



Examensarbete i byggt teknik

# Karbonatisering av modernt kalkputs med hydraulisk inblandning

*Carbonation of modern lime mortar with hydraulic  
mix*



*Författare:* Shokoufeh Hossainy

*Handledare:* Ivar Wenster

*Examinator:* Björn Johannesson

*Termin:* VT21

*Kurskod:* 2BY04E eller 2BY14E

*Ämne:* Byggt teknik

*Nivå:* Högskoleingenjör eller Kandidat

*Linnéuniversitet, Fakulteten för teknik*



## Sammanfattning

Kalkbruk har använts i tusentals år som byggnadsmaterial i byggkonstruktioner.

Senare, under 1800-talet, började en variant av hydraulisk kalk, kallad vattenkalk, att användas. Det hydrauliska kalkbruk som används idag i byggnadskonstruktioner såsom fasadmurning, putsning, fogning av murverk har blivit mer vanligt att använda i stället för cementbruk, eftersom det finns fler fördelar med kalkbruk som har hydraulisk inblandning än med det cementbaserade bruket. Kalkbruk används särskilt till renovering av äldre byggnader där kalk eller hydrauliska kalkbruk sedan tidigare har använts. Det hydrauliska kalkbruket utvinns från kalksten men den hydrauliska kalk som bränns av oren kalksten kallas naturligt hydraulisk kalk och tillverkas av Saint-Astier i Frankrike. Kalken har inga hydrauliska tillsatsmedel som cement, gips, flygaska eller puzzolana material. Enligt SS-EN 459-1:2015 klassas den naturliga hydrauliska kalken efter hållfasthet, och tillverkas i tre klasser: NHL 2, NHL 3,5 och NHL 5. Naturliga hydrauliska kalkbruken har för- och nackdelar, Produktens fördelar avses av de som använder bruket överväga nackdelarna. NHL-bruk passar bättre i fuktiga miljöer, det kan återanvändas, är miljövänligt, rent och naturligt, tål mer påfrestningar och driftstiden är mindre. Bakgrunden till arbetet är att NHL-bruks användning har blivit allt vanligare under de senaste decennierna vid renovering av äldre kalkputsade byggnader. Väderförhållande och temperatur är av stor betydelse för att ha ett hållbart resultat inom kalkputsarbetet och således kan orsaka en viss försening i tidplaner och byggtider. Emedan nya metoder ska utredas och utvärderas för att få det optimala resultatet.

Litteraturstudier, laborietester och intervjuer har använts för att kunna nå examensarbetets mål. Flera små tester har gjorts för att undersöka karbonatiseringsprocessen under olika väderförhållanden. Testerna visar att det naturliga kalkbruket karbonatiserar bättre och snabbare i en fuktig miljö, vilket passar det klimat som råder i Norden och i kustklimat. Det naturliga hydrauliska kalkbruket är dock ett material som kräver mer erfarenhet för att kunna uppnå bästa resultat för detta ändamål. Att vädret har stort betydelse för karbonatiseringsprocessen är ett resultat som framkommit i tidigare studier och forskning, vilket också de tester som utförts under detta arbete visar. Arbete med hydrauliska kalkbruk bör därför ske under perioder som passar kalkputsarbetet för att det ska hinna karbonatisera innan det riskerar att utsättas för påfrestning. En lämplig period är därför maj till oktober som den bästa perioden för kalkputsarbete.

Naturliga hydrauliska kalkbruk utvecklas kontinuerligt, vilket kan bidra till att de kan ersätta det cementbaserade kalkbruket i framtiden utan några negativa konsekvenser såsom frostsprängning och låg hållfasthet.

*Nyckelord: kalkputs, kalkfärg, hydraulisk kalk, naturliga hydrauliska kalk, Saint-Astier kalk, karbonatiseringsprocess, kalkbruk, hydrauliskt kalkbruk.*

## Abstract

The aim of the work was to analyze the carbonation of modern lime plaster with hydraulic mixing. Requirements for a certain carbonation can cause delays in schedules and construction time. The hydraulic lime mill is obtained from limestone, while the hydraulic lime burned by crude limestone is called natural hydraulic lime, which is manufactured by Saint-Astier in France. The lime has no hydraulic additives such as cement, plaster, fly ash or pozzolana materials. Natural Hydraulic lime mills fit better in the humid environment, it can be reused, is environmentally friendly, is clean and natural, can withstand more stress and the operating time is less. During the work, a study visit was made to an ongoing work process at Elin Wägnerskolan in Växjö, which Karlssons fasad AB had taken over the restoration responsibility. Interviews were conducted with one of the players at Målarkalk AB, which is one of the largest suppliers in the lime industry and project manager at Karlssons Fasad AB. Several small tests have been done to see the carbonation process under different weather conditions. The tests show that natural lime farming carbonates better and faster in a humid environment, which suits the Nordic countries and coastal environments. Natural hydraulic lime mills are well suited to replace cement-based mortars in the future without any negative impact.

*Keywords: Lime plaster, lime paint, Hydraulic lime, Natural hydraulic lime, Saint-Astier lime, carbonation, lime mortar, Hydraulic lime mortar.*

## **Förord**

Detta examensarbete (15 hp) är skrivet vid Linneuniversitet och är en avslutande del vid programmet inom högskoleingenjör, 180 hp.

Arbetet har genomförts genom förslag från Ankdammen Konsult/ Karlsson Fasad AB på hur och vad som kan undersökas. Examensarbetets frågeställningar besvaras genom flera metoder såsom litteraturstudier, studiebesök, intervjuer och laborationer.

Ett stort tack vill jag rikta till min handledare på företaget, Ivar Wenster för allt stöd, vägledning och idéer, och kursansvarige Björn Mattsson som har varit tillgänglig och väglett mig under hela examensarbetet. Jag vill även tacka alla som bidragit med sina erfarenheter och tankar i intervjuer. Ett stort tack för er tid.

Shokoufeh Hossainy

Växjö, 5 augusti 2021



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Introduktion .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1	Bakgrund och problembeskrivning .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2	Syfte och mål .....	2
1.3	Avgränsningar .....	2
<b>2</b>	<b>Teoretiska utgångspunkter .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1	Definitioner .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2	Allmän om kalkputs .....	4
2.2.1	<i>Kalkbrukstillverkning genom kemiska principer .....</i>	<i>5</i>
2.2.2	<i>Luft kalk .....</i>	<i>5</i>
2.2.3	<i>Hydraulisk kalk .....</i>	<i>6</i>
2.2.3.1	<i>Hydratisering .....</i>	<i>6</i>
2.2.3.2	<i>Saint-Astier kalk .....</i>	<i>8</i>
2.3	<i>Val av bruk .....</i>	<i>9</i>
2.3.1	<i>Murbruk .....</i>	<i>9</i>
2.3.2	<i>Putsbruk .....</i>	<i>10</i>
2.4	<i>Kalkputs .....</i>	<i>10</i>
2.4.1	<i>Putsens byggnadskemi .....</i>	<i>10</i>
2.4.2	<i>Kalkputs på träbyggnader .....</i>	<i>10</i>
2.4.3	<i>Putsning .....</i>	<i>11</i>
2.4.4	<i>Olika typer av puts .....</i>	<i>11</i>
2.4.5	<i>Vanliga problem med kalkputs .....</i>	<i>11</i>
2.4.6	<i>Åtgärder av kalkputsproblem .....</i>	<i>12</i>
2.5	<i>Puts i förhållande med tid .....</i>	<i>12</i>
2.5.1	<i>Vädrets inverkan .....</i>	<i>13</i>
2.6	<i>Varför används puts .....</i>	<i>14</i>
<b>3</b>	<b>Objektbeskrivning .....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Metod och genomförande .....</b>	<b>18</b>
4.1	Metod .....	18
4.1.1	<i>Intervjuer .....</i>	<i>18</i>
4.1.1.1	<i>Intervju med Ulf Nymberg .....</i>	<i>18</i>
4.1.1.2	<i>Intervju med Kent Siverland .....</i>	<i>18</i>
4.1.1.3	<i>Intevju om Elin Wägnerskolan .....</i>	<i>18</i>
4.1.2	<i>Experiment .....</i>	<i>19</i>
4.1.2.1	<i>Material och utrustning .....</i>	<i>19</i>

4.1.2.2	<i>NHLMörtels egenskaper</i> .....	19
4.1.2.3	<i>Fenolflateintest av karbonatisering</i> .....	19
4.2	Fältförsök .....	21
4.3	Urval .....	21
<b>5</b>	<b>Resultat och Analys</b> .....	<b>22</b>
5.1	Resultat av experiment.....	22
5.2	Resultat av intervjuer .....	23
5.2.1	<i>Intervju med Ulf Nymberg</i> .....	23
5.2.2	<i>Intervju med Kent Siverland</i> .....	24
5.2.3	<i>Intervju om Wägnerskolan</i> .....	24
5.3	<i>Analys av teori</i> .....	25
5.4	<i>Analys av experiment och intervjuer</i> .....	25
<b>6</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>26</b>
6.1	Teori och metod .....	26
6.2	Resultat .....	26
<b>7</b>	<b>Slutsatser</b> .....	<b>27</b>



# 1. Introduktion

En stor del av en byggnadens värde finns i fasadens utseende, och framför allt skick.

Putsning och murning med kalkbruk samt kalkfärg för fasader är traditionellt inom byggbranschen i Norden. Detta är en anledning som gör att det fortfarande används kalkputs som fasadbeklädnad.

Kalkbruk är en blandning av släckt eller osläckt kalk och sand som senare tillsätts med vatten för att få ett bruk för putsning och murning. Den släckta kalken kan antingen vara lufthärdande eller hydraulisk kalk. Lufthärdande kalk innehåller en hög andel kalciumhydroxid och härdas inte hydrauliskt utan härdas enbart genom karbonatisering när den reagerar med koldioxiden i luften. Hydraulisk kalk härdas genom karbonatisering och hydratisering.

Den är mest lämpligt i fuktig miljö och används vid tjocka påslag jämfört med lufthärdande kalk. Att karbonatisera kalk är en kemisk process när kalciumhydroxid reagerar med koldioxid i vatten eller i luft och blir till kalksten på nytt och omvandlas till kalciumkarbonat (Målkalk).

## 1.1 Bakgrund och problembeskrivning

Kalkbruk med hydrauliska egenskaper har producerats och används i Sverige sedan 1000 eller 1100-talet både som murbruk och puts. Lika länge som bruk baserade på ren kalk tillverkats och brukats. Sverige hade rika möjligheter att producera naturliga hydrauliska kalkbruk på de platser där det fanns kalksten som exempelvis Skåne (Komstadskalksten), Öland, Västergötland och Närke. Under 2000-talet har användning av naturligt hydrauliskt kalkbruk (NHL bruk) blivit allt vanligare vid renovering av äldre kalkputsade byggnader. Hydrauliskt kalkbruk framställs av kalk med hydrauliska komponenter, naturligt hydrauliskt kalkbruk eller på konstgjord väg med hydrauliska tillsatsmaterial. Det är särskild viktig att kunna knyta kalk och övriga materialanvändning till befintliga anläggningar och byggnader. Därmed kan hydrauliskt kalkbruk av olika typer hänföras till olika användningsområden, antingen direkt eller efter fördjupande byggnadsarkeologiska undersökningar (Johansson 2006).

Det finns dock olika problem med kalkputs vid både restaurering av gamla byggnader och vid användning i ny bebyggelse. Av de traditionella problemen kan nämnas vatten- och saltskador vilket kan förekomma uppifrån av bristfälliga täckning, från sidan på grund av felaktig eller för tunn puts och olämpliga färger eller nerifrån av kapillärt stigande fukt. (Åkesson 2011), samt skador av vatten och frost, vilket gör att ytskikt med vattenfyllda porer fryser sönder och lossnar från underlaget när frosen slår till. Nyare problem är gravrost och utmattning, kan drabbas när konstruktionsstycket utvidgas och krymper med ändrade temperatur.

Förgipsning förekommer när feta putser med hög hållfasthet spricker upp i ett finmaskigt mönster. Alger, lavar och mögel som är orsaken av näringsämne från fåglar, träd och buskar missfärgas av mögel och skadas av alger och lavar, speciellt i skuggade ställen där torkningen sker sakta vilket måste åtgärdas vid renovering (Åkesson 2011).

Kalkputs är en traditionell putsning av byggnader och har en lång bakgrund medan den moderna kalkputsen karbonatiseras med hydraulisk inblandning och är något nytt som kan vara ett alternativ till det gamla sättet av kalkputs karbonatisering. Kalkbruk härdar genom karbonatisering och att karbonatisera kalkbruk är tidskrävande som kan orsaka förseningar i tidsplaner och byggtid.

## **1.2 Syfte och mål**

Syftet med detta arbete är att undersöka, utvärdera och analysera olika tekniker och metoder för karbonatisering av kalkputser. Målet är att sammanställa ett resultat från studierna och utvärderingar av nya metoder för att undersöka karbonatisering av kalkputs med hydraulisk inblandning.

## **1.3 Avgränsningar**

Arbetet angränsas till att fokusera på att analysera och utvärdera karbonatisering av kalkputs med hydraulisk inblandning. Arbetet är begränsat till att inte se över andra kalkbruks bindemedel såsom kalkcement, luftkalk eller andra varianten av puts och inte heller kalkputsens andra egenskaper eller skador som ligger således utanför rapportens räckvidd. Begränsningen sker även till att endast omfatta studier av förutsättningar på den svenska marknaden.

## 2 Teoretiska utgångspunkter

### 2.1 Definitioner

**Kalkbruk** - Bruk med ren kalk (kalciumhydroxid) som bindemedel.

**Släckt kalk** - Kalk som släckt med så mycket vatten att de i fullständigt utsläckt form är ett torrt eller nästan torrt pulver (puderkalk).

**Våtsläckt** - Kalk som släckts med cirka 40% överskott av vatten och bildar en plastisk deg, kalkdeg.

**Torrsläck** - Det är släckt med precis så mycket vatten som behövs för att den brända stenen ska bli kalciumhydroxid.

**Lufthärdande kalk** - Kalkbruk som hårdnar genom att ta upp och förena sig med koldioxid ur luften benämns för lufthärdande kalkbruk.

**Subhydraulisk kalk** - Kalk som sammansättningsmässigt ligger mellan hydraulisk kalk och ren kalk.

**Hydraulisk kalk** - Kalk som kan hårdna genom reaktion med vatten.

**Karbonatisering** – Kalk - kalciumhydroxid  $\text{Ca(OH)}_2$  hårdnar genom att det tar upp koldioxid  $\text{CO}_2$  från den omgivande luften och därigenom omvandlas till kalciumkarbonat  $\text{CaCO}_3$ .

**Fogbruk** - Bruk som används för att fylla ut den yttre delen av en existerande fog.

**EN-459** - Kraven på Innehåll, kvalitetskontroll, framställning och egenskaper som industriellt tillverkad kalk måste uppfylla som ska användas för byggnadsändamål enligt den europeiska kvalitetsnormen.

**Kalkfärg** – tillverkas av släckt kalk, vatten och önskvärda pigment, kan tillredas på plats eller köpas färdig.

**Revetering** – är puts på trähus. Måste utföras med kalk eller lerbruk för att inte träkonstruktionen skadas.

**Kungskalk** – Det är 100% rent mineralisk kalkfärg utan tillsatser. Innehåller endast våtsläckt långtidslagrad kulekalk, kalkvatten och dolomitmjöl. I de pigmenterade blandningarna finns även mineraliska pigment. (målarkalk 2021)

**Kulekalk** – Namnet kommer från danskans (kule) betyder en grav i marken. Den brända kalkstenen våtsläcks med ett överskott och vatten, sedan leds den ner till markgravar/kulor, där får den mogna tills den är klar att använda. Den färdiga kulekalken används som bindemedel i bruk och kalkmålning. Hyllingegårdens kulekalk är en av de kalkföretagerna som tillverkar kulekalk. (Målarkalk kalkpedia 2021)

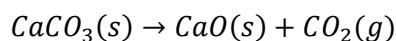
## 2.2 Allmän om kalkputs

Kalkbruk användes mer än 2000 år före Kristus av både romarna och egyptierna.

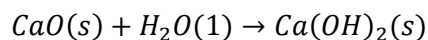
Egyptierna använde bruk omkring 2600 år före Kristus vid byggnation av pyramiderna. Kalkbruket kom till Norden ungefär på 1000-talet, under medeltiden. Det var på kyrkor och slott som det var mycket populärt med kalkbruk på den tiden. Bruket användes dels för själva uppförandet av de bärande murarna, dels som ytskikt både på ut och insidan av murverket och där ofta som underlag för muralmålari. Under 1600 och 1700-talet byggdes ett större antal infrastrukturer i form av kanaler, kajer och hamnar som krävde ett kalkbruk med bättre egenskaper vad gäller härdning och hållfasthet. Under 1800-talet blev det ytterligare byggnationer av sten i de svenska städerna, inte minst på grund av hårdare brandregler, samtidigt som kalkbruket började få konkurrens av den nya produkten Portlandcement.

Bruk var det som gjorde mångfalden möjlig i fasaduttrycken under senare delen av 1800-talet. Under första delen av 1900-talet börjar nya material att nyttjas för uppförande av murar (betongsten), där kalkbruket inte fungerade tillfredställande, och materialet användes enbart i kombination med cement. Rent kalkbruk blev bortglömt under några decennier, tills ansvariga myndigheter insåg att ett återgående till de ursprungliga materialen och teknikerna var nödvändigt för bevarande av kulturhistorisk bebyggelse. Sedan 1980-talet har rent kalkbruk återigen använts i större skala och då främst som restaureringsmaterial. Idag används kalk inom byggnation som bindemedel i kalkbruk för putsning och murning samt som färg. Putsning med kalkbruk används både inom nybebyggelse och restaurering av gamla byggnader och ger ett fint ytskikt för fasaden (Berggren 2017).

Termen ”ren kalk” används för kalciumoxid,  $CaO$ , som framställs genom att naturligt förekommande kalksten värms upp ca 800–1000°C. den kemiska formeln för kalksten är  $CaCO_3$ , därför innebär rostning av kalksten att  $CO_2$  drivs bort och lämnar den cementbaserade kalkprodukten  $CaO$ . Dessa process kallas för ”kalcinering” eller förbränning. Därför nämns kalk  $CaO$  för ”bränn kalk”. bränningsprocessen av kalksten beskrivs som:



För att kalkstenen ska omvandlas till fri kalk,  $CaO$ , bör temperaturen i en ugn vara på 950°C till 1050°C enligt bränningsprocessen. Efter bränningen av kalksten blandas den med vatten. Under dessa process kombineras  $H_2O$  med  $CaO$  för att ge  $Ca(OH)_2$  och en kraftig värmeavgivning.  $Ca(OH)_2$  som nämns för släckt kalk används i två olika former, antingen som torrt pulver eller pasta. Reaktionen för producering släckt kalk är: (Johannesson 2012).



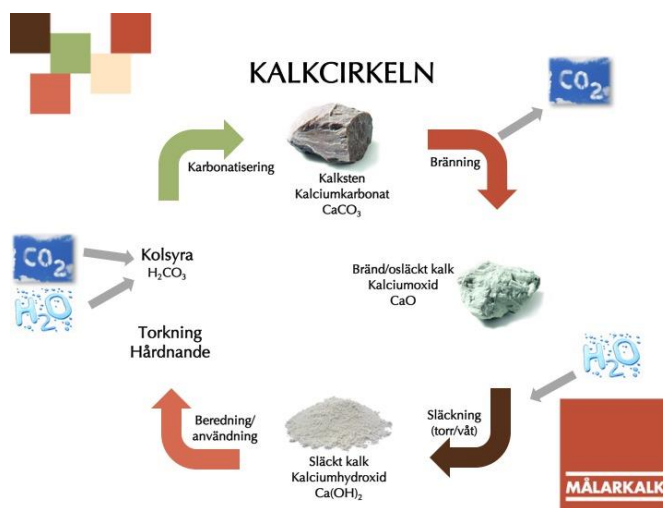
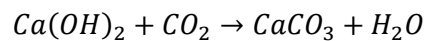
Kalkbruk består av en blandning av osläckt eller släckt kalk, sand och eventuella tillsatsmedel samt vatten. Kalken som används till rent kalkbruk tillverkas av kalksten, vid bränning av kalkstenen vid ungefär 1000°C eller högre får man kalciumoxid som vid släckning med vatten omvandlas till kalciumhydroxid. Kalken släcks genom tillsättning av vatten till den brända kalken som består av kalciumoxid ( $CaO$ ). Vid släckning omvandlas kalciumoxid till kalciumhydroxid, benämns även kalkhydrat. Vid torrsläckning tillför endast så mycket vatten som förbrukas vid omvandlingen till kalciumhydroxid vilken då blir ett torrt pulver. Vid våtsläckning tillförs vatten i överskott och kalciumhydroxiden bildar då en fuktig kalkdeg. Det är kalciumhydroxiden i form av ett torrt pulver eller en pasta som utgör bindemedel i kalkbruksblandningen. (Berggren 2017).

### 2.2.1 Kalkbruks tillverkning genom kemiska principer

För att tillverka kalkbruk genomförs en process där kalciumkarbonat ingående kalksten, krita, snäckskal och andra naturliga förekommande råvaror sönderdelas genom bränning och släckning, först till bränt kalk ( $CaO$ ). sedan genom att ta upp vatten till släckt kalk  $Ca(OH)_2$ . Den släckta kalken kan se ut som ett torrt pulver. Sedan tillsätts vatten i släckt kalk i ett bruk att karbonatisera långsamt och absorberar koldioxid  $CO_2$  från luften så att kalciumkarbonat  $CaCO_3$  återställas, Figur 1 (Målarkalk AB).

### Karbonatisering av kalkbruk

Kalkbruk och kalkfärg hårdnar (karbonatiserar) genom upptagning av koldioxid ur luften. Karbonatisering kräver värme och fukt och går långsamt. Lufttillträdet sker från ytan och inåt och därför ytan karbonatiseras först, för ett puts med tät ytbehandling tar det lång tid innan de inre delarna karbonatiseras. För att en 10 mm tjock puts skall bli helt karbonatiserad krävs cirka en månad. För att påskynda och säkerställa karbonatisering kan man fukta underlaget för alla påslag och strykningar med kolsyre vatten. Karbonatiseringsprocess ger bruket dess hållfasthet. Figuren 1 visar karbonatiseringsprocessen.



Figur 1: Karbonatiseringsprocess

### 2.2.2 Luft kalk (k)

Luftkalk bränns av ren kalksten som innehåller cirka 90 % kalk. Det innebär att kalkstenen är till största delen är bestående av kalciumkarbonat och med inslag av magnesiumkarbonat. Luftkalk hårdnar i två skeden. I det första sker en torkning då kalciumhydroxid bildar kristaller. På så sätt bruket får en viss hållfasthet men det sker inga kemiska reaktioner. Det andra skedet är när vattenhalten blir tillräckligt låg och antalet öppna porer tillräckligt stort. Då reagerar luftens koldioxid med kristallerna av kalciumhydroxid, och bildar kalciumkarbonat.  $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$ . Denna process kallas karbonatisering.

Den lufthärdande bindemedel härdar långsamt från ytan och inåt via upptagning av koldioxid. Detta bindemedel används till murning av tegelmurverk och putser vars tjocklek anpassas efter situationen. Luftkalks används i torra miljöer (Berggren 2017).

### 2.2.3 Hydraulisk kalk

Hydraulisk kalk är en annan variant av kalk som härdar under vatten och produkten har gått under namnet hydraulisk kalk sedan 1800-talet. Tidigare användes benämningen vattenkalk. Kalkbruk med hydrauliska komponenter har använts och producerats i Sverige sedan 1000- eller 1100-talet, dvs. lika länge som kalk tillverkats och förbrukats. Det hydrauliska kalkbruket erhålls av kalksten som innehåller förutom kalciumkarbonat även kiseldioxid ( $SiO_2$ ), aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ), järnoxid ( $Fe_2O_3$ ) och andra oxider som förekommer i den naturliga kalkstenen eller tillsätts vid bränningen. Vid bränning bildas silikater av kiselsyran som ger den hydrauliska egenskaper till kalk. Hydraulisk kalk hårdnar både i luften och även under vatten. Hårdnande genom reaktion med vatten benämns hydratisering.

#### 2.2.3.1 Hydratisering

Det finns tre metoder av hydratiseringsprocess att mäta graden av hydrering som används i Powers strukturella utvecklingsformler. Den första metoden är att använda en behållare med en hydratiserande pasta fäst vid ett kapillärrör fylld med vatten. På grund av suget som skapas i provet minskar vattnet i kapillärröret vid hydratisering av provet. På grund av det skapande av de luftfyllda utrymme i provet som ett resultat av sammandragning av vatten efter hydratiseringsprocessen. Som även kallas för ”kemisk - krypningsmetoden”. Andra metoden som är baserade på den första är att mäta mängden vatten som är kemisk bundet till cementshydraterna. På så sätt görs att hydratisera provet genom att värma upp till cirka 105°C eller att först ta bort allt fritt ohydratiserat vatten från det. Den tredje metoden är att värma upp samma prov till ytterligare ca 1050°C för att avlägsna allt kemisk bundet material. För att utvärdera hydratiseringsgraden kan båda massan av avdunstad fritt vatten vid 105°C och massan av kemisk bundet vatten som föras bort vid 1050°C användas (Johannesson 2012).

Hydratisering av hydraulisk kalk sker genom en exoterm reaktion med hjälp av vatten. Det är dock viktigt att hårdnandet av alla hydrauliska bindemedlet sker först i luft, men med lagom tillgång till fukt så att viss hållfasthet uppnås innan den utsätts för stora mängder av vatten. Under 1800-talet blev mer intresse för mängden fri kalciumhydroxid, CaO, i den brända kalken. Således fick greppet om hur stor mängd kalk som bundits till alla hydrauliska komponenter, främst kisel, järn och aluminium. Men där tog inte hänsyn till olika komponenternas effektivitet.

I början av 1900-talet infördes begreppet Cementindex, CI, som ibland kallas för Hydraulisk modul, där komponenterna effektivitet kunde vägas in. En vanlig definition av cementindex avgas av amerikanen Edwin C Eckel:

Andelen av kalciumoxid ( $CaO$ ), magnesiumoxid ( $MgO$ ), kiseldioxid ( $SiO_2$ ), aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ), samt järnoxid ( $Fe_2O_3$ ) kan beräknas genom den kemiska analysen enligt:

$$CI = \frac{(2,8 \cdot SiO_2 + 1,1 \cdot Al_2O_3 + 0,7 \cdot Fe_2O_3)}{(CaO + 1,4MgO)}$$

Den hydrauliska modulen ger erfarenhetsmässig en hyfsad uppfattning om bindemedlets styrka och beständighet. Den vanliga klassificeringen på cementindex är luftkalk med modulvärdet 0–0,15,

subhydraulisk kalk 0,15–0,3, låghydraulisk kalk 0,3–0,5, medelhydraulisk kalk 0,5–0,7, hög hydraulisk kalk 0,7–1,1, och romacement (naturligt cement) över 1,1 (Berggren 2017).

Den hydraulisk kalk som bränns av oren kalksten kallas naturligt hydraulisk kalk. Den naturliga hydrauliska kalken går under namnet Natural Hydraulic Lime NHL-kalk. Enligt (SS-EN 459) klassas den naturliga hydrauliska kalken efter hållfasthet. Kalken tillverkas i tre klasser: NHL 2, NHL 3,5 och NHL 5. Siffran anger tryckhållfastheten i MPa efter 28 dygn vid ett standardprovningförfarande. För hållfasthetsklassning och klassning med CI hos NHL-kalk tillverkad i Saint-Astier i Frankrike gäller följande: Subhydraulisk på gräns till låg hydraulisk NHL 2 ( $h_m = 0,29$ ), Medelhydraulisk NHL 3,5 ( $CI/h_m=0,62$ ) och Höghydraulisk NHL 5 ( $CI/h_m=0,74$ ). Alla tre klasserna är brända av samma sorts kalksten, men det är inte bara råstenens sammansättning som avgör styrkan och hydrauliska egenskaperna utan även bränningsprocessen, temperatur, uppehållstid, avsvälningstid och andra processer som är väsentligt för den hydrauliska egenskapen. Naturligt (liknar varandra i sin kemiska sammansättning enligt Fahnehjelm (Berggren 2017) och konstgjort cement innehåller 30–40 % lera med kiselinnehåll och hårdnar i både luft och vatten. Hydraulisk kalk innehåller 70–90 % kalciumkarbonat och 10–30 % lera som hårdnar i luft och vatten och luftkalk innehåller mer än 90 % kalciumkarbonat och mindre än 10 % lera som hårdnar i luft. (Johansson 2006) Hydrauliskt kalkbruk är oftast lämpligare i fuktigt klimat och vid tjocka påslag, jämfört med lufthärdande kalk. Hydrauliskt kalkbruk är lätt, har låg vikt och klarar tjocka påslag, mer än 35 mm utan att spricka och därför det är mycket lätt att jobba med hydrauliskt kalkbruk (Åkesson 2011). Om man jämför ett hydrauliskt kalkbruk med luftkalk ser man att det hydrauliska kalkbruket har egenskaper som gör att kan bli starkare och mer beständiga än luftkalkbruk och hållfastheten växer till snabbare än hos luftkalkbruk, men långsammare än KC-bruk(kalkcement-bruk). En annan egenskap som är viktig hos naturligt hydrauliskt kalkbruk är Relativt diffusionsöppet och just denna egenskap säkrar murverkets hållbarhet och byggnadens inneklimate som kan ersätta cement.

I tabell 1 redovisas den ungefärliga graden av hydratisering respektive karbonatisering (Johansson 2006).

Tabell 1. Den ungefärliga graden av hydratisering respektive karbonatisering för några typer av bruk och deras ungefärliga hållfasthet.

<b>Bindemedel</b>	<b>Grad av hydratisering</b>	<b>Grad av karbonatisering</b>	<b>Tryckstyrka</b>
<b>Luftkalk</b>	0%	100%	2–3 N/mm <sup>2</sup>
<b>NHL2 svagt hydraulisk kalk</b>	45–50%	50–55%	2–7 N/mm <sup>2</sup>
<b>NHL3,5 Moderat hydraulisk kalk</b>	75–80%	20–25%	3,5–10 N/mm <sup>2</sup>
<b>NHL5 Stark hydraulisk kalk</b>	80–85%	15–20%	5–15 N/mm <sup>2</sup>
<b>Portlandcement</b>	100%	0%	35 N/mm <sup>2</sup>

Fördelar med att använda Saint-Astier naturliga hydrauliska kalkbruk är: (Målarkalk 2021)

- **Isolerande egenskaper**

Det är poröst och diffusionsöppet. Därmed mindre fukt i väggar, mindre kölldrag och förbättras isoleringsförmågan. Eftersom ingen fukt stängs inne i murverket skapas inte heller svamp, mögel eller dålig lukt. Detta är en stor fördel för det invändiga klimatet i en putsad byggnad.

- **Bakterier och alger**

Saint-Astier NHL-kalk har en relativt hög alkalitet, vilket hindrar tillväxt av bakterier och alger.

- *Brett användningsområden*  
NHL-bruk kan användas på många olika områden såsom: fogning, grovputsning, finputsning, tunnputsning, dragning av gesimser, tillverkning av kalkbetong.
- *Rent material*  
Inga tillsatssämnen används. NHL är en bränd naturprodukt som inte har tillsats av till exempel cement, gips eller flygaska.
- *Väderbeständigt och saltresistant*  
Saint-Astier kalkbruk härdrar snabbare och blir mer motståndskraftigt än ett lufthärdande kalkbruk. Och på grund av att det inte finns några tillsatser som cement och gips är angreppen av alkaliska reaktioner inte är möjligt och eventuella salter i underlaget kan lätt passera igenom putsen utan kristallisering på ytan, vilket är mycket viktigt i kustnära miljöer.
- *Skonsamt och elastiskt*  
NHL-bruk skapar inte spänningar i murverket och tillåter mindre sättningar och rörelse utan att spricka på samma sätt som ett hårdare cementhaltigt bruk gör.
- *Material kan återanvändas*  
Byggnadsmaterialet som muras upp med Saint-Astier kalkbruk som tegelstenar och block kan renas och återvinnas.
- *God ekonomi*  
Den låga volymvikten på Saint-Astier NHL-kalk ger mer bruk för pengarna eftersom den köps i kilo men blandas i volym.
- *CO<sub>2</sub>-neutral*  
Koldioxid CO<sub>2</sub> som drivs ut från kalkstenen vid bränning återupptas under karbonatiseringen. vilket är en av miljövänliga egenskaper med Saint-Astier kalk.

#### 2.2.3.2 Saint-Astier kalk

Saint-Astier kalk är ett hydrauliskt kalkbruk framställt, det är mycket ren, naturligt hydraulisk kalk enligt EN-459, från Saint-Astier i Frankrike. kalken har inga hydrauliska tillsatsmedel som cement, gips, flygaska eller Puzzolana material. Den hydrauliska egenskapen fås enbart genom mängden upplösliga silikater i kalkstenen. Den färdigblandat Saint-Astier kalkbruk fås genom att blanda den med torkad, siktad och välgarderad kvartssand. Dessa bruk har extrem god vidhäftning, elasticitet och fuktgenomsläpplighet. Således är bruket mycket lämplig till nyproduktion, underhåll och restaurering av traditionella och historiska byggnader.

Saint-astier kalkbruk är passande till fogning, putsning, murning och takarbete med bruk. Bruket används även som läggningsbruk till tegel och naturstensgolv både ute och inne samt till arbete med gesimser. Saint-Astier kalkbruk finns i tre olika klasser enligt SS-EN 459. I Tabell 2 redovisas de tekniska egenskaperna hos NHL-bruk från Saint-Astier.



Tabell 2. Tekniska egenskaper hos Saint-Astier NHL-bruk.

Tekniska egenskaper	NHL2	NHL3,5	NHL5
Hydraulisitet	Svag	Medel	Stark
Tryckstyrka N/mm <sup>2</sup> 28 dygn 1:2, 0–4 mm	1,48	1,88	2,20
6 månader 1:2, 0–4 mm	3,84	7,10	7,31
12 månader 1:2, 0–4 mm	4,00	7,50	9,28
Elasticitetsmodul, Mpa 28 dygn 1:2, 0–4 mm	9025	9010	10 800
Böjhållfasthet, N/mm <sup>2</sup> 28 dygn 1:2, 0–4 mm	0,74	0,73	0,90

Beteckningar:

- Kh= Hydraulisk bruk
- KKh: Blandning av lufthärdande och hydraulisk kalk
- Ks= Sub-hydrauliskt bruk
- K= Rent kalkbruk, luftkalk
- KC= kalkcement
- 1:2= Blandningsförhållande, det innebär 1 volymdel Saint-Astier kalk blandas med 2 volymdelar Ballast (sand) mellan ca 0–4 mm.
- 2:1:12: Innebär att 2volymdelar kalk, 1 volymdelar cement och 12 volymdelar sand KC
- 100/50/450: Innebär att 100 kg kalk, 50 kg cement blandas med 450 kg sand
- Kkh 20/80/475: Innebär att 20 kg kalk, 80 kg hydraulisk kalk med 475 kg natursand

## 2.3 Val av bruk

Att välja ett lämpligt bruk beror på vilka krav som ställs på bruket och vad det används till. Bruket i murverk ska hålla samman stenarna och ge en viss hållfasthet till murverket, men dessa krav gäller inte vid putsning. Vid puttskikt är det främst klimatskydd och den estetiska inverkan som är viktiga aspekter.

### 2.3.1 Murbruk

Ett murbruk används främst för fyllning av fogarna för att få en god vidhäftning till murstenarna, murbruket är ofta lite grövre än putsbruk. Val av murbrukskvalitet görs med hänsyn till murstens typ och det tryck som murverket är dimensionerat för. Murbruks hållfasthetsklasser har tidigare indelats i klasserna A till D, men senare har det tillkommit nya beteckningar för klassificering av murbrukshållfasthet. M10 betecknar det starkaste bruket och M0,5 är det svagaste. (Boverket 2021). I tabell 3 redovisas klasserna M10 – M0,5 för murbruk.

Tabell 3. Murbruksklasser - Hållfasthetsklasser.

Tidigare	Murbruksklass	Användningsområde
A-klass	M 10	Används för murning med höghållfasta stenar/murblock i utsatt miljö, oftast under eller i anslutning till mark.
B-klass	M 2,5	Används till fasadmurning i de flesta förekommande fall.
C-klass	M 1	Används till fasadmurning, oftast där man vill undvika delfogar, kräver mycket bra förutsättningar vad gäller vattenavledning. Används normalt inte i utsatta eller sjönära läget.
D-klass	M 0,5	Används till renovering av äldre bebyggelse där kalk eller hydrauliska kalkbruk sedan tidigare använts.

### 2.3.2 Putsbruk

Putsbruk används främst när man ska putsa en fasad och ger ett estetiskt intryck på fasaden. Valet av putsbruk väljs beroende på hur putsningen ska utföras, typ av underlag och klimatpåfrestningar. Putsen bör anpassas till underlaget och ska aldrig vara starkare än underlaget. Ofta är putsbruket lite mer finkornigt än murbruket. Det finns även varianter som är båda puts- och murbruk. Dessa kan man använda när det behövs både murning och putsning (Burström 2007). Putsbruk delas in i hållfasthetsklasserna enligt SS-EN 998-1 beroende på tryckhållfastheten för en standardiserad provkropp. Klasserna benämns CS I, CS II, CS III osv. Ju högre värde desto hårdare bruk. Exempelvis innebär CS III att den uppmätta tryckhållfastheten är mellan 3,5 och 7,5 MPa.

## 2.4 Kalkputs

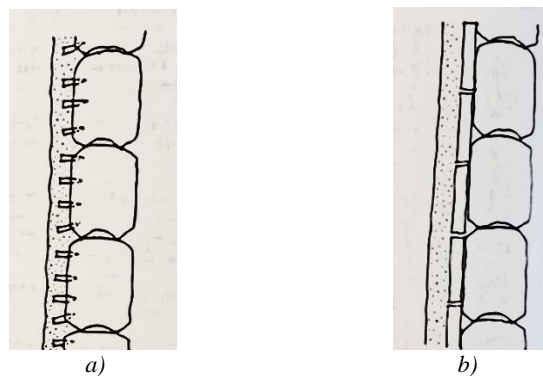
### 2.4.1 Putsens byggnadskemi

Puts består av bindemedel, ballast, vatten och eventuellt tillsatsmedel. Hur materialet tillreds, appliceras och bearbetas påverkar hur slutprodukten kommer att se ut och fungerar. *Bindemedel:* Kan bestå av hydraulisk kalk, luftkalk och cement, vilka är några typer av bindemedel som erhålles av kalksten och det är halten kalciumkarbonat och lermaterial i kalkstenen som är avgörande för vad bruket ska användas till.

*Ballast:* Det är ballasten i bruket som påverkar egenskaper hos putsbearbetningen såsom vidhäftningen, porositet, tryckhållfasthet och krympning. Det viktigaste ballastmaterialet är sand. Dock finns gnejs, granit och kalksten som ballastmaterial också. Dessutom påverkar kornstorleken och korngraderingen hos sanden eller ballasten brukets egenskaper.

### 2.4.2 Kalkputs på träbyggnader

Revetering är en metod som används för att till exempel inordna en träbyggnad med omgivande stenbyggnader. Förr bestod oftast reveteringar av kalkbruk applicerat direkt på timmerstommen med råhuggning och pliggar som fäste, se figur 2, och ett putsskikt på 4 – 8 cm var vanligt. Senare tiders reveteringar har utförts med ett 2,5 cm tjockt reveteringstegel eller med en rörmatta på papp och spräckpanel, varvid putsen hållits tunnare och därmed blivit känsligare för vatten, frost etc.



Figur 2. a) Kalkputs på träpligg b) kalkputs på spiktegel.

### 2.4.3 Putsning

Putsning av fasad består normalt av tre skikt: *Grundning som* jämnar ut sugförmågan och bildar god grund för vidhäftning. *Utstockning (grovputs)* som utjämnar ytan och ger volym. *Finstockning (Ytputs)* som är avjämnande och står för estetiken.

*Grundning:* Grundskiktet måste vara heltäckande, men samtidigt tunt, cirka 1–2 mm. För att man lätt skall kunna se om grundningen utförts rätt tillverkas speciella grundningsbruk som innehåller färgpigment. Vid svaga underlag bör ett svagare bruk väljas. Grundningsbruket ska ha en vällingliknande konsistens och ballasten ska ha samma kornstorlek som normalt putsbruk.

*Utstockning:* Utsockning eller grovputs fyller ut ojämnheter i underlaget och därför är skiktet tjockare, normalt 10–15 mm. Om tjockare skikt appliceras ökar risken för krympsprickor.

*Finstockning:* Är det yttersta skiktet som ger fasaden dess kulör och struktur. Ytputsens tjocklek varierar kraftigt beroende på strukturen. En mycket grov ytputs kan vara 8–10 mm tjock.

Det finns flertal ytskiktsvarianter såsom *slätputs*, den jämnas av med en rivbräda till en helt slät yta. *Spritputs* har en mycket grov struktur som erhålls genom att byta ut en del av ballasten (20–60%) mot singel med kornstorlek 3–16 mm. *Stänkputs* kan betraktas vara ett spritputs i miniatyr. Ytan blir småkornig genom en särskild appliceringsteknik, m.m.

### 2.4.4 Olika typer av puts

Det finns olika varianter av puts som används som fasadputs, skillnaden är beroende av utseende och krav. Exempelvis:

*Ädel puts:* Är en oorganiskt ytskiktputs och innehåller kalk, cement, dolomit (krossad vit marmor) och pigment. Fördelen med ädelputs är att putsen inte släpper in fukt i konstruktionen och låter väggen andas.

*Slät puts:* Som namnet säger är då ytan i det närmsta slät med endast mycket små ojämnheter.

*Spritputs:* Putsen som läggs på fasaden med hjälp av maskin, för hand eller med hjälp av slev. Spritputs har ojämna stenar och storleken på ojämnheterna kan variera från millimeter upp till centimeterstora.

*Stänkt puts:* Är putsen som ofta appliceras med hjälp av spruta eller den stänkputsapparat (mölla). Namnet kommer från appliceringsmetoden stänkning.

### 2.4.5 Vanliga problem med kalkputs

Fasadytskikt utsätts alltid för påfrestningar och detta gäller för putsar också, för att dessa påfrestningar inte skall orsaka allvarliga skadliga effekter måste vissa krav uppfyllas (Sandin1984). Vanliga problem hos kalkputs kan nämnas:

*Frostsprängning och vatten:* Skadorna av frostangrepp kan visa sig på olika sätt, avflagnad färg, spjälkning av puts eller total sönderfrysning av vissa delar av fasaden. Skadorna är av estetisk natur men kan i vissa fall utvecklas till en risk för byggnaden. Frostskador är vanligast på väderutsatta ytor där slagregn kommer åt.

*Saltangrepp:* Saltangrepp kan medföra estetiska och tekniska olägenheter som nedbrytning av material eller avflagnig och avvitring. Salter kan bildas via kemiska reaktioner i väggen, eller kan komma från marken genom uppstigande markfukt eller finns från början i materialet.

Vidhäftning: Vidhäftning fungerar bra när putsen/ytskiktet har en bra kontakt med underlaget. Vid dålig vidhäftning kan putsnedfall förekomma.

Sprickbildning: Sprickor på fasad beror på rörelsen i underlaget av putsen, det kan vara på ytskiktet eller i underlaget av puts. Den vanligaste orsaken till sprickor är fuktrörelse, temperaturändring och krympning. Samt feta putsar med för hög hållfasthet vilka kan orsaka sprickor.

Alger, lavar med mögel: Murytor som tillförs näringsämnen från fåglar, träd och buskar missfärgas av mögel och skadas av alger och lavar, speciell i skuggiga platser där torkningen sker långsam.

#### **2.4.6 Åtgärder av de kalkputsproblemen**

Frostsprängning: Praktiska erfarenheter, hypoteser och laborationsprover visar enligt (Sandin 1984) att:

- Frostbeständigheten hos KC-bruk ökar med cementhalten.
- Luftporsbildande tillsatser i oorganiska putsbruk förbättrar frostbeständigheten.
- Ett putsbruk av bruk klass C med luftinblandning (12–15 %) har i de flesta situationer en tillräcklig frostbeständighet.
- Vid kraftig frostpåkänning bör ett bruk i bruk klass B väljas.
- En puts måste få tillfälle att härda innan den utsätts för frysning.
- Dåliga betingelser under putsens härdning kan ge dålig frostbeständighet i framtiden. Snabb uttorkning eller alltför
- De flesta frostsador har ett samband med läckage eller dåliga avtäckningar.
- Även taksprångets storlek har stor betydelse.
- Ytbehandla ej fuktiga murverk på hösten/vintern.
- Murverk med uppstigande markfukt bör ej ytbehandlas.
- Tunna ytskikt direkt på tegel har visat sig vara vanskligt. En slamning mellan tegel och ytskikt har visat sig fungera bättre. Ju tjockare slamning, desto säkrare resultat.

Saltangrepp: Att välja rent vatten för materialblandning kan vara en alternativ till mindre salt i materialet eftersom rent vatten kan innehålla salter och skadliga föroreningar som kan orsaka både saltangrepp och missfärgningar för puts. Helst drickbart vatten kan användas.

Vidhäftning: För att putsen skall ha en bra kontakt med underlaget innebär att underlaget skall vara rent för att putsen väter underlaget ordentligt.

Alger, lavar och mögel: Fasader med alger, lavar och mögel sprayas med 5–10%-ig Benac 50 lösning 3–4 dygn före högtryckstvättning med rent het tvätt.

#### **2.5 Puts i förhållande till tid**

Med tiden har mycket förändrats inom byggbranschen, såsom inom restaureringssätt, tidsförhållande och ekonomin, eftersom kalkputsarbetet är tidskrävande och därför kan orsaka förseningar i tidplaner och byggtid. Under medeltiden när kalkputs kom som ett fasadelement var cement det dominerande bindemedlet i puts eftersom, det var det perfekta materialet eftersom det var både snabbt och starkt. Men senare när de upptäckte att cement inte var det perfekta bindemedlet återgick man igen till kalk som bindemedel i puts, men arbetssättet ändrades från hur man jobbade kalkputs till som de jobbade med cementputs under tiden. Till exempel lagringstid för kalken, blandningstid för bruket och härdningstid. Under medeltiden var inte tiden avgörande utan det var resultatet av arbetet som var väsentlig, men idag spelar tiden stor roll inom byggbranschen för att ekonomin blev alltmer viktig. Att tid är pengar känner alla till det, men man kan inte undvika att tiden viktig för kvalitén inom kalkputsarbetet. Tiden är avgörande för kalkputsens motstånd mot vädrets makt (Kristin 2005).

### 2.5.1 Vädrets inverkan

Vädet har stor betydelse inom kalkputsning. Eftersom kalkbindemedel kräver värme, fukt och koldioxid för att karbonatisera. Därför ska temperaturen hållas över +5°C under arbetets gång. Om temperaturen går under 0°C börjar vattnet frysa och förändrar brukets förmåga. När vattnet fryser expanderar iskristallerna och utsätter bruket för ett tryck som kan innebära ingen eller låg hållfasthet. I princip kan tre fel uppstå på grund av miljön som gör att kalkbruket inte härdar ordentligt. När är det för kallt, för blött eller förr torrt. För torrt blir det vid direkt solsken under sommartid, vilket kan lösas via vattning. Är det för kallt hårdnar inte heller eftersom det behövs värme för att kalkbruket skall karbonatisera/sluthärda. Men risken är större vid blött puts eftersom vid större fuktighet blir porerna för täppta av vattendroppar så att luftens koldioxid inte kan komma in, då härdar inte putset på grund av för hög fuktighet, således skall torkas ut putsen via uppvärmning (Hidevark & Holmström 2012).

För att få en lämplig miljö kan man ordna med vintertäckning av armerad värmeisolerad folie och uppvärmningen bör ske med gasol som ger värme, fukt och koldioxid (Åkesson 2011).

Fler värmekanoner ger god värmefördelning i sidled. För att registrera temperatur och luftfuktighet används digitala instrument. Registrering av temperatur och luftfuktighet registreras en gång per timme med loggarna. Arbetsområden ska utan avbrott hålla +8°C med RF på minst 50% fram till att sluthårdning skett. Efter avslutning av färg och putsning, kan uppvärmningen och vintertäckningen tas bort.

Vädet påverkar putsen under olika skeden:

1. Vid putsningsarbete påverkar det torkningen
2. För nytillverkad puts påverkar det härdningen
3. För äldre puts påverkar det nedbrytningen

Figurer 3 a) och b) uppvisar några bilder på intäckning av byggnadsställning med vintertäckning för att kunna hålla rätt temperatur för fasadmaterial. Bilder är från Elin Wägnerskolan i Växjö under restaureringsarbete där arbetsområden ska utan avbrott hållas +8°C med RF på minst 50% fram till att sluthårdning skett.



a)



b)

Figur 3. a) Utsidan och b). Insidan av vintertäckning av fasaden.

## **2.6 Varför används kalkputs**

Kalkputs har många fördelar som kan vara betydlig värdefulla för byggnadens beständighet och utseende. Det finns många fördelar med kalkputs. Huset mår bra med kalkputs, eftersom kalkbruket är ett porösare material vilket leder till att det lätt kan följa med husets rörelse. Därför blir skadorna små och kan lagras snabbt och man behöver inte putsa om hela huset. Det är också lätt att reparera kalkputsfasaden själv och man behöver inte någon professionell murare. Det som är viktig att veta inför kalkputsarbetet är att reparationer bör ske under den frostfria perioden av året för att putsen skall hinna karbonatisera innan kylan kommer. (Riksantikvarieämbetet 2014). Vanligtvis görs detta arbete under maj till september.

### 3 Objektsbeskrivning

För att kunna komplettera den teoretiska beskrivningen valdes en byggnad i Växjö som höll på att restaureras. Byggnaden är Elin Wägnerskolan som är en grundskola som ligger mitt i Växjö. Den är byggd åren 1898–1901 för fattigvård (1901–1903). År 2015 började den att användas som grundskolan. Ett restaureringsarbete av fasaden på Elin Wägnerskolan med hydrauliskt kalkbruk påbörjades under våren 2020 av KARLSSONS FASAD AB, se figur 4. Fasadrenoveringen är hoppningsvis klar i november 2021. Att restaurera innebär att man använder ursprungliga hantverksmetoder och material, men sådant som är på väg att gå förlorat rekonstrueras och återskapas såsom rusticeringar, takfotlister, listverk, omfattningar och övriga putsade ytor. I figur 4 visar arbetet med taklister på Elin Wägnerskolan.



Figur 4.) kalkputsnings renovering av taklister

Härdningstiden av kalkputs bestäms av luftomsättning, temperatur, luftfuktighet och skiktjocklek. Normal torktid är 2–6 mm per dygn i 20 grader och 65 % relativ fuktighet. Därför utförs arbetet helst i temperatur mellan +5 - +30 °C. Under hösten, augusti till oktober och på våren, från april, är de bästa perioderna för arbete med kalkputs. Några problem som bör undvikas under dessa tider är hastigt uttorkning på grund av hög temperatur eller kraftig vind. Vinter eller sommartid skyddar man ytorna mot frost, regn, direkt solljus och stark vind genom en täckt ställning. I nedanstående figur 5 visar sommartäckning på byggnaden Elin Wägnerskolan för att skydda direkt solljus.



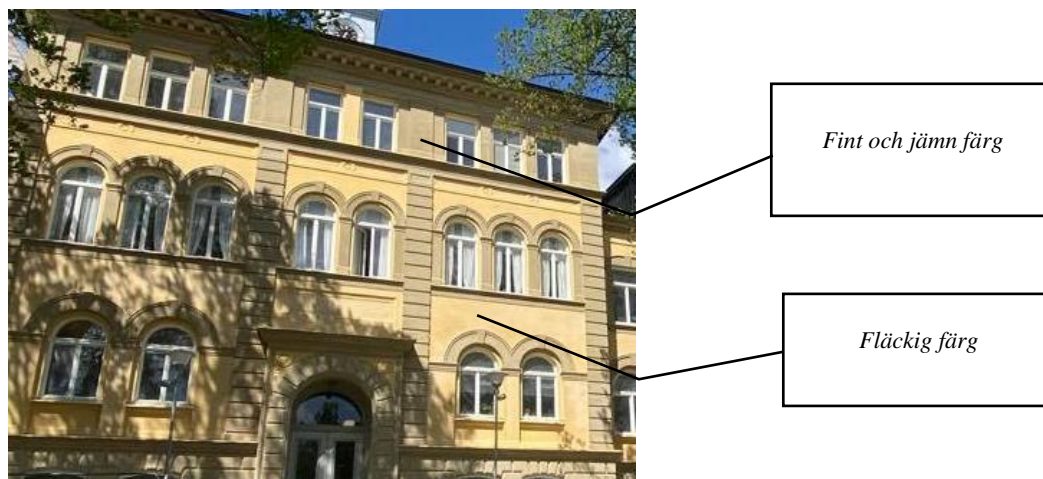
a)



b)

Figur 5. a) Utsidan av täckningen b) insidan av täckning.

Arbetet på Elin Wägner skolan under vintertid hade speciella problem, Enligt Kent Siverlan, projektledare för Elin Wägner skolans restaureringsarbete, hade de under vintern problem med att hålla rätt och jämn temperatur dygnet runt. På grund av ojämn temperatur och oregelbunden vattning fick de fläckar på vissa delar av väggen. Dessa kommer det att färgas om. Figur 6 nedan visar den fläckiga gulaktig färgen på byggnadens fasad.



Figur 6. Elin Wägners skolans fasad efter restaurering.

Arbetet under vintern är mer kostsamt på grund av uppvärmningen för att kunna hålla rätt och jämn temperatur under arbetet, vilket är viktigt för att fasadputs och andra typer av färger kan torka på ett lämpligt sätt. Under vintern kan det på grund av kraftiga vindar ske hastig uttorkning i puts och färg vilket orsakar att fasadputs och färg inte torkar på rätt sätt och därmed får olika nyanser. Figur 7 visar byggnaden innan och efter restaureringsarbetet på Elin Wägnerskolan i Växjö.



Figur 7. a) Innan restaureringsarbetet och b) Efter restaureringsarbetet, innan färgen torkat helt.



Figur 8 uppvisar den genomförda delen på Elin Wägnerskonas byggnad.



*Figur 8. a) och b) Elin Wägnerskolan efter restaurering*

I Elin Wägnerskolan har det gjorts murningsarbeten med fulltegel för stomkomplettering där det behövdes, rostskyddsfärg har applicerats på detaljer av järn i stommen och befintlig puts på tegelstommen har bilats bort. Därefter har man rengjort med hetvattentvätt och grundat med kalkgrund. Sedan stockning gjorts två gånger med 4 mm tjockt NHL-kalkbruk. Avslutande finstockningen har gjorts med 1 mm tjockt NHL-kalkbruk på lister i 4 skikt på grund av formgivningingen av lister och omfattningarna och två gånger avfärgning med kungskalk (se 2.1). Byggnaden täcktes med vinterplast och dieselvärmare används för att hålla rätt temperatur. De bruk och den målarkalk som har använts är NHL-kalkbruk och kalkfärgen som använts, Kungskalk, kommer från en av de större leverantörerna av målarkalk.

## 4 Metod och genomförande

Metoden som används för att få fram resultat i denna studie är experiment, intervjuer.

### 4.1 Metod

#### 4.1.1 Intervjuer

I arbetet har några intervjuer genomförts för att få mer information om nuvarande användning av kalkputs med hydraulisk inblandning och för att få information om den senaste kunskapsuppdateringen om kalkputs. Intervjuer har främst skett med leverantörer av de material som används vid putsning och murning med kalkbruk då dessa antas besitta den främsta kunskapen om produkterna. Intervjuer var en semi-strukturerade. Bland annat har Ulf Nymberg, försäljare och en av delägarna på Målarkalk och Kent Siverland, projektledare inom restaurering på Karlssons Fasad AB intervjuats. Syftet har varit att fånga in så mycket erfarenhetsbaserad information som möjlig. Informationen som har erhållits genom intervjuerna har använts till undersökningen och för att fastlägga grundförutsättningar som har varit nödvändiga för att utföra experimentet. De har även bidragit till delar av tidigare studier. Vid de två intervjuerna, den ena med Ulf Nymberg som är försäljare och en av delägarna på Målarkalk och den andra med Kent Siverland, som är projektledare på Karlssons Fasad AB, det företag som restaurerade Elin Wägnerskolan, diskuterades nedanstående frågor.

##### 4.1.1.1 Intervju med Ulf Nymberg

1. Vilka fördelar respektive nackdelar finns det med att använda kalk som puts?
2. Vilka fördelar respektive nackdelar finns det med användning av naturligt hydrauliskt kalkbruk?
3. Är det dyrare med användning av naturligt hydrauliskt kalkbruk jämfört med andra bruk, exempelvis cementbruk?
4. Krävs det mer arbete och undersökningar för att få bättre resultat med kalkputs? Exempelvis för att minska arbetstiden, eftersom det tar långtid för kalkputsarbetet på grund av karbonatiseringstiden.
5. Finns det några, som du tycker, viktigare moment gällande naturliga hydrauliska kalkbruk?

##### 4.1.1.2 Intervjufrågor med Kent Siverland (Gemensamma frågor):

1. Vilka fördelar och nackdelar finns med kalkputs?
2. Varför ska kalkputs användas som fasadmateriäl i stället för tegel eller trä?
3. Hur upplever du som projektledare arbetet med kalkputs?
4. Vilka skillnader finns mellan NHL och andra kalkbrukssorter?

##### 4.1.1.3 Intervju gällande Elin Wägnerskolan

1. Vilka metoder. Hur arbetar ni med kalkputs vid fasadrenoveringen?
2. På vilket sätt skiljer sig er tekniska utrustning från?
3. Vilken metod har ni använd för arbetet?
4. Vilka problem hade ni/förekom under arbetet med kalkbruk som fasadputs?
5. Vilka material har använts för restaureringen av Elin Wägnerskolan?

#### 4.1.2 Experiment

Experiment har genomförts för att identifiera och undersöka kalkens reaktion och den karbonatiseringsgraden efter sluthärdandet. Syftet med experimentet är att undersöka karbonatisering av kalkputs med hydraulisk inblandning. De egenskaper som testades var karbonatiseringsgraden av naturliga hydrauliska kalkbruk under olika miljöer. I experimentet användes flera mindre prover för kemisk analys av karbonatiseringsgraden.

##### 4.1.2.1 Material och utrustning

- Det material som användes i experimentet var naturlig hydraulisk kalk av fabrikatet Saint-Astier NHL5 Mørtel.
- Som indikator på karbonatiseringen användes fenolftalein (2 % fenolftalein i 95% alkohol alltså 1 gr fenolftalein i 50 ml 95% alkohol).
- En hushållsvåg användes för att mäta vatten och bruk.

##### 4.1.2.2 NHL5 Mørtels egenskaper

Saint-Astier kalk NHL 5 har goda möjligheter att härda i fuktiga och utsatta miljöer. Används för platsblandning av hydrauliska kalkbruk med hög styrka och är fabrikattillverkad. Murbruket är pumpbart och kan användas som spraygips. Innehållet av bruket är den naturliga hydrauliska kalken av ugnstorkad kvartssand och kalkfyllmedel. I tabell 4 redovisas en produktöversikt av innehållet och egenskaper för det i experimentet undersökta kalkbruket, NHL5 Mørtel.

Tabell 4. Produktöversikt av innehållet i NHL5 Mørtel.

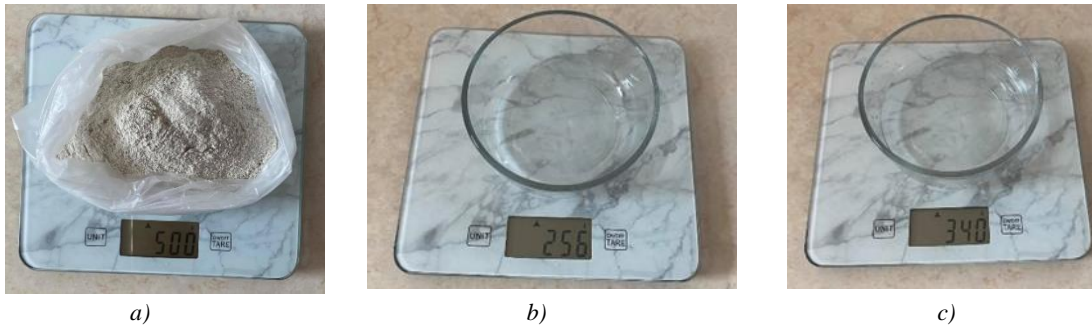
Produkt	Produktbeteckning	Produkttyp	Kornstyp	Kornstorlek (mm)	Blandningsförhållande
Saint-Astier kalk NHL5	Kkh 20/80/475	Torr	Kvartssand	0-4	1:2

##### Användningsområdet:

Murning, Fasad och sockel, Grovputs/utsockning, Fogning av murverk, Dragning av gesims, Läggnig av takpannor i bruk, Läggnig av golvtegel, läggnig av rök och stenblock, skorstensrör och bogsering och reparation av äldre gips och fogar, rökstockar och socklar.

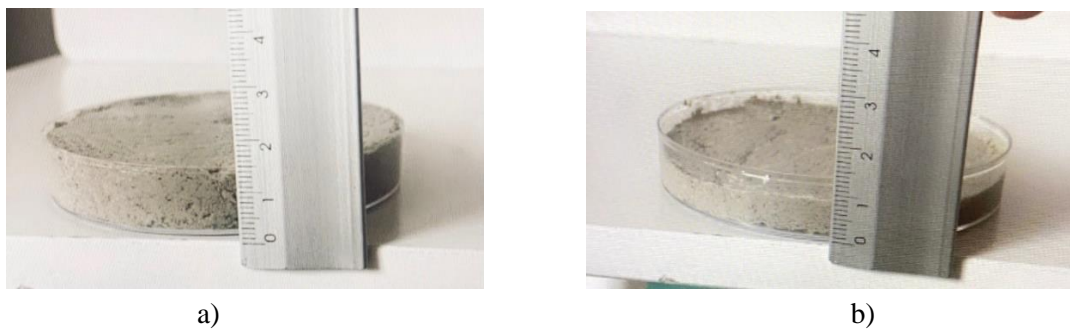
##### 4.1.2.3 Fenolftaleintest av karbonatisering

Testet genomfördes i maj månad. En hushållsvåg användes för att väga kalken. Först vägdes 500 gram hydrauliskt kalkbruk som sedan tömdes i en skål. Därefter tillsattes 84 ml vatten enligt förpackningens anvisning och blandades under 7–10 minuter med händerna. Sedan var kalkbruksblandningen klar. Glasskålen vägde 256 gram och med 84 ml vatten i skålen visade vågen vikten 340 gram. I figur 9 redovisas vägningen av bruk och vatten.



Figur 9. a) 500 gram NHL b) glasskåls vikt 256 gram c) Tillsatt av 84 ml vatten, totalt 340 gram.

Vid provtagningarna användes petriskålar som fylldes med samma blandning av kalkbruk i olika tjocklekar, 5 – 20 mm. Därefter placerades petriskålarna i temperaturer mellan  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  och  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  för att torka i tio dygn. Proverna observerades dagligen. Figur 10 visar mätningen av bruksprovernas tjocklek.



Figur 10. Kalkdeg a) ca 15 mm b) ca 9 mm

Ett par av proverna med olika tjocklek placerades inomhus i rumstemperatur. En del placerades i kylskåp samt några i frysskåp. Andra prover placerades utomhus på en balkong i varierande klimat med både regniga och soliga dagar med varierande temperatur och luftfuktighet. Vid provningstillfället, som var i början av maj, varierade temperaturen mellan  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  och  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Den tionde dagen analyserades bruksproverna och en kontroll av karboniseringsdjupet gjordes. Karboniseringsdjupet mätts då med hjälp av fenolftaleinindikatorn. För att säkerställa resultaten gjordes ytterligare mätningar på samtliga prover. I det första steget testades fenolftaleinindikatorn på proverna som hade lagrats i tio dygn och mätts karboniseringsgraden av dem. Sedan hällde vatten på samma prover för att bli blötlagt och därefter mätts igen karboniseringsgraden av de blötlagda proverna, eftersom på det sättet syns bättre att vilken har karboniserats mer eller mindre.

#### Torrt prov

Vid luftlagrade prov tillsattes några droppar fenolftaleinindikator i petriskålar fyllda med luftlagrade kalkbruk som visade betydlig olika reaktioner. IIsken rött färg samt en svagt lila färg. Det ilsket röda eller lila betecknar att kalkbruket inte ännu har karboniserat och kalkbruket i utan färg har helt eller delvis karboniserats. Karboniseringen sker från ytan av kalciumhydroxidkristallerna och därav reagerar inte helt karboniserat kalkbruk när lösningen når ner och ger en röd reaktion.

### Vått prov

Vid detta prov fuktades samtliga prover med litet kranvatten för att säkerställa karboniseringsgraden av proverna. Blir det fortfarande inte rött efter fuktning är provet helt karboniserat, blir det rött är karboniseringen endast ytlig. Är putsen fuktig blir den karboniserade delen också röd (omedelbart eller efter en liten stund) om karboniseringen inte är fulländad.

## **4.2 Fältförsök**

I denna studie har alltså både primär- och sekundärdata samlats in. Primärdata i undersökningen kommer från fälttest på kalkputsens olika ingrediensbest, för att kunna bestämma karboniseringsgraden hos det naturliga hydrauliska kalkbruket behövs med hänsyn till de befintliga data samt intervjuer med två företag Målarkalk som är en av den största leverantör inom kalkbaserade byggprodukter och AB Karlssons Fasadrenovering.

Sekundärdata samlats in för att samla fakta om kalkbruk och det naturliga hydrauliska kalkbruket, dess användbarhet och hållfasthet sammanställts genom litteraturstudier av vetenskapliga artiklar, elektroniska dokument, facklitteratur som funnits i digitala vetenskapliga arkiv, Diva och fjärrlån av andra bibliotek för att få en bättre förståelse inom ämnet och vilka egenskaper det naturliga hydrauliska kalkbruket har. Vetenskapliga artiklar har sökts via relevanta databaser och framförallt från referenslistor i andra vetenskapliga artiklar. Bland de sökord som används: NHL, härdning av kalkputs och Hydraulisk kalkbruk.

## **4.3 Urval**

Arbetet inleddes med att flera olika relevanta nyckelfaktorer definierades, som sedan användes för att kunna söka efter lämpliga källor till arbetet. För att öka reliabilitet i arbetet lades en väsentlig del av arbetets tid på att hitta och studera vetenskapliga källor. Ett par intervjuer valdes för att få synpunkter från aktörer som representerade en del av arbetet. För att återge en representativ bild av arbetsprocessen valdes en försäljare/delägare och en projektledare inom området som kan det mesta av ämnet. Kontakt togs i första hand via mejl och efteråt vid två telefonsamtal med en aktör från en av de större leverantörerna, Målarkalk och några besök på i en pågående arbetsprocess i Växjö. som Karlssons Fasad AB fick ansvaret för fasadrenoveringen.

## 5 Resultat och analys

### 5.1 Resultatet av Experiment

Av resultaten från experimenten framgår att det hydrauliska kalkbruket som lagrats inomhus i en rumstemperatur av ca 20 °C och det bruk som lagrats i kylskåpet hade delvis karbonatiserat, De bruk som lagrats i frys och utomhus hade inte karbonatiserat. Anledningen till att de inomhus och i kylskåp lagrade bruken hade karbonatiserat är förmodligen att de har lagrats i en lämplig temperatur och en lämplig luftfuktighet jämfört med de bruk som inte hade karbonatiserat och som hade lagrats i andra klimat. Dock tjockleken har stor betydelse för karbonatiseringen av kalkbruket lika som temperaturen, vilket syns i test med tjockleken ca 20 mm som inte karbonatiserats lika som andra med mindre tjocklek, ena med 5 och 10 mm har karbonatiserats väl synligare. Temperaturen utomhus varierade under experimentet mellan + 6 °C och + 22 °C. Inomhus var temperaturen konstant cirka 20 °C, i kylskåpet cirka 5 °C och i frysen ungefär –15 °C. Luftfuktigheten utomhus varit genomsnittligt omkring 75 %, inne betydligt lägre, troligen omkring 30 %.

#### Torrt prov

Proverna som är ofärgade eller något rosafärgade har sluthärdat, det vill säga karbonatiserat helt eller delvis. Den skarpt rödlila delen är inte sluthärdad utan innehåller fortfarande kalciumhydroxid. Det som blir ilsket rött har ännu inte karbonatiserat. Figur 11 och 12 visar bruk med olika tjocklek, och i figurtexten anges i vilken miljö de har lagrats.



Figur 11. a) Tjocklek 22 och 5 mm i rumstemperatur ca 20°C b) Tjocklek 15 och 7 mm i frys, temp ca –15°C.



Figur 12. a) Tjocklek 5,10, 20 mm, balkong, temp 7–22°C b) Tjocklek 5 och 10 mm, kylskåp, temp ca 5°C.

### Vått prov

Efter blötning märker vi att inget av vårt prov har karbonatiserats helt utan ytlig eller delvis. Figur 13 och 14 visar våta prover och i vilka miljöer var de inlagda.



Figur 13. a) prover i rumstemperatur b) prover i frys.



Figur 14: a) prover i balkong, b) prover i kylskåp

## 5.2 Resultat av intervjuer

### 5.2.1 Intervju med Ulf Nymberg

#### 1. Vilka fördelar finns med att använda kalk som puts?

Fördelar med en putsad fasad med kalkbruk och kalkfärg är att en tegelfasad som murats med rätt bruk är den fasad som kräver det minsta underhållet.

#### 2. Vilka fördelar respektive nackdelar finns med användning av naturligt hydrauliskt kalkbruk?

Det finns inget entydigt svar på det eftersom det är olika varianter av hydrauliska kalkbruk och var och en har sina särskilda egenskaper. Däremot när det gäller NHL kan generellt nämnas att fördelen är att bruket blir inte lika hårt som cementbruk och är lättarbetat. Detta kan variera av vilket NHL bruk används också, exempelvis NHL 2 är lättare, smidigare och väldigt elastisk i förhållande till NHL 5, vilket har mer av luftkalkbruks egenskaper.

#### 3. Är användning av naturligt hydrauliskt kalkbruk mer kostbar än andra bindemedel, till exempel cementbruk?

Det är dyrare än cementbruk och detta beror på att cementhaltiga produkter tillverkas i enormt större omfattning än naturligt hydrauliska kalkbruk och cement som bindemedel används idag av tradition.

- 4. Krävs det mer arbete och undersökningar att få bättre resultat med arbetet av kalkputs? Exempel, att driftstiden av arbetet med kalkputs minimeras.**

Om arbetet förbereds och planeras med de härdningstider som kalkbruk kräver anser vi inte att det ska behöva bli några ökade eller oväntade kostnader. Att forcera arbetet och samtidigt få ett tekniskt gott resultat är inte förenligt.

- 5. Finns det några, som du tycker, viktigare moment gällande naturliga hydrauliska kalkbruk?**  
Det ska användas rätt material på rätt plats, att använda material som är billigare löser inte problemet utan kan orsaka ytterligare problem. Med andra ord kan man säga låt huset bestämma att det underlag redan finns och anpassa påslagsmaterialet efter det. Det naturliga hydrauliska kalkbruket som bindemedel kan i framtiden ersättas av cementbaserade bruk utan något problem.

### 5.2.2 Intervju med Kent Siverland

#### Gemensamma frågor

- 6. Vilka fördelar finns med kalkputs?**  
Kalkbruket är mjukare än cementbaserat bruk vilket minimerar sprickor om det blir rörelse i stommen samt användning av blandade bruk är mycket längre efter blandningen, ungefär 12 timmar. Det är lätt att jobba med.
- 7. Vilka nackdelar finns det med kalkputs?**  
Han tycker att det inte finns så många nackdelar men det gäller att inte använda kalkputsningen på utsatta ställen, till exempel lager med truck-körning, direkt anslutning till vatten o.s.v.
- 8. Varför används kalkputs som fasadbeklädnad i stället av tegel eller trä?**  
Eftersom kalkputs är ett traditionellt fasadmateriäl, utseende av kalkputs är finare och finns mer färgvarianter i kalkputs jämfört med andra fasadmateriäl samt kostnaden för renovering är mindre.
- 9. Hur upplever du som projektledare arbetet med kalkputs?**  
Förespråkar kalkbruk jämfört med andra bruk.
- 10. Vilka skillnader finns mellan NHL och andra kalkbruks såsom kalkcementbruk?**  
NHL-bruket blir hårdare och tål större påfrestningar men gäller det att använda rätt bruk på rätt plats.

### 5.2.3 Intervju om Elin Wägnerskolan

- 1. Hur genomfördes arbetet samt metoden?**  
Renoveringen har genomförts med fulltegel för stomkomplettering där det behövdes. Rostskyddsfärg för befintligt järn i stommen. Bilat bort befintligt puts intill tegelstomme, (från plan 2 och uppåt). Rengjort med hetvattentvätt, grundat med kalkgrund, stockat två gånger med NHL kalkbruk 4 mm. Avslutat med NHL kalkbruk 1 mm på lister i 4 skikt och omfattningar. Avfärgning två gånger med kungskalk.
- 2. Förekom något problem under arbetet med kalkbruk? I så fall vilka problem.**  
Det är svårare var på vintern, då materialet behöver en temperatur på minst +5°C dygnet runt, vi har täckt in med vinterplast och körde med dieselvärmare.
- 3. Vilka material används för restaurering av Elin Wägnerskolan?**  
NHL kalkbruk från Målarkalk Kalkfärg är kungskalk från målarkalk.



### 5.3 Analys av teori

Kalk är mer miljövänligt att använda jämfört med cement, då  $CO_2$  belastningen är mycket lägre eftersom kalkbruk vid härdningen återtar en del av den  $CO_2$  uppstår vid bränning av kalk, se kapitel 6. Användning av kalkputs har många fördelar för byggnadens beständighet och utseende som redovisas i avsnitt 2.6, vilket gör att det finns fler nyttiga aspekter av att använda kalkputs. Karbonatiseringsprocessen av hydrauliskt kalkbruk är snabbare i förhållande till cementbruk vilket redovisas i avsnitt 2.2.2. Användning av hydrauliskt kalkbruk är dessutom oftast lämpligare i ett fuktigt klimat vilket passar det svenska klimatet. Normalt utsätts fasadytskikt alltid för vissa påfrestningar som kan orsaka skador och förstörelse. Putsade fasader måste därför uppfylla vissa krav enligt Sandin. (1984.) för att sådana påfrestningar inte ska orsaka allvarliga skador på fasaden. Avsnitten 2.3.3 och 2.3.4 visar vilka vanliga problem som kan dyka upp med kalkputs som fasadytskikt och vilka åtgärder som finns för att undvika dessa problem. En annan sak är den tidskraven med kalkputsarbetet och vad som kan orsaka förseningar i byggtid som beror på den karbonatiseringsprocessen av kalkputsning som går långsam gentemot om det naturliga hydrauliska kalkbruk användes istället för cementbruk som bindemedel så skulle kunna vissa problem lösas när det gäller produktionstiden eftersom detta bruk är väldigt elastiskt och härdar lite snabbare än det lufthärdande kalkbruket, vilket också innebär att man kan komma snabbare vidare med nästa puts-skikt och likaså produktionstiden kan minimeras.

### 5.4 Analys av experiment och intervjuer

Karbonatiseringsprocessen är normalt långsamt eftersom lufttillträdet sker från ytan och inåt och därför karbonatiseras/härdas ytan först. För att en 10 mm tjock puts skall bli helt karbonatiserad krävs ca en månad. Karbonatiseringshastigheten beror på temperatur, relativ fuktighet och tillgång till  $CO_2$  för att påskynda och säkerställa karbonatiseringen. Baserat på experimentet har kalkbruket helt eller delvis karbonatiserats. Graden av karbonatisering beror på det klimat som proverna utsattes för. De som utsattes för temperaturer över + 5 grader hade karbonatiserats antingen helt eller delvis, medan de som utsattes för minusgrader inte hade karbonatiserats. Minusgraderna medförde att hållfastheten hos dessa prover blev lägre än vad som kan förväntas i vid en varmare lufttemperatur. Att klimatet har en stor betydelse för karbonatiseringsprocessen är något av det viktigaste som har framkommit via våra experiment, vilket var det samma som vi läste i litteraturstudier av andras forskning. Utifrån intervjuerna som utfördes med de olika aktörer inom kalkbruksanvändning framkom det att det hydrauliska kalkbruket kan ersättas KC-bruket som bindemedel och NHL-bruk i stället för det lufthärdande bruket i framtiden, då det är lättarbetat och härdar snabbare än lufthärdande kalkbruk vilket kan minimera produktionstiden av kalkputsarbetet. Dessutom tål NHL-bruk större påfrestningar om det används på rätt plats.

## 6 Diskussion

### 6.1 Teori och metod

Arbetet startades med litteraturstudier, intervjuer och senare genomfördes experimentet. Experimentet gjordes hemma i stället för ett laboratorium och viss utrusning saknades. Allt detta var på grund av att arbetet genomfördes under år 2020–2021, en period som påverkades stort av utbrottet av Covid-19. Vilket begränsade många fysiska aktiviteter. Problemet med genomförande var att det inte gick att mäta punktliga grader på balkongen och inte mäta djupet av kalkens karbonatisering. Det som skulle kunnat gjorts annorlunda var att genomförande hade gjorts på plats med fler möjligheter. Intervjuer var semistrukturerade som gav möjligheten att kunna få svar på ställda frågorna utifrån varje aktörs egna perspektiv. Intervjuerna gav mer förståelse för det som studerades vilket var till stor hjälp i detta arbete. Resultatet av genomförande stämde överens med resultatet i litteraturstudier.

### 6.2 Resultat

Resultatet av arbetet stämmer väl överens med resultat från tidigare studier i arbetet. Tidigare studier har visat att kalkputsarbetets bästa period är från våren till slutet av hösten vilket bekräftar att temperaturen har en stor betydelse för härdning av kalkbruket. Resultatet av genomförandet i arbetet åskådliggör tydlig samma resultat av temperaturens påverkan för karbonatiseringen av kalkbruk vilket stämmer överens med tidigare teori (Åkesson 2011) vilket anger att kalkbindemedel kräver värme, fukt och koldioxid för att karbonatisera. Därför ska temperaturen hållas över  $+5^{\circ}\text{C}$  under arbetets gång. Om temperaturen går under  $0^{\circ}\text{C}$  börjar vattnet frysa och förändrar brukets förmåga. I figur 12 och 13 visas temperaturens påverkan hos kalkbruket. Responsen från intervjuerna visar att det inte är något problem att hydrauliska kalkbruk ersätter cement som bindemedel i framtiden utan negativ påverkan. Fördelarna är att det är lättare att arbeta med hydrauliska kalkbruk, de tål större påfrestningar samt det finns mindre risk för sprickor till följd av krympning då bruket är mer elastiskt. Detta varierar så klart beroende på vilket NHL bruk används, exempelvis NHL 2 är lättare, smidigare och väldigt elastisk i förhållande till NHL 5, vilket är mer likt luftkalkbruks egenskaper.

Byggtider är viktig för bygghandlingar eftersom det krävs en viss tid för karbonatiseringen av bruk men det naturliga hydrauliska kalkbruket kan nyttjas med effektivitet vid god planering. På så sätt kan kalkpusarbetet anpassas med noggrann tidsplanering i framtiden. Relativ lite forskning har gjorts på hydrauliskt kalkbruk som bindemedel för kalkputsning vilket visar att det fortfarande behövs mer forskning för att få bättre resultat inom detta område. Vid en liknande undersökning kan flera medverkande vara en bra lösning för att få ett bättre resultat av arbetet.

## 7 Slutsatser

De slutsatser som kan dras utifrån detta arbete är att naturliga hydrauliska kalkbruk som bindemedel för kalkputsarbeten på fasader visar sig ha många fördelar jämfört med cementbruk. NHL-bruk har flera fördelar såsom mindre fukt i väggarna, mer elasticitet, bättre hållfasthet och mindre sprickor, större användningsområdet och de tål större rörelser. När det gäller byggtid har NHL-bruk kortare produktionstid jämfört med cementbruk eftersom detta bruk är mer elastiskt och härdar lite snabbare än det lufthärdande kalkbruket, vilket innebär att det går snabbare att komma vidare med nästa puts skikt och därmed kortas produktionstiden. Att använda NHL-bruk i stället för cementbruk har ingen negativ påverkan utan fördelarna överväger. Tillgången på råvaror för NHL-bruk är goda och kan ersätta cementbruk i framtiden. Att cementbruk används idag mer än NHL-bruk är på grund av tradition, att byggföretagen vet hur bruket beter sig. Dessutom är det prisskillnader som avgör om byggföretagen använder cementbruk i stället för NHL-bruk.

En byggnad med putsad fasad kan drabbas av flera olika problem såsom sprickor, vidhäftning, algpåväxt, vittring o.s.v., för att undvika dessa problem finns det vissa aspekter som bör beaktas, (Sandin, K. (1984). Putsade fasader). Det är viktigt att i första hand identifiera skadeorsaker för att inte göra samma fel igen. Till exempel kan sprickor bero på rörelse i byggnaden eller utförandefel. De kan även bildas i samband med härdandet, vilket kan orsakas av att bindemedelshalten är för hög eller för fin. Även för snabb uttorkning kan vara en orsak till sprickor. Vidhäftningsproblem kan bero på hög lufthalt i bruket eller orsakas av för lite eller för mycket vattning av underlaget innan nästa puts lager appliceras. Att putsa sent på året är ett problem och kan orsakas att putsen inte karbonatiseras tillräckligt för att klara första vintern, så det är viktigt att tänka på dessa problem innan de sker. Enligt Ulf Nymberg, se avsnitt 5.2, är det viktigt att beställaren har kunskap om materialet. Då är det lättare och säkrare att välja det rätta materialet på rätt plats som passar underlaget. Man bör vara tydligt med vilket material som beställs, vilket kan vara en anledning till att man får ett material som inte passar underlaget. Att undvika vintertidsarbetet kan också vara en lösning för att få färre problem. Vinterarbete kräver mer utrustning och karbonatiseringen sker långsammare i jämfört med på sommaren. Kraftiga vindar vintertid kan orsaka att uttorkningen sker snabbare vilket kan leda till sprickor. Det är viktigt att putsen ska hinna karbonatisera, det vill säga härda, innan nästa påslag appliceras och dessa processer tar längre tid under vintern jämfört med under sommaren. Att använda naturliga hydrauliska kalkbruk kan förkorta produktionstiden för putsarbetet eftersom det finns många fördelar med sådana bruk som passar vintertidsarbete bättre. Ett par fördelar som kan nämnas är att det är lätt arbetat samt karbonatiserar och härdar snabbare än andra bruk, vilket kan påskynda produktionstiden. Enligt Kent Siverland, se avsnitt 5.2, är de även mjukare än andra bruk vilket minimerar sprickor om det blir rörelse i stommen. Dessa bruk tål också större påfrestningar jämfört med andra bruk.



## Referenslista

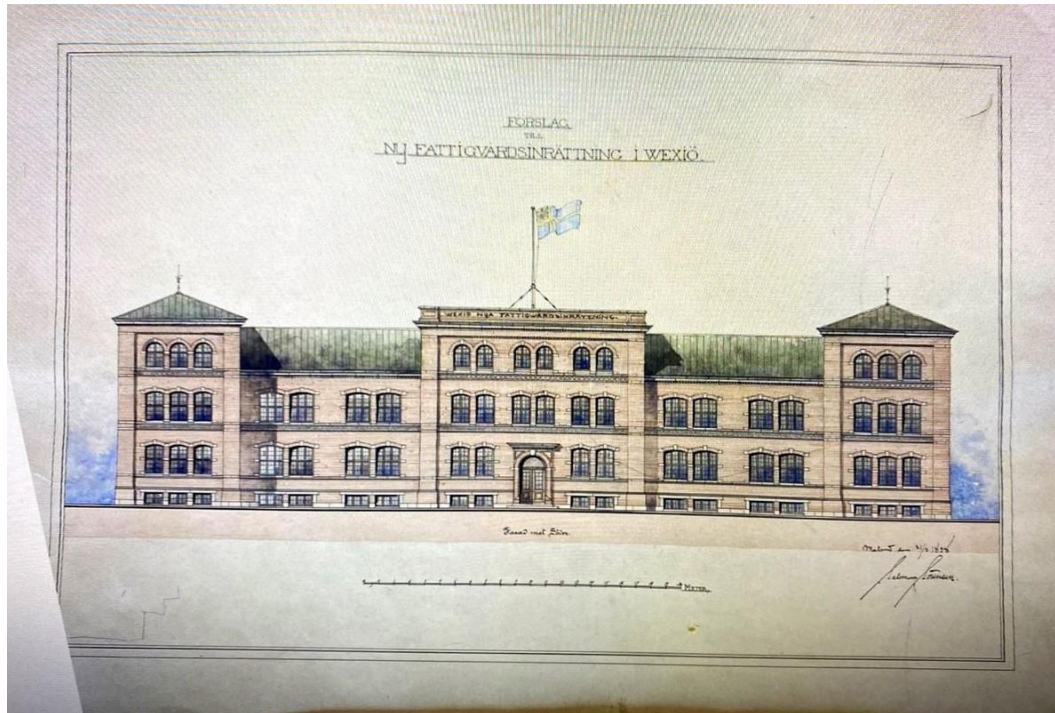
- Berggren, K. (2017). Kalkens Hemligheter. *Teknik och historia*, ss.7-52,70-74
- Berättelse om Vexjö stads fattigvård (1901–1903), Arkiv: Kulturarvcentrum Småland
- Boverket. (2021).
- Burström, P. (2007). Byggnadsmaterial. Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper, 2:8 upplag. Studentlitteratur AB, Lund. ss.408–422
- Hidervark, O. & Holmström I. (2012). Kalkputs 2. Historia och teknikredovisning av kunskaper och forskningsbehov. Förlag: Riksantikvarieämbetet. Ss. 45–62
- Johannesson, B. (2012). Introductaion to concrete technology. Lecture Notes, Third draft. Departement of Civil Engineering, Technical University of Denmark (DTU). Ss.254–256, 3–4
- Johansson, S. (2006). Hydrauliskt kalkbruk - Produktion och användning i Sverige vid byggande från medeltid till nutid. Diss. Chalmers Tekniska Högskola & Göteborgs Universitet. s. 6–10, 14–22, 279
- Kalkboken. En produktpresentationerna Målarkalk AB.  
<https://www.malarkalk.se/media/broschyer> 29
- Kristin, B. (2005). Kalkputs- Purstrukturens betydelse för beständighet. Licentiatuppsatser vid Institutionen för kemi- och bioteknik. Chalmers Tekniska Högskola Göteborg. ss.17–22
- Riksantikvarieämbetet 2014.Underhåll av kalkputsfasader.
- Målarkalk. Indelning för beteckningar och definitioner. <https://www.malarkalk.se/kalkipedia>
- Målarkalk. (2021). Saint-Astier NHL, Naturligt hydraulisk kalk, produktinformation och testresultat. [https://www.malarkalk.se/assets/media/documents/booklets/saint-astier\\_nhl.pdf](https://www.malarkalk.se/assets/media/documents/booklets/saint-astier_nhl.pdf). [2021-08-10]
- Sandin, K. (1984). Putsade fasader. Teori och praktiska erfarenheter. Byggforskningsområdet. Lunds universitet. <http://libris.kb.se/bib/7417528>
- Åkesson, K. (2006). Kalkputs 6, praktiska anvisningar för arbete med kalkbruk och kalkfärg, ss. 10–42
- Åkesson, K. (2011). Kalkputs 7, -praktiska anvisningar för arbete med kalk som bindemedel vid byggnadsvård, ss. 4–27, 36–41  
[http://samla.raa.se/xmlui/bitstream/handle/raa/7702/Varia%202014\\_34.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://samla.raa.se/xmlui/bitstream/handle/raa/7702/Varia%202014_34.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [2021-08-10]
- <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2019/eks-11.pdf>

# Bilagor

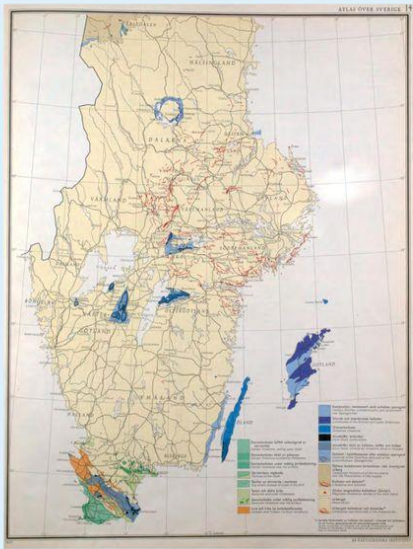
Bilaga 1: Elin Wägners skolans ritnings plan

Bilaga 2: kalkförekomser i södra och norra Sverige

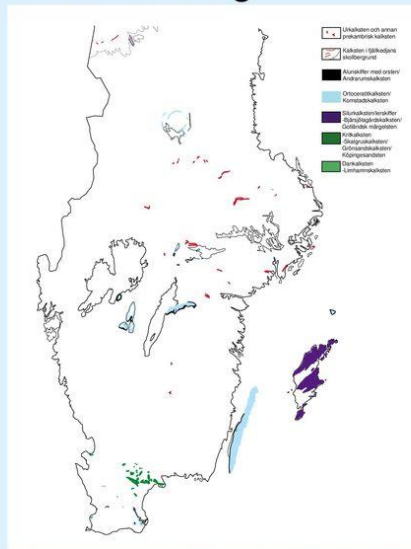
Bilaga 1



## Kalkförekomster i södra Sverige

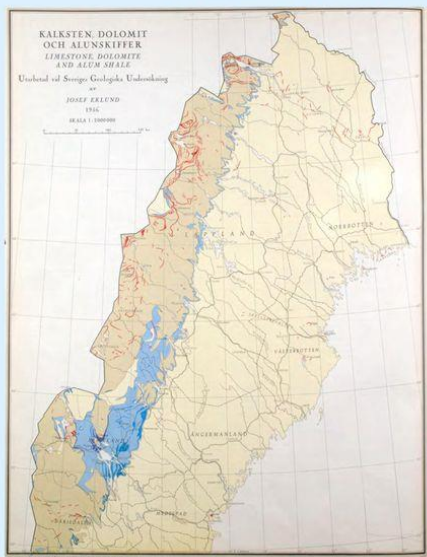


Samtliga förekomster av kalk i södra delen av Sverige i Atlas över Sverige 1957.

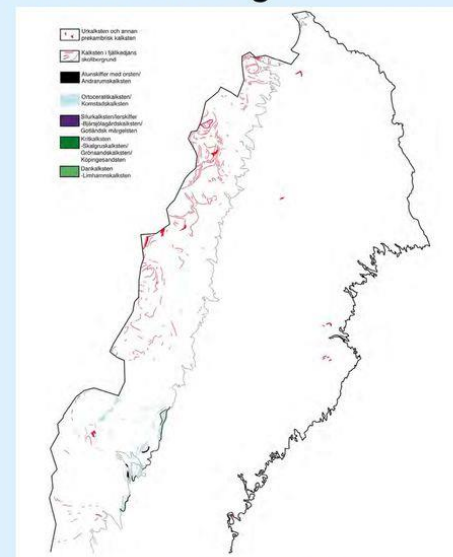


Förekomsten av kalk med hydrauliska komponenter och alunskiffer i södra delen av Sverige Sölve Johansson 2004, reviderad 2007.

## Kalkförekomster i norra Sverige



Samtliga förekomster av kalk i norra delen av Sverige i Atlas över Sverige 1957.



Förekomsten av kalk med hydrauliska komponenter och alunskiffer i norra delen av Sverige Sölve Johansson 2004, reviderad 2007.