande skikt inför slutputsen men kan också bearbetas direkt till en slutputs. Vid en utstockning avjämnas det påförda bruket med en rätkäpp, som med sågande rörelser dras nedifrån och upp. Ytan som stockats av får då en relativt grov struktur. Vid putsutföranden finns olika sätt att bearbeta en putsyta, exempelvis skurning (brädrivning) eller borstruggning.

Vid bindemedelsframställning av luftkalk bränns kalksten, som till största delen består av *kalciumkarbonat* (CaCO_3), så att koldioxiden avgår och *kalciumoxid* (CaO) uppstår. Den brända kalken släcks sedan i vatten och kallas då släckt kalk eller *kalciumhydroxid* ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). I denna form används kalken som bindemedel. Vid ett putsningsarbete blandas ett färskt bruk som appliceras på väggen. När det färskta bruket sedan karbonatiserar, sker detta av att den släckta kalken reagerar med koldioxid (CO_2) i luften och då övergår till *kalciumkarbonat* (CaCO_3) dvs. sin ursprungliga form (e.g. Bährner 1956; Henry & Stuart 2011).

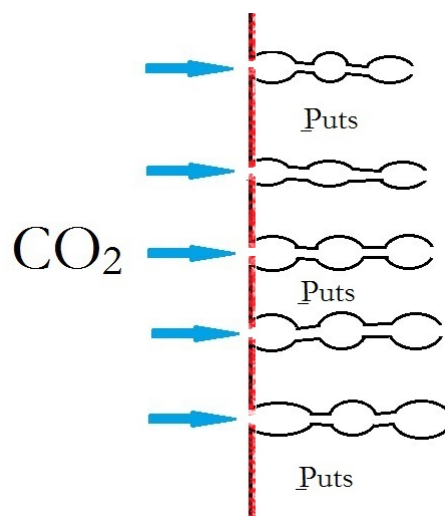
I exempelvis Dührkop et al. (1966) och Henry & Stuart (2011) beskrivs att karbonatisering startar vid putsytan varefter den succesivt fortsätter in i putsskiktet. Dührkop et al. (1966) skriver att karbonatiseringshastigheten minskar ju längre in i putsskiktet som karbonatiseringen fortskrider. Av Dührkop et al. (1966) och Hinderson (1958) framgår att putsen får en större hållfasthet ju snabbare karbonatiseringen sker. Både Dührkop et al. (1966) och Henry & Stuart (2011) menar att koldioxiden transporteras in i putsen via porsystemet. Karbonatiseringshastigheten påverkas av olika faktorer så som putsens tjocklek, fukthalt etc. Mer om karbonatisering står att läsa senare under kapitel 1.4.

Av Eriksson (2015) framgår att brädriven puts varit en vanligt förekommande bearbetning av puts från 1800 – talet fram till i dag. Enligt Nycander & Bährner (1955) och Bährner (1966) medför den brädrivna putsen (även kallad skurad), särskilt när bindemedlet utgörs av luftkalk, en ytförtätning som riskerar att påverka putsens karbonatisering negativt. Från och med 1800-talets slut finns enligt Eriksson (2015) även exempel på putser där denna ytförtätning avlägsnats i så kallade borstruggade putser. Av Nycander & Bährner (1955) och Bährner (1966) framgår att borstruggad puts är en putstyp där bearbetning av en skurad putsyta görs med borste, med syfte att ta bort den förtätning som uppstår när kalkputs bearbetas med rivbräda. Detta utförs genom att med cirkulerande rörelser föra en mjuk stålborste över putsytan.

Om en ytförtätning påverkar putsens karbonatisering negativt och en borstruggning motverkar detta så som ovan är nämnt, kan detta tolkas som att en ”öppen” putsyta (se figur 1) gynnar karbonatiseringen och att en tät putsyta (se figur 2) hämmar den. Detta är en hypotes som i arbetet ska prövas genom att uppföra tre putser med olika ytbearbetningar där karbonatiseringshastigheten jämförs. Fuktigheten i bruket, och hur det påverkar karbonatiseringshastigheten ska också utforskas, genom att jämföra två eftervattningsintervall i ytterligare två putser som uppförs. Arbetet har sin utgångspunkt i ett hanverkligt perspektiv och undersökningarna görs därför på putsytor som är påförda ett sugande underlag, med tanken att dessa ska spegla en verklig puts.



Figur 1 (Bild: Mikel Thorstensen). En schematisk skiss över puts med öppen yta som gynnar transporten av koldioxid in i putsen. De blå pilarna symboliserar koldioxidens väg in i putsen genom porsystemet, som symboliseras av ringarna med gångar mellan.



Figur 2 (Bild: Mikel Thorstensen). En schematisk skiss över puts med slät och förtätad yta som hämmar transporten av koldioxid in i putsen. De blå pilarna symboliserar koldioxidens väg in i putsen genom porsystemet, som symboliseras av ringarna med gångar mellan. Den röda markeringen symboliserar en ytförtätning som försvårar transporten.

1.2 Terminologi

Bindemedlet kalk delas upp som luftkalk och hydraulisk kalk. Hydraulisk kalk består i huvudsak av kalciumkarbonat med inblandning av olika hydrauliska komponenter. Den härdar genom hydratisering och härdnar således med vatten. Luftkalk består i huvudsak av kalciumkarbonat utan inblandning av hydrauliska komponenter och härdnar genom karbonatisering (e.g. Hidemark & Holmström 1984).

I denna studie används en rad begrepp som bör definieras för att klargöra betydelsen i sammanhanget. Nedan följer en lista med förtydliganden av dessa begrepp.

Karbonatisering är den process som sker då släckt luftkalk reagerar med koldioxid vilket bidrar till kalkbrukets härdnande.

Karbonatiseringsdjup innebär det djup som mäts in i puts-skiktet, där inget tydligt färgomslag vid begjutning av fenolftalein sker. Detta innebär alltså den del av putsen som indikerar på att vara karbonatiserad.

Karboniseringshastighet används som benämning för hur stort karbonatiseringsdjupet är i förhållande till tid.

Härda används som ett generellt begrepp för putsens härdnande.

Luftkalk har genom historien definierats på olika vis. Av en litteratursammanställning av Eriksson (2015) framgår att begreppet gått från att historiskt kunnat innefatta kalk med svagt/moderat hydrauliska egenskaper med upp till 15 % föroreningar av lermineraler, till att idag definieras som en kalk med 0-2 % lermineraler.

Platsblanda är en benämning som innebär att alla delmaterialen i ett bruk (som i denna undersökning består av kalk, sand och vatten) blandas på plats vid bruksberedningen, till skillnad från när endast vatten tillsätts i ett annars färdigblandat bruk.

Våtsläckt kalk innebär sådan kalk som efter bränning är släckt med ett överskott av vatten.

Kalkpasta har samma betydelse som våtsläckt kalk.

Bindemedel innebär i denna undersökning delmaterialet kalk i mur- och putsbruk, om inget annat nämns.

Kalkbruk innebär i detta arbete bruk med luftkalk som bindemedel, om inget annat nämns. Kalkbruk som används för putsarbeten innehåller olika delmaterial. Dessa kan bestå av bindemedel, ballast (exempelvis sand) och vatten.

Kalkhydrat används synonymt med kalciumhydroxid.

1.3 Syfte

Undersökningen i detta arbete innehåller två frågeställningar som är kopplade till hur fort bruket hårdnar/karbonatiserar. Den första frågan som avses att undersöka och svara på är:

- Skiljer sig karbonatiseringshastigheten mellan putser med tre olika ytbearbetningar?

Den andra frågan som avses att undersöka och svara på är:

- Skiljer sig karbonatiseringshastigheten mellan två putser med samma ytbearbetning, men med olika eftervattningsintervall?

Målet med undersökningen är att ur ett hantverkligt perspektiv öka kunskapen om luftkalks förutsättning att hårdna. Undersökningen bedöms vara av värde för fastighetsägare, hantverkare, arkitekter, ingenjörer och andra professioner som arbetar med kulturbyggnader.

1.4 Undersökningens relation till kunskaps- och forskningsläget

Vid en överblick av litteraturen sedan 1980-talet och framåt framgår att det finns ett forskningsbehov gällande kalkbruk kopplat till hantverk. Hidemark och Holmström (1984) belyser detta behov. Sandin (1985) menar att putsens egenskaper ofta diskuteras utifrån laborationsundersökningar men påpekar att dessa kan skilja sig från putsegenskaper i praktiken. Balksten (2005) framhåller i sitt arbete vikten av den hantverksmässiga bearbetningen och dess betydelse för porstrukturen i en puts. Vidare belyser hon vikten av samarbete mellan hantverkare, projektörer och forskare. Behovet uppmärksammas även av Eriksson (2015). Han menar att den publicerade forskningen om kalkbruk de senaste 35–40 åren främst varit inriktat på material. Utifrån dessa nämnda författares iakttagelser lyfter jag argumentet att fler undersökningar bör göras där den hantverksmässiga inverkan blir belyst.

Av flera forskare framgår att laboratoriestudier av karbonatiseringsprocessen i kalkbruk gjorts (e.g. Hagerman 1941; Hinderson 1958; Sandin 1985; Van Balen 2005; Lawrence 2006). Dessa undersökningar har haft ett fokus på kemi och material, där studier har genomförts med bruk i form av provkroppar avskilt från ett underlag. De nämner i stort sätt inte den hantverkliga påverkan av karbonatiseringen. Undantagen är Hagerman (1941) som pekar på eftervattningens betydelse och Sandin (1985) som framhåller underlagets inverkan och som gör undersökningar på putser påförda ett underlag. Putserna har då bearbetats med rätkäpp och skurbräda. Av flera handböcker (Nycander & Bährnder 1955; Bährner 1966; Dührkop et al. 1966) framgår att hantverket kan påverka karbonatiseringen i kalkbruk. Detta i form av bearbetning av putsytor, att putsen påförs ett underlag och att för- och eftervattning sker vid ett putsuppförande. I handböckerna finns ingen studie till detta tydligt presenterad. Mot detta som bakgrund görs i denna undersökning en ansats att studera det som handböckerna menar kan inverka på karbonatiseringen, genom att genomföra praktiska studier där påverkan av ytbearbetning och eftervattning av putser påförda ett underlag undersöks. Undersökningen är anpassad till att vara praktiskt genomförbar för en hantverkare, utan tillgång till ett laboratorium eller avancerade mätinstrument. Den utförs på putsytor, applicerade på sådant sätt att det ska efterlikna en verklig situation. Syftet är att assimilera den påverkan hantverket bidrar till vid putsarbete.

Kalkbrukets karbonatisering och hantverklig påverkan

För att ge en bild av hur karbonatiseringsprocessen i kalkbruk ser ut kompletteras litteraturen (utöver de författare som nämnts i förra stycket) med Henry & Stuart (2011), som är en del av en serie tekniska handböcker utgiven av *English Heritage*. För att mer specifikt kunna beskriva hur karbonatiseringen kan styras i praktiken används främst handböckerna av Nycander och Bährner (1955) och Bährner (1966), som kompletteras av Hagerman (1941).

Enligt Henry & Stuart (2011) löser sig vid karbonatisering i en kalkputs luftens koldioxid i vatten och bildar kolsyra, varvid pH-värdet sänks. Därefter löser sig kalciumhydroxiden i kolsyran. En reaktion sker sedan mellan kalciumjoner i kolsyran och kalciumjoner i kalken och det bildas kalciumkarbonat. Dührkop et. al (1966) beskriver att karbonatisering sker i en puts från ytan (där tillgång till koldioxid finns) och inåt. Hastigheten för processen minskar ju längre in i putsen den fortskrider, vilket beror på att putsen vid i härdningsprocessen får en tätare struktur. Av Henry & Stuart (2011) framgår att då putsen invändigt får tillgång till koldioxiden via porsystemet, förhindras en del av transportvägarna när karbonatisering vid putsytan bildar kristaller som förtätar putsstrukturen. Vidare beskrivs att karbonatiseringsprocessen fortskrider antingen till dess att all kalk har karbonatiserat, eller till dess att förutsättningarna försvunnit. Är bruket exempelvis för torrt avstannar den. Detsamma gäller när bruket är för blött. Då täpps porerna till och hindrar koldioxid att få tillträde inne i putsen. Enligt Dührkop et al. (1966) kräver karbonatiseringen att brukets fukthalt ligger mellan 0,5 % - 6 %. Vid för låg temperatur hämmas processen och vid 0 C. är den obefintlig.

Av Hagerman (1941) och Bährner (1966) framgår att kalkputsens hårdnande sker i olika faser. I det första skedet, från det att putsen applicerats, sugas en viss del av vattnet in i underlaget och en viss del avdunstar med resultat att en uttorkning av bruket sker. I nästa fas inträffar karbonatiseringen som enligt Bährner (1966) startar när bruket torkat ut så pass att fukthalten är omkring 8 %. Hagerman (1941) beskriver dessa skeden som överlappande och menar att den första fasen bör vara jämn och relativt snabb. Bährner (1966) förklarar att kalkhydratet som är löst i vatten kristalliseras och att bruket under denna tid uppnår en viss hållfasthet. Torkar bruket för snabbt i det skede då kalhydratkristallerna uppstår, hinner kristallerna inte bildas på rätt sätt. Hållfastheten blir i dessa fall senare låg. Står bruket däremot under längre tid för blött hindras också kristallbildningen och den slutliga hållfastheten blir även i dessa fall låg. I Nycander & Bährner (1955) liksom i Bährner (1966) framhålls sandens gradering som en viktig faktor till putsbrukets förmåga att hålla kvar en viss del vatten i uttorkningsfasen. De menar att med rätt sandkurva kan bruket hålla en viss fuktighet, samtidigt som koldioxid kan tränga in. Sandkurvan bör bestå av grövre korn, vilka ger hålrum mellan varandra. Dessa fylls sedan ut av mindre korn. Kalkens funktion är att fungera som ett slags klister till denna skelettuppbyggnad. Bährner (1966) påpekar att sanden som används inte bör innehålla allt för mycket mjölsand (sand med en kornstorlek under 0,25 mm).

Medan Dührkop et. al (1966) och Henry & Stuart (2011) pekar på luftens relativa fuktighet som en viktig faktor för putsens karbonatisering (där framgår att den bör ligga mellan 50 % - 80 %), framhålls av Hagerman (1941), Bährner (1955) och Nycander & Bährner (1966) för- och eftervattnings i samband med ett putsuppförande som ett sätt att påverka detta i praktiken. I Nycander & Bährner (1955) förklaras att ett allt för torrt och sugande underlag bör förvattnas innan putsuppförandet. Detta framgår även i Bährner (1966). Båda författarna menar att en försiktig eftervattnings de närmsta dagarna efter uppförandet i vissa fall kan göras för att förhindra en för snabb uttorkning. Hagerman (1941) poängterar att för att uttorkning ska kunna ske i rimlig takt behöver underlaget i viss grad vara sugande. Vidare framgår att

regelbundet återkommande eftervattning, efter uttorkningsfasen, även bör göras för att gynna karbonatiseringen. För att det ska ge ett bra resultat ska putsen kunna torka upp mellan återfuktningstillfällena.

I Både Nycander & Bährner (1955) och i Bährner (1966) beskrivs metoder att bearbeta en putsyta, och hur det påverkar karbonatiseringsprocessen. Två sätt (som är relevanta för denna undersökning) är skurning och borstruggning. Av författarnas beskrivning framgår att vid skurning, eller så kallad brädrivning, bearbetas putsytan med en rivbräda (skurbräda), genom att den med cirkulerande rörelser och under visst tryck, förs över putsytan och på så vis slätar ut ojämnheter. Med denna behandling komprimeras putsytan, samtidigt som en del av bindemedlet i bruket pumpas fram till ytskiktet, särskilt om skurningen utförs innan bruket hunnit sätta sig. De menar att detta riskerar att leda till en ytförtätning som försvårar transporten av koldioxid in i bruket. Borstruggning beskrivs som ett sätt att motverka denna förtätning. Detta innebär att en slät putsyta bearbetas med en mjuk stålborste, efter det att bruket hunnit sätta sig. Genom att med cirkulerande rörelser borsta ytan avlägsnas det förtätade ytskiktet, vilket bidrar till att transportvägen för luftens koldioxid in i bruket hålls öppen.

Ett sätt att mäta karboniseringsdjupet i kalkbruk

Hinderson (1958) beskriver ett sätt att mäta karboniseringsdjupet i kalkbruk. Av beskrivningen framgår att då ett karboniserat bruk har ett lägre pH-värde än ett okarboniserat bruk, kan detta mätas med hjälp av en pH-indikator (fenolftalein- och alkohollösning) som ger utslag, dvs. färgas starkt rött, vid ett högt pH-värde. Spannet inom vilken lösningen börjar färgas går enligt Hinderson från ett pH-värde på 8,3 till 10,3. Vid begjutning av lösningen färgas således den praktiskt taget okarboniserade kalken kraftigt rött. Detta sker omedelbart efter appliceringen. Den mer karboniserade kalken färgas endast svagt eller förblir ofärgad. Vidare menar han att ett ytterligare värde kan tas fram genom att då tillsätta vatten, vilket gör att lösningen även reagerar starkare med delvis karboniserad kalk. Han påpekar att om ingen reaktion sker vid vattentillsatts betraktas putsen som praktiskt taget genomkarboniserad (Hinderson 1958). Även i denna undersökning har fenolftalein använts för att mäta karboniseringsdjup. Detta beskrivs under metod.

1.5 Metod

I denna studie görs två undersökningar gällande karboniseringshastighet i kalkputser. Den ena omfattar en jämförelse mellan putser med tre olika ytbearbetningar och den andra består av en jämförelse mellan två putser med olika eftervattningsintervall.

De båda undersökningarna genomförs i murhuset vid institutionen för kulturvård (Göteborgs universitet) i Mariestad. Tillvägagångssättet består i att uppföra putser (ca 1400 millimeter x 500 millimeter stora) där karboniseringens fortskridande mäts och jämförs mellan putserna. Detta sker med hjälp av fenolftalein (närmare bestämt en fenolftalein- och alkohollösning), som fungerar som en pH-indikator. Mätningarna utförs genom att borra ett hål i den puts där karboniseringsdjupet ska mätas och därefter tillsätta fenolftalein, som med ett tydligt färgutslag ger en indikation vart gränsen mellan okarboniserad och karboniserad puts går. Avståndet från putsytan in till den tydliga gränsen mäts med hjälp av ett skjutmått. Karboniseringsprocessens fortskridande dokumenteras såväl med bilder som med projektdagbok.

Samtliga putser uppförs i samma rum, med en temperatur som under undersökningstiden håller ca 15°C. Putserna har en tjocklek som uppgår till 8 millimeter. Alla uppförs på samma underlag och med samma slags putsbruk. Putserna uppförs dock i två omgångar. De första som görs är de som har tre olika ytbearbetningar. De två andra putserna uppförs några veckor senare.

Putsuperlaget består av en slätbearbetad tunngrundning på en uppmurad lättbetongsvägg. Tunngrundningen är cirka 5 millimeter tjock och består av kalkbruk. Dess funktion i arbetet är att tillse att vattensugningen blir jämn då putserna appliceras. Grundningen har under en dryg månads tid fått torka upp då putserna uppförs. I samband med putsutförandet förvattnas underlaget försiktigt.

Genom att fästa två stycken tvåmeters-stänger med en diameter på 8 millimeter direkt mot tunngrundningen säkerställs att putsens tjocklek blir konstant (putserna stockas av mellan stängerna).

Putsbuket

Det bruk som används till putserna består av en våtsläckt kalk (produkten *Hansakalk* från Gutekalk/Målarkalk) och sand med en kornstorlek på 0-4 millimeter, samt vatten. Det platsblandas med hjälp av en bruksvisp under 5-10 minuter. Blandningsproportionerna består av 1 viktenhet kalk (torrvikt) och 8 viktenheter naturfuktig sand (med en fukthalt på 4,8 %), samt 1,8 viktenheter tillsatt vatten.

Genom att väga upp 1000 gram vispad kalkpasta och sedan torka denna i ugn för att slutligen väga den igen, tas först procentandelen torralk fram vilket viktenheten utgår från. Detta görs på nytt med varje hink kalkpasta som används för att säkra att procenthalten för respektive hink fastställs. För att kontrollera att sanden som används i undersökningen är naturfuktig torkas även 1000 g sand som sedan vägs och på så vis visar procentandelen fukt i sanden.

Putsyornas bearbetning

Den första undersökningen innefattar tre putsvarianter med tre olika ytbearbetningar, där karbonatiseringshastigheten mellan putserna jämförs. Dessa putser uppförs den 4:e januari 2018. De tre olika ytbearbetningarna som utförs är:

1. En avstockad yta (se figur 3), vilket innebär att putsen stockas av med en bräda/rätkäpp vilket ger en relativt grov yta. Denna puts benämns som puts A.
2. En skurad yta (se figur 4), där ytan efter avstockning bearbetas slätt med en skurbräda. Denna puts benämns som puts B.
3. En borstruggad yta (se figur 5), som innebär att den skurade putsen bearbetas med en mjuk stålborste efter att den hunnit sätta sig. Denna puts benämns som puts C.



Figur 3 (Foto: Mikel Thorstensen). Puts med avstockad yta (puts A).



Figur 4 (Foto: Mikel Thorstensen). Puts med skurad yta (puts B).



Figur 5 (Foto: Mikel Thorstensen). Puts med borstruggad yta (puts C).

Den andra undersökningen innefattar två putser som bägge har en avstockad yta (se figur 6). Dessa eftervattnas med två olika intervall. Den första eftervattnas var sjunde dag och benämns som puts D och den andra eftervattnas var fjortonde dag och benämns som puts E. Dessa uppförs den 6:e februari 2018.



Figur 6 (Foto: Mikel Thorstensen). Putser med avstockade ytor som eftervattnas med två olika intervall.

Provtagningar med fenolftalein

För att kunna mäta hur långt in från putsytan som karbonatiseringen skett borrar ett hål (8 millimeter brett) genom hela putsskiktet. Borrhålen mäts in och görs på samma ställe på respektive provyta. Hålen rengörs sedan noga med hjälp av tryckluft (se figur 7). Vid rengöringen placeras tryckluftkompressorns munstycke strax intill mynningen av borrhålet varvid hålet blåses rent med ett tryck från 2 bar tills det sjunkit till 1 bar (under loppet av ca 15 sekunder). Därefter tillsätts fenolftalein. Appliceringen av lösningen sker med hjälp av en spruta (se figur 8). Avståndet från ytan in till det tydligt rödmarkerade fältet mäts med hjälp av ett skjutmått (se figur 9).



Figur 7 (Foto: Emil Stangenberg) Efter inmätning och borrarng rengörs borrhålet med hjälp av tryckluft.



Figur 8 (Foto: Emil Stangenberg) Fenolftalein appliceras i borrhålen.



Figur 9 (Foto: Emil Stangenberg) Efter applicering av fenolftalein mäts avståndet från putsytan in till tydligt färgomslag med hjälp av ett skjutmått.

Provtagningarna av de putser där karbonatiseringshastigheten jämförs i förhållande till ytbearbetningarna (Puts A, B och C) påbörjas tre veckor efter uppförandet av putserna. De utförs därefter med en veckas intervall fram till dess att de inte visar ett snabbt och tydligt färgomslag vid tillsättande av fenolftalein.

Provtagningarna av de putser där karbonatiseringshastigheten jämförs i förhållande till olika eftervattningsintervall (puts D och E) påbörjas tre veckor efter uppförandet av putserna. Den ena eftervattnas därefter en gång i veckan och den andra en gång varannan vecka. Provtagningarna utförs med en veckas intervall till dess att putserna inte visar ett snabbt och tydligt färgomslag vid tillsättande av fenolftalein.

2. Undersökning av karbonatiseringshastighet

I detta kapitel redogörs för undersökning och resultat av karbonatiseringshastigheten i olika putsytor av kalkbruk. Två undersökningar är gjorda i studien med avseende att svara på de två frågorna i syftet:

1. Skiljer sig karbonatiseringshastigheten mellan putser med de tre olika ytbearbetningar?
2. Skiljer sig karbonatiseringshastigheten mellan två putser med samma ytbearbetning men med olika eftervattningsintervall?

Inledningsvis ges en kort beskrivning med bildexempel över provtagningarna från undersökningen där tre olika putser med olika ytbearbetningar jämförts. Sedan redogörs för mätresultaten som svarar på fråga 1. Därefter ges en beskrivning med bildexempel över provtagningarna från undersökningen där två putser med olika eftervattningsintervall jämförts. Sedan redogörs för mätresultaten som svarar på fråga 2.

2.1 Karbonatiseringshastigheten i putser med tre olika ytbearbetningar

Karbonatiseringshastigheten i tre putser med olika putsytor har undersökts och jämförts. Ytorna har bearbetats till en avstockad yta (puts A), en skurad yta (puts B) och en borstruggad yta (puts C).

Totalt gjordes fyra stycken provtagningar med en veckas intervall. Då den första provtagningen gjordes visades ett tydligt färgomslag vid tillsättandet av fenolftalein (för exempel se figur 10). Vid följande provtagningar flyttades färgomslaget allt längre in i putsskiktet. Då den sista provtagningen gjordes syntes inget tydligt färgomslag (för exempel se figur 11).

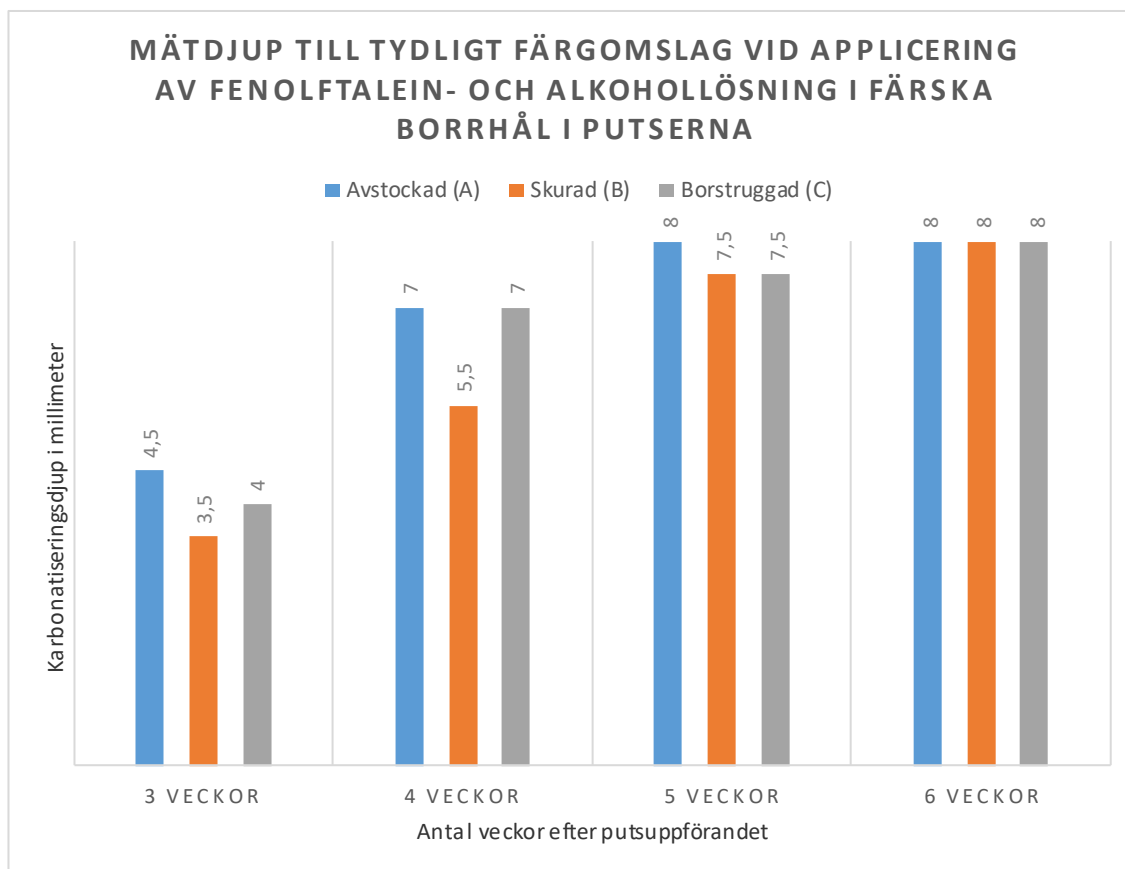


Figur 10 (Foto: Mikel Thorstensen). Bilden visar den skurade putsen (puts B) vid det första provtillfället. Fotot är taget några sekunder efter applicering av fenolftalein. Det lila området markerar okarbonatiserad puts.



Figur 11 (Foto: Mikel Thorstensen). Bilden visar den skurade putsen (puts B) vid det sista provtillfället. Fotot är taget några sekunder efter applicering av fenolftalein. Undersökningen ansågs vara färdig då inget tydligt färgomslag hade skett.

Mätning till tydligt färgomslag vid tillsatt fenolftalein i de färska borrhålen



Figur 12 (Bild: Mikel Thorstensen). Diagram över karboniseringsdjup i putser med olika ytbearbetningar.

Av figur 12 framgår att karboniseringshastigheten skiljer sig mellan de olika putserna. Den avstockade putsen uppnådde snabbare ett större karboniseringsdjup än övriga. Den borstruggade putsen uppnådde snabbare ett större karboniseringsdjup än den skurade putsen. Den avstockade och den borstruggade putsen uppnådde dock samma karboniseringsdjup vid den andra provtagningen. Den borstruggade och den skurade putsen uppvisade även samma karboniseringsdjup vid den tredje provtagningen.

Av figur 12 framgår också att putsen med den avstockade ytan indikerade på att vara genomkarboniserad vid en ålder på fem veckor. Den borstruggade och den skurade putsen uppnådde samma stadiet efter sex veckor.

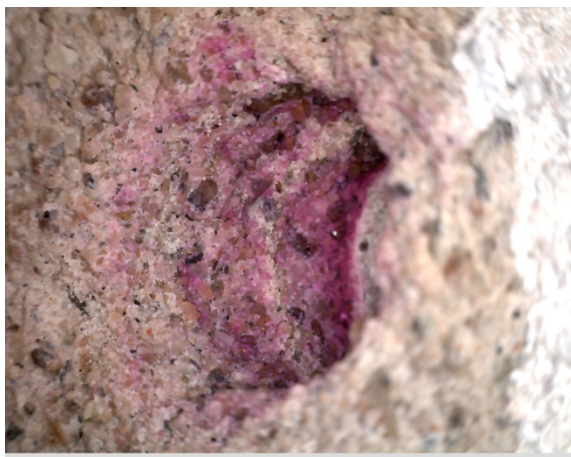
Resultat

Undersökningen visar att karboniseringshastigheten i putserna med en avstockad, en skurad och en borstruggad yta skiljer sig åt under de sex veckor som undersökningen gjordes (se figur 12). Putsen med den avstockade ytan har snabbast karboniseringshastighet. Putsen med den borstruggade ytan har näst snabbast karboniseringshastighet. Putsen med den skurade ytan har långsammast karboniseringshastighet.

2.2 Karboniseringshastigheten i putser med olika eftervattningsintervall

Karboniseringshastigheten i två putser med olika eftervattningsintervall har undersökts och jämförts. Båda putserna hade en avstockad yta. Den ena eftervattnades en gång i veckan (puts D) och den andra eftervattnades varannan vecka (puts E).

Totalt gjordes tre stycken provtagningar med en veckas intervall. Då den första provtagningen gjordes visades ett tydligt färgomslag hos båda putserna vid tillsättandet av fenolftalein (se figur 13 och figur 15). Vid nästa provtagning syntes endast färgomlagen längst in i putsskiktet. Då den sista provtagningen gjordes syntes inget tydligt färgomslag (se figur 14 och figur 16).



Figur 13 (Foto: Mikel Thorstensen). Bilden visar puts D vid det första provtillfället. Fotot är taget några sekunder efter applicering av fenolftalein- och alkohollösning.



Figur 14 (Foto: Mikel Thorstensen). Bilden visar puts D vid det sista provtillfället. Fotot är taget några sekunder efter applicering av fenolftalein- och alkohollösning.

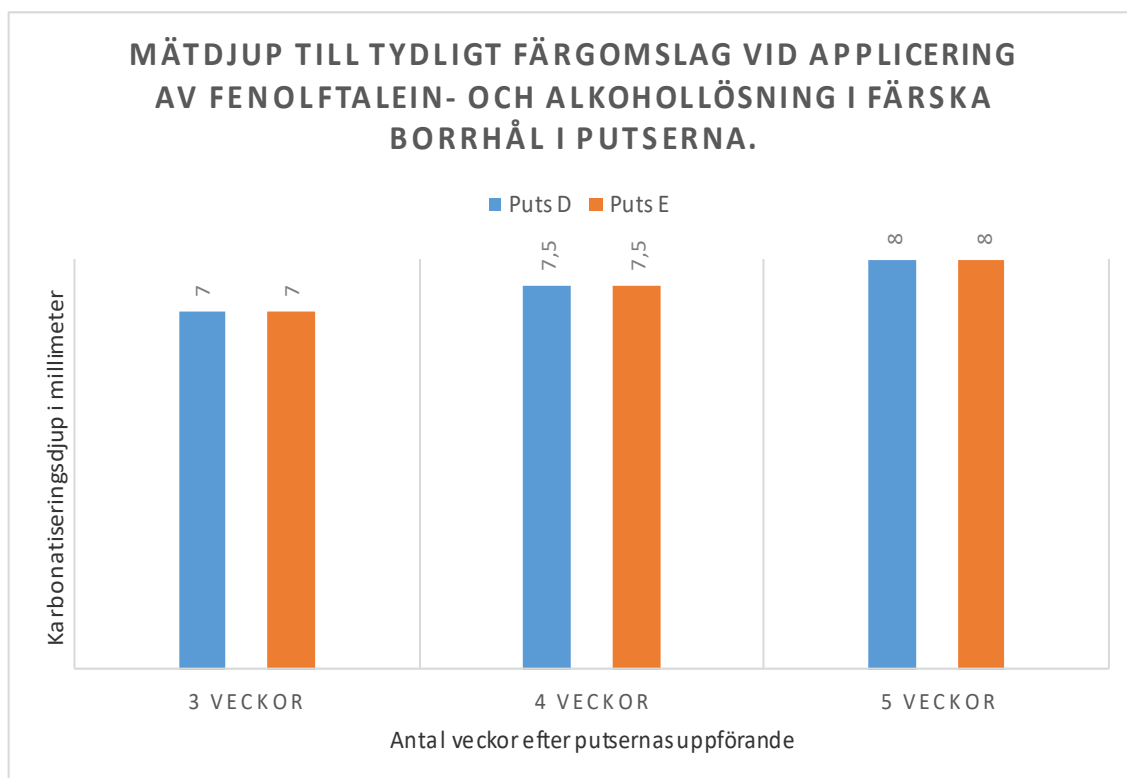


Figur 15 (Foto: Mikel Thorstensen). Bilden visar puts E vid det första provtillfället. Fotot är taget några sekunder efter applicering av fenolftalein- och alkohollösning.



Figur 16 (Foto: Mikel Thorstensen). Bilden visar puts E vid det sista provtillfället. Fotot är taget några sekunder efter applicering av fenolftalein- och alkohollösning.

Mätning till tydligt färgomslag vid tillsatt fenolftalein i de färska borrhålen



Figur 17 (Bild: Mikel Thorstensen). Diagram över karbonatiseringsdjup i putser med olika eftervattningsintervall.

Av figur 17 framgår att karbonatiseringens fortskridande följdes åt mellan de två putserna under alla tre provtagningarna.

Resultat

Undersökningen visar att karbonatiseringshastigheten i putserna som eftervattnats en gång, respektive två gånger, inte skiljer sig åt under de fem veckor som undersökningen gjordes (se figur 17). Detta gäller såväl för den tid det tar för putsen att uppnå det stadie då den indikerar på att vara genomkarbonatiserad, som karbonatiseringshastigheten innan dess.

3. Avslutning

I detta kapitel diskuteras resultaten av studien och hur detta står i relation till kunskaps- och forskningsläget som redovisats i kapitel 1.4. Här framhålls även styrkor och svagheter med undersökningen. Slutligen ges förslag till vidare undersökningar som bör göras.

3.1 Diskussion

Av de tre olika bearbetningar av putsytor som jämfördes, framgår av resultatet att putsen med avstockad yta karbonatiserade snabbast. Det pekar på att avstockad puts ger den minsta förtätningen i ytan av de jämförda bearbetningstypena. Bearbetningen förefaller alltså inte att ha orsakat den ytförtätning som enligt litteraturen (Nycander & Bährner 1955; Bährner 1966) sker vid skurning. Av resultaten framgår att den borstruggade putsen har en långsammare karbonatiseringshastighet än den avstockade putsen men en snabbare än den skurade putsen. Detta är överensstämmande med hypotesen i detta arbete och med litteraturen (Nycander & Bährner 1955; Bährner 1966) där det framgår att en borstruggning avlägsnar det täta ytskikt som kan uppkomma vid skurning.

I den andra delen av studien har eftervattningens betydelse för karbonatiseringshastigheten undersökts. Detta framhålls som ett viktigt moment av Hagerman (1941), där det framgår att regelbundet återkommande eftervattning och efter brukets uttorkningsfas gynnar karbonatiseringen. Av de resultat som denna studie visar kunde ingen skillnad utmärkas mellan putserna med de två olika eftervattningsintervallen.

3.2 Styrkor och svagheter i undersökningen

Storleken på de putser som uppförts (ca 1400 millimeter x 500 millimeter), det faktum att de gjorts på ett sugande underlag och att de bearbetats med i verkligheten befintliga metoder, är förutsättningar som innebär att de på många vis speglar en verklig situation där behov av eftervattning finns och också är ett moment som utförs.

Applicering av fenolftalein visar inte en exakt gräns mellan okarbonatiserad och karbonatiserad puts. Mätning med hjälp av skjutmått visade sig vara funktionellt, men ger heller inte ett helt exakt värde. Med hänseende till dessa två begränsningar valdes att med undersökningen endast visa på indikationer av eventuella skillnader mellan karbonatiseringshastigheten i de olika putsvarianterna.

Metoden att mäta karbonatiseringens omfattning i färska borrhål i putsen med hjälp av fenolftalein och skjutmått, är användbart då det är en relativt lättåtkomlig metod, som är överförbart på studier ”ute i fält”. Den innefattar dock en viss svårighet då mätningarna måste ske direkt efter applicering av fenolftalein. Efter en stund tenderar nämligen den markanta färggränsen (åtminstone i början av karbonatiseringsprocessen) att lösas upp då även delvis karbonatiserat bruk färgas.

I undersökningen representerades putserna med de olika ytbearbetningarna av endast ett exemplar för varje variant (puts A, B och C), detsamma gäller för putserna med de

olika eftervattningsintervallen (puts D och E). Fler putser skulle kunna ha uppförts av varje putsvariant för att få ett mer representativt värde vid mätningarna.

De provtagningar som gjorts på samtliga putser påbörjades 3 veckor efter att de uppförts. Detta innebär att information saknas över hur karbonatiseringshastigheten fortlöpt under tiden innan de första provtagningarna.

3.3 Förslag till vidare undersökningar

I denna studie har jämförelser av tre sätt att bearbeta en putsyta gjorts.

Karbonatisering i putser med andra ytbearbetningar, exempelvis spikriven eller filtad puts, bör också undersökas.

Denna undersökning omfattades av den tid det tog till att putserna inte gav ett snabbt och tydligt färgomslag vid applicering av fenolftalein- och alkohollösning. Putsen hade vid detta skede uppnått ett stadie som Hinderson (1958) definierar är när ingen del är praktiskt taget okarbonatiserad. Han menar att med tillsättande av vatten kan ytterligare ett värde tas fram, vilket ger en bättre indikation på hur långt den fullkomliga karbonatiseringen fortskridit. Vid en framtida studie kan även detta jämföras mellan putsvarianterna.

En undersökning bör göras där karbonatiseringshastigheten mellan putserna med de olika ytbearbetningarna jämförs, då putserna eftervattnas. Detta för att ta reda på om förhållandet mellan karbonatiseringshastigheten i putserna är detsamma som i ej eftervattnade putser.

4. Käll- och litteraturförteckning

- Balksten, K. (2007). *Putsarbeten Tekniska anvisningar*. Stockholm: Intellecta
- Bährner, V. (1966). *Murbruk och putsbruk*. 4., oförändrade uppl. Malmö: Svenska cementfören
- Dührkop, H., Saretok, V., Sneck, T. & Svendsen, S. (1966). *Bruk - murning - putsning*, [Svensk byggtjänst (distr.)], [Stockholm]
- Eriksson, J. (2015). *Bruk av kalk och sand: ur ett hantverkligt perspektiv*. Licentiatavhandling Göteborg: Göteborgs universitet
- Henry, A & Stewart, J. D. (red.) (2011), *Mortars, renders & plasters*, [New ed.], Ashgate, Farnham, England
- Henström, A. (1869). *Praktisk handbok i landtbyggnads-konsten: innefattande läran om byggnadsmaterialierna, byggnadsmaterialiernas bearbetning och sammanfogning, byggnadsdelarnes form, dimensioner och styrka* Örebro: Beijer
- Hidemark, O. & Holmström, I. (red.) (1984). *Kalkputs. 2, Historia och teknik : redovisning av kunskaper och forskningsbehov*. Stockholm: Riksantikvarieämbetet. Tillgänglig på Internet: <http://www.raa.se/publicerat/9789172096424.pdf> [2018-04-12]
- Hinderson, G. (1958). *Kalk- och kalkcementbruk: Invändig puts på betong*. Stockholm:
- Lawrence, R.. (2006). *A study of carbonation in non-hydraulic lime mortars*. Thesis (Doctor of Philosophy (PhD)). University of Bath.
- Materialguiden - Rapport från Riksantikvarieämbetet [Elektronisk resurs]*. (2013). Riksantikvarieämbetet. Tillgänglig på Internet: <http://kulturarvsdata.se/raa/samla/html/3310> [2018-04-12]
- Nycander, S. & Bährner, V. (1955). *Modern putsteknik: med särskild hänsyn tagen till användningen av puderkalk och cement*. 4. uppl. Malmö: Svenska cementföreningen
- Rothstein, E. von (2003[1890]). *Allmänna byggnadsläran*. Faks.-utg. Kristianstad: Accent
- Sandin, K. (1985). *Puts-kvalitet: inverkan av olika faktorer = The quality of renderings : the influence of different factors*. Lund. Tillgänglig på Internet: <http://lup.lub.lu.se/record/1290474> [2018-04-17]
- Stål, C. (1854) *Utkast till allmän byggnadslära [Elektronisk resurs]*, Fahlun. Tillgänglig på Internet: <http://hdl.handle.net/2077/41760> [2018-04-27]
- Van Balen, K. (2005). Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature. *Cement and Concrete Research*, 35(4), ss. 647-657.