



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R22:1992

**Kalkutfällningar på putsade
fasader**

**Laboratorieundersökning med
vägledande anvisningar**

Thomas Carlsson

Byggforskningsrådet

R22:1992

KALKUTFÄLLNINGAR PÅ PUTSADE FASADER

Laboratorieundersökning med
vägledande anvisningar

Thomas Carlsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 870636-5
från Bygghorskningsrådet till Lunds tekniska högskola,
Byggnadsmaterial, Lund.

REFERAT

I rapporten beskrivs olika faktorerers inverkan på uppkomsten av kalkutfällningar, främst på fasader som målats med oorganisk färg. Bland de faktorer som behandlas är: bindemedelstyp, härdningsklimat, fuktnivå i underlag samt typ av vattenbelastning.

Eftersom undersökningen baserar sig på laboratorieförsök har en användbar provningsmetod fått utvecklas, vilken även beskrivs i rapporten.

Försöken visar att närvaro av cement och den tid ytan är fuktig (våttiden) är de viktigaste faktorerna vid utbildning av kalkutfällning. Det vid hydratiseringsprocessen utbildade kalciumsilikathydratet har en kristallform som håller kvar vatten vid materialytan och förlänger våttiden. Dessutom frigörs kalciumhydroxid vid den vidare sönderdelningen vilket bidrar till en ökad risk för kalkutfällning. Även underlagets fuktegenskaper har stor betydelse för hur länge ytan hålls fuktig. Speciellt vid lagningar kan lokala kalkutfällningar uppstå på grund av att underlagets fuktegenskaper är annorlunda jämfört med den övriga fasaden.

I rapporten ges även vissa råd och anvisningar som kan minska risken för kalkutfällning, bland annat ges ett exempel på hur man utgående från vissa enkla mätningar kan bedöma kalkutfällningsrisken.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R22:1992

ISBN 91-540-5460-5
Byggforskningsrådet, Stockholm

gotab 96025, Stockholm 1992

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD

1	PROBLEMSTÄLLNING	5
2	PROJEKTETS SYFTE OCH UPPLÄGGNING	7
2.1	Syfte	7
2.2	Uppläggnings	7
3	TEORI	8
3.1	Tidigare undersökningar	8
3.2	Hypotes/mekanism	8
4	LABORATIVA UNDERSÖKNINGAR	11
4.1	Allmänt	11
4.2	Delmaterial	13
4.2.1	Underlag	13
4.2.2	Färg	13
4.3	Fuktbelastning	14
4.3.1	Fuktbelastnings-modell	14
4.3.1.1	Vatten före målning	15
4.3.1.2	Vatten efter målning	15
4.3.2	Fukttillstånd i underlag	15
4.4	Klimat	16
4.4.1	Relativ fuktighet	16
4.4.2	Temperatur	16
4.5	Bedömning av utfällningsgrad	17
4.5.1	Visuell bedömning	17
4.5.2	Kulörmätning	17
4.5.3	Bildanalys	18
4.5.4	Mikroskopanalys	18
5	FÖRSÖKSBESKRIVNING OCH RESULTAT	19
5.1	För-försök	19
5.2	Lagringsklimat/härddningstid	21
5.3	Fuktnivå i underlag/antal färglager	22
5.4	Fuktbelastning	24

5.5	Karbonatiseringsgrad i underlag	25
5.6	Kompletterande provningar	27
5.7	Uttorkningshastighet	27
5.8	Cementtyp	30
5.9	Cementhalt	31
6	DISKUSSION AV RESULTAT	32
6.1	Allmänt	32
6.2	Skadetyper	32
6.2.1	Kalkutfällning	32
6.2.2	Kulörskiftning	33
6.3	SEM, röntgendiffraktion	34
6.4	Variabelanalys	34
6.4.1	Bindemedelstyp, (K-KC)	34
6.4.1.1	Cementtyp i KC-färg	35
6.4.1.2	Cementhalt i KC-färg	37
6.4.2	Fukttillstånd i underlag	38
6.4.3	Relativ luftfuktighet	39
6.4.4	Underlagets karbonatiseringsgrad	40
6.4.5	Färgens härdtid innan fuktbelastning	40
6.4.6	Vattenbelastning	41
6.4.7	Temperatur	42
6.4.8	Sol och vind	42
6.4.9	Uttorkningshastighet	42
6.4.10	Våttid	43
7	SAMMANFATTNING/SLUTSATSER	44
7.1	Teoretisk sammanfattning	44
7.2	Hur undvika kalkutfällning	46
7.3	Praktiska råd	47
7.4	Fortsatta undersökningar	49
	LITTERATUR	50
BILAGA 1	Färgbilds-bilaga	51
BILAGA 2	Analys med SEM och XRD	52
BILAGA 3	Utfällning av kalciumkarbonat på betong	53

FÖRORD

Puts- och Murverksforskningen vid Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, initierades och finansieras av BFR och Föreningen Murat Byggande. Som en del av denna forskning har projektet "KALKUTFÄLLNINGAR PÅ PUTSADE FASADER" bedrivits.

Föreliggande slutrapport kommer förhoppningsvis att bidra till att kasta ljus över fenomenet med kalkutfällningar. Rapporten löser inte problemen fullständigt, men vissa grundläggande samband har kunnat konstateras.

Till projektet har en referensgrupp varit knuten bestående av Hans Alstermo, Rolf Blank och Sune Sjöström. Till dessa vill jag framföra mitt tack för deras hjälp och tålamod. Det är min förhoppning att referensgruppen kvarstår och engagerar sig på samma sätt i den fortsatta putsforskningen.

Min handledare vid avdelningen, Kenneth Sandin, är värd ett speciellt tack då han hela tiden bistått med aktivt stöd och givande diskussioner.

Till sist även ett stort tack till Olle Peterson utan vars hjälp de cementkemiska sambanden svårligen kunnat klarläggas.

Lund i december 1991

Thomas Carlsson

1 PROBLEMSTÄLLNING

Missfärgning av fasader är ett stort begrepp. Missfärgningarna kan delas upp i flera grupper beroende på vad som orsakar densamma, till exempel vittring, klotter eller saltutfällning. Alla fasader drabbas förr eller senare av någon form av missfärgning. De flesta missfärgningar är helt naturliga och lätta att förutse. Andra missfärgningar kommer plötsligt och går ej att förutse. De kan därför betraktas som en skada. Mellan dessa ytterligheter finns ett antal typer av missfärgningar som är svåra att hänföra till den ena eller andra gruppen, till exempel algpåväxt. Det är ibland svårt att avgöra när en missfärgning skall betraktas som en skada och om någon åtgärd skall vidtas. Det blir alltid fråga om en subjektiv bedömning. En fasad som en person anser vara mycket ful kan någon annan anse vara mycket vacker.

Den speciella missfärgning, **kalkutfällning**, som behandlas i denna rapport måste definitivt betraktas som en skada. Kalkutfällning ger ingen reduktion av varken hållfasthet eller beständighet men upplevs som ett stort estetiskt problem. Olusten känns speciellt stor därför att kalkutfällningen oftast kommer i ett tidigt skede. Byggnadsverket är då i regel nytt och snyggt varigenom kalkutfällningarnas störande effekt ytterligare accentueras.

Intensiteten hos en kalkutfällning kan variera alltifrån en ljus slöja till en kraftig vit beläggning. Eftersom utfällningarna är vita har underlagets kulör en stor betydelse för hur kraftig en skada bedöms. En ljus och ganska lindrig slöja på en mörk färg upplevs ofta som betydligt värre än en kraftig beläggning på en ljus grundkulör.

Ibland uppges att utfällningen försvinner efter något år, ibland till och med efter några månader. Detta är emellertid endast delvis sant. Det finns många exempel på fasader där utfällningarna funnits kvar under lång tid och troligen aldrig försvinner.

De direkta kostnaderna för att åtgärda skadade fasader (arbete, ställningar med mera) uppskattas till minst 5 miljoner kronor per år. Man bör då komma ihåg att det bara är en liten del av alla skador som åtgärdas. Indirekt är dock putsbranschens förlust av marknadsandelar värt betydligt större belopp. En mycket grov uppskattning ger minst 50 miljoner kronor per år.

2 PROJEKTETS SYFTE OCH UPPLÄGGNING

2.1 Syfte

Projektets syfte var att utreda vid vilka betingelser kalkutfällningar framkallas på oorganiska färger och putser. Det slutliga målet var att ge direkta råd och anvisningar till producenter och brukare för att minska risken för kalkutfällningar till ett minimum. Arbetet avgränsades till att gälla kalkutfällningar som ett rent estetiskt problem.

2.2 Uppläggning

För att få en bred kunskaps- och erfarenhetsmässig bas knöts en referensgrupp till projektet. Referensgruppen bestod av Rolf Blank, Hans Alstermo och Sune Sjöström från putsindustrin samt Kenneth Sandin och Thomas Carlsson från Lunds Tekniska Högskola.

Arbetet delades upp i fyra etapper. Den första etappen omfattade studier av litteratur och skadefall. Speciellt studerades de resultat och erfarenheter av kalkutfällning på betong som redovisas av Samuelsson (1977). Erfarenheterna från skadefall och den tillgängliga litteraturen gav en god överblick av problemet.

Den andra etappen omfattade en stor mängd försök med olika variabler. Då det inte fanns någon lämplig provningsmetod utarbetades även en sådan. Allteftersom har dock justeringar fått göras för att anpassa metoden till de variabler som för tillfället skulle studeras.

I den tredje etappen kontrollerades vissa primära variabler i detalj.

Den fjärde etappen omfattade utarbetande av råd till brukaren och slutrapportering av projektet.

3 TEORI

3.1 Tidigare undersökningar

Problemet med kalkutfällningar på fasadytor har tidigare behandlats i ett antal publikationer. De flesta av dessa koncentrerar sig på betong. Enstaka studier finns där puts eller oorganisk färg har använts som grundmaterial.

Samuelsson (1977) refererar till ett antal publikationer som behandlar kalkutfällningar. En sammanfattning av hans kommentarer kan göras enligt följande:

- fritt vatten på ytan ger risk för kalkutfällning
- utlösbar kalk måste vara tillgänglig
- risken för kalkutfällning är starkt beroende av temperatur och luftfuktighet
- kalkutfällningarna består huvudsakligen av kalciumkarbonat

Föreliggande undersökning baserar sig i utgångsläget på de av Samuelsson (1977) framlagda teorierna och resultaten.

Förutom ovannämnda arbete har Czernin (1969) bidragit med intressanta och betydelsefulla teoretiska samband då det gäller cementkemiska aspekter.

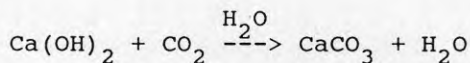
3.2 Hypotes/mekanism

Med utgångspunkt från Samuelsson's arbete kan följande hypotes uppställas.

"Utfällningarna består av kalciumhydroxid som snabbt ombildas till kalciumkarbonat. Kalciumhydroxiden härstammar från kalken och/eller cementen. Både färgen och den underliggande putsen kan bidra till utfällningarna. En förutsättning för utfällningar är att det finns tillgång till fritt vatten

på ytan. När skiktet närmast ytan har karbonatiserat kan man vänta sig att utfällningarna reduceras kraftigt. Vid långvarig vattenbelastning ökar risken för att kalciumhydroxid hinner transporteras fram till ytan från okarbonatiserade delar längre in och ge kalkutfällningar."

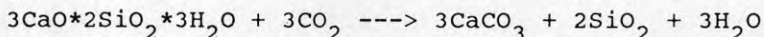
Samuelsson anger följande formel vid bildandet av kalkutfällningar.



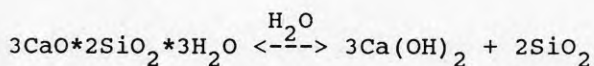
där kalciumhydroxiden, Ca(OH)_2 , kommer från kalk/cement och koldioxiden tas ur luften. Det tillförda vattnet ska vara i vätskefas.

För att förstå det vidare kemiska resonemanget och tolkningen av resultaten bör även följande reaktionsformler redovisas.

Czernin anger att kalciumsilikathydrat (även kallat Tobermorit), vilket bildas vid hydratisering av cement, sönderdelas av kolsyra enligt:



där kalciumsilikathydratet först sönderdelas enligt:



Kemiskt sett har det alltså ingen betydelse om kalciumhydroxiden härstammar från fri kalk i materialet eller från tobermoritens sönderdelning. Slutprodukten är i båda fallen kalciumkarbonat.

Vid reaktionen krävs emellertid tillgång på vatten i vätskefas. Tobermorit (egentligen tobermorit-liknande strukturer) har i detta sammanhang en speciell egenskap. Kristaller av tobermorit är mycket små och upp-

byggda i skivor. De har därför en god förmåga att fysikaliskt kvarhålla vatten mellan skivorna. Eftersom risken för kalkutfällning starkt sammanhänger med tillgången på vatten på färgskiktets yta, jmf kapitel 6, har tobermoritens "vattenkvarhållande" effekt stor betydelse.

Tobermorit ingår alltså i den kemiska reaktionen men har dessutom ett rent fysikaliskt verkningsätt.

4 LABORATIVA UNDERSÖKNINGAR

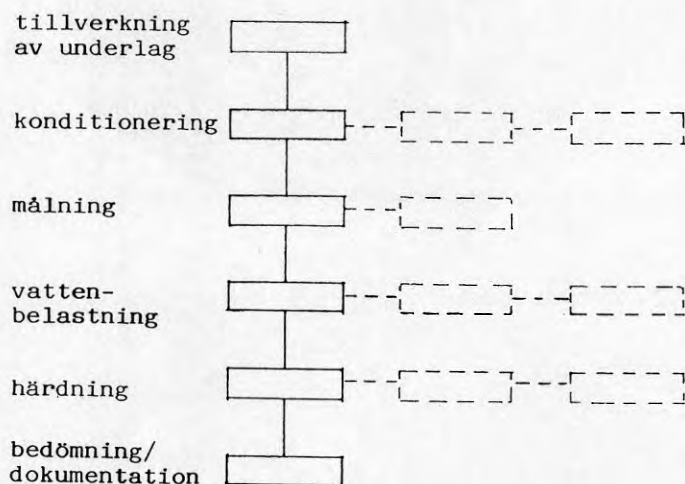
4.1 Allmänt

Delmaterialen till undersökningen har valts med utgångspunkt från vad som är normalt på arbetsplatserna. Såväl puts till underlag som färg är standardmaterial.

Provningsmetoderna har dock fått anpassas speciellt liksom bedömningsprinciper.

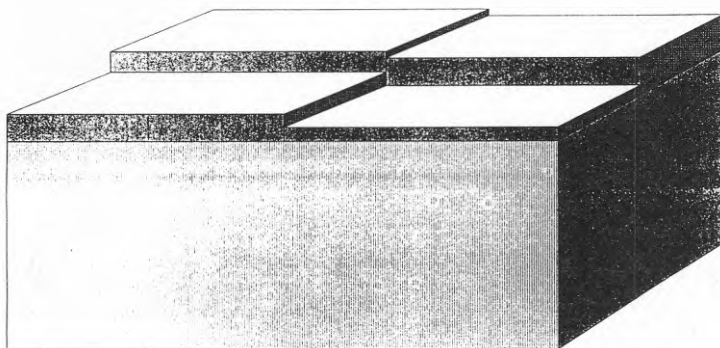
De av KC 50/50/650 tillverkade underlagen målades efter genomgången härdning och konditionering. I förekommande fall ströks flera lager färg med mellanliggande torkning. Vissa prover vattenbelastades medan andra placerades direkt i klimatrum. En första bedömning av utfällningens omfattning gjordes efter cirka 1 dygn, i vissa fall även tidigare. Den slutliga bedömningen och fotodokumentationen gjordes efter 2-4 veckor då proverna erhållit samma fukttillstånd.

I princip fick provet komma i jämvikt med aktuellt klimat innan slutbedömning skedde. Arbetsgången framgår av figur 4.1.



Figur 4.1 Principskiss över arbetsgång.

Vid de senast utförda försöken användes en speciellt tillverkad TemperaturDifferens-låda, TD-låda, enligt figur 4.2. Utrustningen bestod av en väl isolerad låda ($1500 \times 1000 \times 800 \text{ mm}^3$), vilken gjorts diffusionstät på insidan genom målning med akrylatfärg. Inuti lådan placerades fläktar och termostatreglerade lampor. Locket var uppdelat i 4 områden med olika isolertjocklek (5, 10, 40 och 80 mm). Genom att avpassa temperaturen i lådan och isolertjockleken erhöles olika konstanta värmeflöden genom lockets 4 områden. De provkroppar som placerades på lockets olika områden fick härigenom olika yttemperatur. Klimatet runt TD-lådan hölls konstant på $\text{RH}=95\%$ $T=20^\circ\text{C}$. På detta sätt erhöles väl definierade uttorkningshastigheter från proven och därmed också olika våttider (den tid som ytan är tillräckligt våt för att de kemiska reaktionerna ska fortgå).



Figur 4.2 TemperaturDifferens-låda (TD-låda).

4.2 Delmaterial

4.2.1 Underlag

Underlagen tillverkades av KC-C (50/50/650). Putsen "göts" i petriskålar av plast, diameter=90 mm, höjd=10 mm. I botten på varje skål lades 2 lager läskpapper före putstillslaget för att simulera bortsugning av vatten. Efter avjämning av putsytan placerades skålarna i RF= 95%, T= 20°C. Efter 1 dygn flyttades underlagen till RF=65%, T=20°C. De färskas underlagen tilläts härda tills vikterna stabiliserats, dvs jämvikt nåtts. Efter cirka 2 veckor var underlagen färdiga för nästa moment.

Andra underlagsmaterial än nytillverkad puts har i enstaka fall använts. I de fall fullständigt karbonatiserade underlag eftersträvats, har putsprover från tidigare (cirka 5 år gamla) undersökningar använts. Skivor av tegel har i något fall utnyttjats som underlag.

Olika fuktighetsgrad uppnåddes i underlagen genom att olika mängder vatten tillfördes. Innan vattningen lyftes putskakorna ut ur petriskålarna och läskpappret togs bort. Härefter fick underlagen torka i ugn vid 105°C under 1 dygn. Efter torkning vägdes putskakorna och lades tillbaka i petriskålar (utan läskpapper). Vatten påfördes varefter putskakorna konditionerades diffusionstätt (under lock) i minst 3 dygn.

4.2.2 Färg

Beroende på vilka variabler som skulle undersökas i varje enskilt försök, användes såväl fabriksblandad standardfärg som egenblandad färg. Bindemedlet i färgen utgjordes av kalk och/eller cement. Utgångsmaterialet för den egenblandade färgen har levererats från en

färgtillverkare i två delar, bindemedel (kalk respektive cement) samt ballast (inklusive pigment och tillsatser). Detta möjliggjorde att såväl bindemedelstyp som bindemedelshalt kunde varieras.

Kalkfärgen blandades med 40 liter vatten per 25 kg torrrsubstans medan kalkcement- och cementfärgen blandades med 18 kg vatten per 25 kg torrrsubstans. Oavsett bindemedel blandades vatten och torrfärg under 2 minuter med snabbgående visp.

All färg har applicerats på underlagen med pensel. I de flesta fall applicerades två lager färg med mellanliggande härdning. Normalt fick färgen härda 4 timmar mellan målningarna. Försök med annan härdningstid och/eller antal färglager har även utförts.

4.3 Fuktbelastning

Utgångspunkten för försöken innebar att extra vatten skulle påföras proverna "utifrån" för att simulera regnpåslag. Allteftersom projektet fortskred konstaterades dock att detta inte var nödvändigt för att skada (kalkutfällning) skulle uppstå. Det var fullt tillräckligt med hög luftfuktighet i kombination med den fukt som fanns i underlaget från början.

4.3.1 Fuktbelastnings-modell

Olika mekanismer aktiveras beroende på vilken fuktbelastnings-modell som används. Vilken modell som är lämpligast kan diskuteras även om en viss koppling till naturliga förhållanden bör eftersträvas. Två principiellt olika modeller har provats.

1. Vatten tillförs provet (underlaget)
före målning
2. Vatten tillförs provet **efter** målning

4.3.1.1 Vatten före målning

Om vatten finns tillgängligt i provet redan före målningen kan kalkutfällningsprocessen starta momentant då färgen appliceras. I kombination med ett fuktigt härdningsklimat ger denna modell ett gott mått på provets utfällningsbenägenhet. Vid försöken har denna modell generellt använts, främst för dess bättre repe-terbarhet men också beroende på ett enklare handhavande.

4.3.1.2 Vatten efter målning

Vatten kan påföras provet efter målning på två sätt. Antingen tillförs en viss mängd vatten eller hålls ytan vattenblank under en viss tid. Oavsett vilket sätt som används måste färgskiktet tillåtas att härda (stabiliseras) ett par dagar innan vattenbelastning. Detta innebär att färgskiktet delvis hinner karbonatiseras och bilda ett "skyddsskikt" av kalciumkarbonat strax under ytan. Kalciumhydroxidtransporten fram till ytan försvåras med minskande kalkutfällningsrisk som följd. Ju längre tid det gått mellan applicering av färgen och fuktbelastningen ju kraftigare måste belastningen göras för att kalkutfällningar skall uppstå. Modellen är i vissa lägen svår att kontrollera varför den endast använts vid enstaka försök.

4.3.2 Fukttillstånd i underlag

Mängden fukt i underlaget varierar inom vida gränser, alltifrån nästan torrt till kapillär fuktmättnad. I normalfallet innebär det fuktkvoter från cirka 2 procent till cirka 9 procent. Vissa speciella underlag (tex tegel) har innehållit ända upp till 14 procent fukt.

Efter att underlagen fått torka i ugn, tillfördes vatten till avsedd fuktkvot. Därefter konditionerades underlagen diffusionstätt i minst 3 dygn för att en utjämning av fukten skulle ske i hela putskakan.

4.4 Klimat

4.4.1 Relativ fuktighet

Ett flertal olika nivåer av relativ fuktighet i luften under härdning har använts. Den lägst använda nivån var 35% RF medan den högsta var 95% RF. Vid de första orienterande försöken användes 50%, 65% och 95% RF. Då det senare visade sig att de båda torrare klimatena inte gav någon skillnad i skadeutfall, begränsades försöksklimatena till 65% respektive 95% RF.

Efter ytterligare provningar koncentrerades arbetet till enbart 95% RF. Orsaken till detta var att utfällningarna var klart allvarligast i detta klimat, vilket i sin tur innebar att det blev lättare att skilja olika faktorerens betydelse. Enstaka försök har dock gjorts i torra klimat även i det senare skedet av undersökningen.

4.4.2 Temperatur

Samtliga provningar har utförts vid lufttemperaturen +20°C, främst beroende på att antalet försöksvariabler måste hållas nere. Vid de avslutande försöken varierades istället provkropparnas temperatur med hjälp av en TemperaturDifferens-låda, se kapitel 4.1, för att skapa olika mikroklimat på provens yta.

4.5 Bedömning av utfällningsgrad

Vid bedömning av utfällningsgraden måste hänsyn tas till provytans bottenkulör (ett oskadat provs kulör). Beroende på bland annat mängden blandvatten och bindemedelstyp i färgen fås olika bottenkulörer. Ett mörkt prov upplevs som kraftigare skadat än ett ljusst prov även om mängden kalkutfällning är lika på båda proven.

4.5.1 Visuell bedömning

För att kunna bedöma olika parametrars effekt skapades en skala med olika kraftiga utfällningar. Skalan innehöll 9 olika utfällningsnivåer från oskadat (skalvärde 0) till mycket kraftig skada (skalvärde 8). Genom att referera till denna skala kunde olika försök jämföras. Den använda skalan redovisas i bilaga 1, figur 1.

De utfällningsgrader som förekommer i praktiken hamnar lågt på denna skala, uppskattningsvis skalvärde 1-2. Det är emellertid stor skillnad mellan synintrycken från ett litet laboratorieprov och en hel fasad. En kalkutfällning med skalvärde 2 upplevs som en kraftig skada på en fasad men relativt lindrig på ett laboratorieprov.

4.5.2 Kulörmätning

Den visuella bedömningen fungerade i de flesta fall utmärkt. Det är dock i många fall värdefullt att kunna sätta ett mätvärde på proven istället för en subjektiv bedömning. För att täcka detta behov användes en kulörmätare. Kulörmätaren är ett instrument som registrerar flera olika kulörtekniska parametrar. Genom att kombinera ljusheten=L med färgtonstyrkan=C kunde en ny parameter framräknas. Den nya parameteren (L/C) tog då hänsyn till såväl bottenkulör (inom rimliga gränser) som

mängden kalkutfällning.

Parametern L/C anger alltså ett direkt mått på kalkutfällningsgraden, ju högre värde desto kraftigare utfällning. Jämförelser mellan olika provkroppar bör dock göras endast inom en och samma provserie. I bilaga 1, figur 1 anges parallellt med tidigare nämnda subjektiva skalvärde även motsvarande L/C-värde.

4.5.3 Bildanalys

För att göra mätningarna ännu mindre känsliga för variation i bottenkulör provades att använda bildanalys. Bildanalyssystemet fungerar så att en bild läses in i ett dataprogram via en TV-kamera. I vårt fall var kameran monterad på ett mikroskop. Dataprogrammet behandlar sedan bildens punkter bit för bit på olika sätt. Slutprodukten blir ett mätvärde på hur stor yta som täcks av objekten ifråga, i detta fall kalkutfällning.

Systemet fungerade bra men fanns bara tillgängligt vid undersökningens slutfas. Utrustningen (mikroskop och kamera) tillät inte behandling av större bildfält än cirka 4 mm^2 per sekvens. För att få en rimlig statistisk säkerställning krävdes därför minst 30 bildfält per provyta. Varje prov tog därmed tämligen lång analys-tid i anspråk varför bildanalys inte använts på samtliga provkroppar.

4.5.4 Mikroskopanalys

Förutom studier i normalt ljusmikroskop gjordes vissa undersökningar med hjälp av svepelektronmikroskop (SEM+EDAX) och röntgendiffraktor. Användande av SEM+EDAX och röntgendiffraktor möjliggör att de i analysmaterialet ingående grundelementen kan identifieras.

5 FÖRSÖKSBESKRIVNING OCH RESULTAT

5.1 För-försök

Avsikten med försöket var att få en grunduppfattning om hur lagringsklimat, bindemedelstyp m m påverkar kalkutfällningsrisken. Försöket kan beskrivas som ett för-försök.

Hälften av underlagen placerades i RF=95% T=20°C, medan den andra hälften placerades i RF=65% T=20°C. Proverna lagrades i respektive klimat cirka 1 vecka innan målning. Vissa underlag torkades och förvattnades innan de lagrades diffusionstätt. Såväl kalk- som kalk-cementfärg målades i 2 lager med 1 dygns mellantorkning. Proverna befann sig hela tiden i respektive provningsklimat.

Varje prov vattenbegöts efter viss tid med 7 gram vatten ($\approx 1.1 \text{ kg/m}^2$). Vattnet sprutades på i ett jämnt lager så att en "fri vattenyta" uppstod. Vattenbegjutningen gjordes 4 tim, 8 tim, 1 dygn, 3 dygn, 7 dygn samt 14 dygn efter sista målningstillfället (1 tillfälle per prov).

Proverna fick efter vattenbegjutningen härda i 3 dygn i respektive klimat varefter samtliga prover förvarades i RF=65% T=20°C.

Prov gjordes även med 1 lager färg, kraftig bevattning mellan målningarna samt ingen vattenbelastning. Ett prov analyserades i svepelektronmikroskop respektive röntgendiffraktor.

Resultaten från försöket redovisas i tabell 5.1.

Tabell 5.1

LITT.	BINDE- MEDEL	RELATIV FUKTIGHET	FUKTKVOT I UNDERLAG	HÄRDN.- TID	VATTEN- BELASTNING	RELATIV SKALA	KOMMENTAR
200	KC	95%		4 tim	7 gram	6	
201	KC	95%		8 tim	7 gram	4	
202	KC	95%		1 dygn	7 gram	2	
203	KC	95%		3 dygn	7 gram	2	
205	KC	95%		7 dygn	7 gram	2	
206	KC	95%		14 dygn	7 gram	2	
207	KC	95%				2	ej vattenbelastad
204	KC	95%				4	1 lager färg, ej vattenbelastad
209	KC	95%			5+7 gram	8	vattenbelastad mellan färglager
210	KC	95%	c:a 2 %	4 tim	7 gram	5	
211	KC	95%	c:a 2 %	8 tim	7 gram	3	
213	KC	95%	c:a 2 %	1 dygn	7 gram	2	
214	KC	95%	c:a 2 %	3 dygn	7 gram	2	
215	KC	95%	c:a 2 %	7 dygn	7 gram	2	
216	KC	95%	c:a 2 %	14 dygn	7 gram	2	
217	KC	95%	c:a 2 %			3	ej vattenbelastad
219	KC	95%	c:a 2 %			5	1 lager färg, ej vattenbelastad
212	KC	95%	c:a 2 %		5+7 gram	8	vattenbelastad mellan färglager
240	KC	65%		4 tim	7 gram	5	
241	KC	65%		8 tim	7 gram	3	
242	KC	65%		1 dygn	7 gram	2	
243	KC	65%		3 dygn	7 gram	2	
244	KC	65%		7 dygn	7 gram	1	
245	KC	65%		14 dygn	7 gram	1	
247	KC	65%				1	ej vattenbelastad
246	KC	65%				3	1 lager färg, ej vattenbelastad
251	KC	65%			5+7 gram	6	vattenbelastad mellan färglager
248	KC	65%	c:a 2 %	4 tim	7 gram	4	
249	KC	65%	c:a 2 %	8 tim	7 gram	3	
252	KC	65%	c:a 2 %	1 dygn	7 gram	2	
253	KC	65%	c:a 2 %	3 dygn	7 gram	2	
254	KC	65%	c:a 2 %	7 dygn	7 gram	2	
255	KC	65%	c:a 2 %	14 dygn	7 gram	2	
257	KC	65%	c:a 2 %			2	ej vattenbelastad
259	KC	65%	c:a 2 %			4	1 lager färg, ej vattenbelastad
258	KC	65%	c:a 2 %		5+7 gram	6	vattenbelastad mellan färglager
220	K	95%		4 tim	7 gram	0	
221	K	95%		8 tim	7 gram	0	
222	K	95%		1 dygn	7 gram	0	
223	K	95%		3 dygn	7 gram	0	
224	K	95%		7 dygn	7 gram	0	
225	K	95%		14 dygn	7 gram	0	
226	K	95%				0	ej vattenbelastad
230	K	95%	c:a 2 %	4 tim	7 gram	0	
231	K	95%	c:a 2 %	8 tim	7 gram	0	
232	K	95%	c:a 2 %	1 dygn	7 gram	0	
233	K	95%	c:a 2 %	3 dygn	7 gram	0	
234	K	95%	c:a 2 %	7 dygn	7 gram	0	
235	K	95%	c:a 2 %	14 dygn	7 gram	0	
236	K	95%	c:a 2 %			0	ej vattenbelastad
260	K	65%		4 tim	7 gram	0	
261	K	65%		8 tim	7 gram	0	
262	K	65%		1 dygn	7 gram	0	
263	K	65%		3 dygn	7 gram	0	
264	K	65%		7 dygn	7 gram	0	
265	K	65%		14 dygn	7 gram	0	
266	K	65%				0	ej vattenbelastad
270	K	65%	c:a 2 %	4 tim	7 gram	0	
271	K	65%	c:a 2 %	8 tim	7 gram	0	
272	K	65%	c:a 2 %	1 dygn	7 gram	0	
273	K	65%	c:a 2 %	3 dygn	7 gram	0	
274	K	65%	c:a 2 %	7 dygn	7 gram	0	
275	K	65%	c:a 2 %	14 dygn	7 gram	0	
276	K	65%	c:a 2 %			0	ej vattenbelastad

5.2 Lagringsklimat/härdningstid

Avsikten med försöket var att bestämma hur lagringsklimat i kombination med härdningstid före vattenbelastning påverkar risken för kalkutfällning.

Samtliga prover placerades i RF=50% T=20°C tills vikterna stabiliserats (proverna kommit i jämvikt, cirka 6 dygn). Vissa prover torkades och vattnades så att 10% fuktkvot uppnåddes. Proverna fick därefter konditionera diffusionstätt. Strax före målningen överfördes ett antal prover till RF=95% T=20°C respektive RF=65% T=20°C.

Proverna målades med KC-färg i 2 lager med 1 dygns mellantorkning. Proverna befann sig hela tiden i respektive provningsklimat.

Proverna vattenbegöts varvid en "fri vattenyta" uppstod. Mängden vatten avpassades så att samtliga prover, oavsett härdningsklimat och fuktkvot i underlaget, utsattes för cirka 3 timmars belastning med fritt vatten. Detta innebär att vattenmängden varierade mellan 5.0 gram ($\approx 0.8 \text{ kg/m}^2$) och 14.3 gram ($\approx 2.2 \text{ kg/m}^2$). Bevattningen påbörjades 4 timmar, 1 dygn respektive 4 dygn efter sista målningstillfället. Varje prov vattnades endast en gång.

Proverna fick efter vattenbegjutningen härda i respektive klimat under 3 dygn varefter de flyttades till RF=50% T=20°C.

Resultaten från försöket redovisas i tabell 5.2.

Tabell 5.2

LITT.	BINDE- MEDEL	RELATIV FUKTIGHET	FUKT I UNDERLAG	HÄRDN.- TID	VATTEN- BELASTNING	RELATIV SKALA	KOMMENTAR
418	KC	95%		4 tim	3 tim	3	blandad utfällning
419	KC	95%		1 dygn	3 tim	2	"fast" utfällning
422	KC	95%		4 dygn	3 tim	2	"fast" utfällning
423	KC	95%				2	"fast" utfällning, ej vattenbelastad
408	KC	95%	c:a 10 %	4 tim	3 tim	4	"fast" utfällning
409	KC	95%	c:a 10 %	1 dygn	3 tim	4	"fast" utfällning
410	KC	95%	c:a 10 %	4 dygn	3 tim	6	"fast" utfällning
411	KC	95%	c:a 10 %			7	"fast" utfällning, ej vattenbelastad
414	KC	65%		4 tim	3 tim	4	blandad utfällning
417	KC	65%		1 dygn	3 tim	2	"lös" utfällning
420	KC	65%		4 dygn	3 tim	2	"lös" utfällning
421	KC	65%				0	
405	KC	65%	c:a 10 %	4 tim	3 tim	2	blandad utfällning
406	KC	65%	c:a 10 %	1 dygn	3 tim	1	blandad utfällning
407	KC	65%	c:a 10 %	4 dygn	3 tim	1	blandad utfällning
404	KC	65%	c:a 10 %			0	
412	KC	50%		4 tim	3 tim	3	"lös" utfällning
413	KC	50%		1 dygn	3 tim	2	"lös" utfällning
415	KC	50%		4 dygn	3 tim	2	"lös" utfällning
416	KC	50%				0	
400	KC	50%	c:a 10 %	4 tim	3 tim	4	"lös" utfällning
401	KC	50%	c:a 10 %	1 dygn	3 tim	2	"lös" utfällning
402	KC	50%	c:a 10 %	4 dygn	3 tim	2	"lös" utfällning
403	KC	50%	c:a 10 %			0	

5.3 Fuktnivå i underlaget/antal färglager

Avsikten med försöket var att undersöka kombinationen lagringsklimat -- fuktnivå i underlaget -- antal färglager.

Underlagen placerades i RF=50%, RF=65% respektive RF=95%. Vissa underlag torkades och förvattnades varefter samtliga underlag lagrades 1 vecka. De som förvattnats lagrades diffusionstät.

Proverna målades efter lagringen med KC-färg i såväl 1 som 2 lager med i förekommande fall 1 dygns mellantorkning.

Ingen vattenbelastning förekom.

Proverna härdades i respektive klimat under 2 veckor varefter samtliga provkroppar samlades i RF=65% T=20°C.

Resultaten från försöket redovisas i tabell 5.3.

"Prickig" innebär att kalkutfällningarna uppträder som mm-stora öar på provytan. "Blankfläckar" innebär att provet har en mycket blank yta, troligen beroende på stort vattenöverskott under härdningen.

Tabell 5.3

LITT.	BINDE- MEDEL	RELATIV FUKTIGHET	FUKT I UNDERLAG	RELATIV SKALA	L/C- VÄRDE	KOMMENTAR
510	KC	95%		1	2,85	1 lager färg
511	KC	95%		1	2,98	2 lager färg
532	KC	95%	5.1 %	2	2,32	1 lager färg, prickig
533	KC	95%	5.3 %	6	5,5	2 lager färg
554	KC	65%		0	2,36	1 lager färg
555	KC	65%		0	2,39	2 lager färg
556	KC	65%	4.7 %	0	2,33	1 lager färg
557	KC	65%	4.7 %	0	2,2	2 lager färg
504	KC	50%		0	2,5	1 lager färg
505	KC	50%		0	2,4	2 lager färg
506	KC	50%	4.9 %	0	2,3	1 lager färg
507	KC	50%	4.9 %	0	2,38	2 lager färg
512	KC	95%	2.2 %	5	4,5	1 lager färg
513	KC	95%	2.0 %	4	4,41	2 lager färg
514	KC	95%	4.1 %	3	2,81	1 lager färg, prickig
515	KC	95%	4.0 %	5	4,58	2 lager färg
516	KC	95%	6.0 %	1	2,18	1 lager färg
517	KC	95%	6.1 %	6	5,47	2 lager färg
518	KC	95%	8.3 %	0	2,13	1 lager färg, blankfläckar
519	KC	95%	8.0 %	4	4,68	2 lager färg
520	KC	95%	10.0 %	0	2,61	1 lager färg, blankfläckar
521	KC	95%	10.0 %	2	3,01	2 lager färg

5.4 Fuktbelastning

Avsikten med försöket var att undersöka inverkan av fuktbelastningens storlek.

Underlagen placerades i RF=65% T=20°C. Samtliga provkroppar torkades och förvattnades till 5% fuktkvot. Efter 3 dygns diffusionstät konditionering under lock målades proverna.

Proverna målades med KC-färg i 2 lager med 1 dygns mellantorkning.

Proverna vattenbegöts efter 1 dygns härdning med mellan 1.0 gram ($\approx 0.2 \text{ kg/m}^2$) och 12.4 gram ($\approx 1.9 \text{ kg/m}^2$) vatten.

Proverna lagrades därefter under 2 veckor i RF=65% T=20°C.

Resultaten från försöken redovisas i tabell 5.4.

Tabell 5.4

LITT.	BINDE- MEDEL	RELATIV FUKTIGHET	FUKT I UNDERLAG	HÄRDN.- TID	VATTEN- BELASTNING	RELATIV SKALA	L/C- VÄRDE
550	KC	65%	4.8 %	1 dygn	1.0 gram	0	2,11
549	KC	65%	4.7 %	1 dygn	2.0 gram	1	2,13
548	KC	65%	5.0 %	1 dygn	4.1 gram	1	2,34
547	KC	65%	4.8 %	1 dygn	6.3 gram	1	2,42
546	KC	65%	4.7 %	1 dygn	8.2 gram	2	2,51
551	KC	65%	4.9 %	1 dygn	9.0 gram	1	2,55
545	KC	65%	4.9 %	1 dygn	10.0 gram	1	2,18
552	KC	65%	4.9 %	1 dygn	11.0 gram	1	2,34
544	KC	65%	4.8 %	1 dygn	12.4 gram	1	2,41

5.5 Karbonatiseringsgrad i underlag

Avsikten med försöket var att se om underlagets karbonatiseringsgrad har någon betydelse för kalkutfällningsrisken.

Underlagen placerades i RF=65% T=20°C. Hälften av provkropparna torkades och förvattnades till 5% fuktkvot. Efter 3 dygns diffusionstät konditionering under lock målades proverna. I samband med målningen utplaceras proverna i RF=50%, RF=65% respektive RF=95%.

Förutom de nytillverkade underlagen användes 5 år gamla putsprover. Dessa prover är tillverkade av KC-puts och har lagrats i RF=65% T=20°C. Vid fenolftaleinprov konstaterades en fullständig genomkarbonatisering av proverna. Hälften av de gamla proverna torkades och förvattnades till 5% fuktkvot varefter samtliga gamla prover utplaceras i RF=50%, RF=65% respektive RF=95%. Efter 3 dygns konditionering under lock målades proverna.

Samtliga prover målades med KC-färg i 2 lager med 1 dygns mellantorkning.

Hälften av proverna vattenbelastades efter 4 timmars härdning av färgen. Belastningen utfördes genom upprepad sprayning med vatten på provytan. Ytan hölls nätt och jämnt "vattenblank" under 15 minuter. Mängden vatten blev då olika på de olika proverna, lägst 0.6 gram ($\approx 0.1 \text{ kg/m}^2$) och högst 5.0 gram ($\approx 0.8 \text{ kg/m}^2$).

Proverna härdades i respektive klimat under 2 veckor varefter samtliga prover samlades i RF=50% T=20°C.

Resultaten från försöket redovisas i tabell 5.5.

Den "kulörskiftning" som noterats i tabell 5.5 innebär att provet fått en ljusare nyans än normalt. Det är alltså inte någon kalkutfällning utan troligen kristallisation av ett salt. Prover som vattenbelastats uppvisar inte denna kulörskiftning. Det är möjligt att det extra påförda vattnet har löst saltet och fört detta med sig in i provet.

Vattenbelastningens storlek skiljer sig mellan nya prover och genomkarbonatiserade prover. Orsaken är olika porssystem i provkroppsserierna och därmed olika nivå på maximal fuktkvot.

Tabell 5.5

LITT.	BINDE- MEDEL	RELATIV FUKTIGHET	FUKT I UNDERLAG	HÄRDN.- TID	VATTEN- BELASTNING	RELATIV SKALA	L/C- VÄRDE	KOMMENTAR
611	KC	95%				2	2,55	
615	KC	95%		4 tim	2.5 gram	6	5,62	
616	KC	95%	5.3 %			4	3,91	
617	KC	95%	5.3 %	4 tim	1.3 gram	5	4,38	
605	KC	65%				0	2,32	kulörskiftning
606	KC	65%		4 tim	3.9 gram	1	2,28	
607	KC	65%	5.2 %			0	2,49	kulörskiftning
610	KC	65%	5.2 %	4 tim	3.3 gram	1	2,24	
601	KC	50%		4 tim	5.0 gram	1	2,48	
603	KC	50%	5.1 %			0	2,46	kulörskiftning
604	KC	50%	5.2 %	4 tim	3.9 gram	1	2,21	
628	KC	95%				0	2,25	genomkarbonatiserad, kulörskiftning
629	KC	95%		4 tim	0.6 gram	0	2,16	genomkarbonatiserad
630	KC	95%	5.9 %			0	2,10	genomkarbonatiserad, kulörskiftning
631	KC	95%	5.6 %	4 tim	0.7 gram	1	2,15	genomkarbonatiserad
624	KC	65%				0	2,46	genomkarbonatiserad, kulörskiftning
625	KC	65%		4 tim	0.7 gram	0	2,05	genomkarbonatiserad
626	KC	65%	5.1 %			0	2,29	genomkarbonatiserad, kulörskiftning
627	KC	65%	5.2 %	4 tim	1.0 gram	0	2,03	genomkarbonatiserad
620	KC	50%				0	2,38	genomkarbonatiserad, kulörskiftning
621	KC	50%		4 tim	0.9 gram	0	2,03	genomkarbonatiserad
622	KC	50%	5.1 %			0	2,52	genomkarbonatiserad, kulörskiftning
623	KC	50%	5.0 %	4 tim	1.3 gram	0	2,08	genomkarbonatiserad

5.6 Kompletterande provningar

Förutom de reguljära provserierna har mindre, kompletterande, försök gjorts vid skilda tillfällen. Resultaten från dessa redovisas i detta kapitel.

Variationerna i metodik är stora varför någon fullständig textsammanfattning inte låter sig göras. Gemensamt är dock att underlagen torkats i ugn innan förvattning. Dessutom förekommer ingen vattenbelastning.

Resultaten från försöken redovisas i tabell 5.6.

Proverna 9101-9105 innebär att färgen fick "vila" viss tid mellan blandning och applicering. Ju längre tid färgen vilade desto större mängd hydratationsprodukter (t ex Tobermorit) fanns tillgänglig direkt på färgskiktets yta vid appliceringen.

5.7 Uttorkningshastighet

Avsikten med försöket var att kontrollera uttorkningshastighetens betydelse för kalkutfällningsrisken.

Underlagen placerades i RF=65% T=20°C. Provkropparna lagrades minst 1 vecka i detta klimat innan vidare behandling. Innan förvattning torkades underlagen i torkugn vid 105°C.

Underlagen förvattnades till olika fuktkvoter mellan 3.2% och 9.0%, motsvarande $S_{kap} \approx 0.3-0.9$. Efter 3 dygns konditionering under lock placerades proverna på TD-lådan (se kapitel 4.1), fortfarande under lock, med omgivande klimat RF=95% T=20°C.

Ett dygn senare målades proverna med KC-färg. Ett andra lager färg målades på proven efter 4 timmar.

Vikt och yttemperatur kontrollerades regelbundet varefter uttorkningshastigheten för de olika proven kunde beräknas.

Ingen vattenbelastning förekom.

Efter 3 dygn avbröts försöken och proverna flyttades till RF=65% T=20°C.

Resultaten från försöket redovisas i tabell 5.7.

Tabell 5.6

LITT.	BINDE- MEDEL	RELATIV FUKTIGHET	FUKT I UNDERLAG	RELATIV SKALA	L/C- VÄRDE	KOMMENTAR
U 13	KC	95%	2,7	7	3,93	underlag av tegel
U 14	KC	95%	6,7	8	4,62	underlag av tegel
U 15	KC	95%	10,6	5	2,63	underlag av tegel
17	KC	95%	2,0	3	3,17	
18	KC	95%	2,6	3	3,49	
19	KC	95%	3,3	6	3,93	
20	KC	95%	3,9	7	4,26	
21	KC	95%	4,5	8	4,22	
22	KC	95%	5,1	8	4,11	
23	KC	95%	5,8	4	3,07	
24	KC	95%	6,4	1	2,12	
25	KC	95%	7,0	0	1,97	blankfläckar
26	KC	95%	7,6	0	2,10	blankfläckar
27	KC	95%	8,2	0	1,92	blankfläckar
28	KC	65%	2,0	0	2,25	
29	KC	65%	3,3	0	2,10	
30	KC	65%	4,6	1	2,20	
31	KC	65%	5,9	2	2,61	
32	KC	65%	7,0	1	2,23	
33	KC	65%	8,3	1	2,45	
55	KC	35%	2,0	0	2,23	kulörskiftning
56	KC	35%	3,1	0	2,15	kulörskiftning
40	KC	35%	3,2	0	2,44	kulörskiftning
57	KC	35%	4,5	0	2,12	kulörskiftning
41	KC	35%	4,7	0	2,29	kulörskiftning
58	KC	35%	5,5	0	2,09	
42	KC	35%	6,6	0	2,18	
59	KC	35%	6,9	0	2,11	
48	K	65%	6,5	0	1,54	
49	K	65%	6,6	0	1,56	
50	K	35%	2,1	0	2,22	
51	K	35%	3,2	0	2,16	
52	K	35%	4,5	0	2,19	
53	K	35%	5,7	0	2,21	
54	K	35%	7,0	0	2,24	
75	C	95%	2,1	2	2,24	
76	C	95%	4,5	6	3,65	
77	C	95%	7,1	3	3,12	
78	C	65%	2,1	0	2,30	
79	C	65%	4,3	0	2,25	
80	C	65%	7,1	2	2,54	
70	C	35%	1,9	0	2,25	kulörskiftning
71	C	35%	3,1	0	2,21	
72	C	35%	4,4	0	2,26	
73	C	35%	5,4	1	2,31	
74	C	35%	7,0	1	2,38	
9101	KC	95%	8,6	1	2,00	färgen applicerad direkt
9102	KC	95%	8,2	1	2,05	färgen lagrad 30 min.
9103	KC	95%	8,4	2	2,14	färgen lagrad 1 tim.
9104	KC	95%	8,2	2	2,31	färgen lagrad 4 tim.
9105	KC	95%	8,1	3	2,29	färgen lagrad 8 tim.

Tabell 5.7

LITT.	BINDE- MEDEL	FUKT I UNDERLAG	UTTORKN.- HASTIGHET	RELATIV SKALA	L/C- VÄRDE	BILD- ANALYS	KOMMENTAR
N 1	KC	8,2	0,18	4	2,02	147	
N 2	KC	5,0	0,14	1	1,59	1	kulörskiftning
N 3	KC	8,4	0,19	4	1,83	120	
N 4	KC	5,4	0,15	1	1,48	1	kulörskiftning
N 5	KC	7,9	0,20	4	2,01	127	
N 6	KC	5,0	0,16	1	1,49	1	kulörskiftning
N 7	KC	8,1	0,33	2	1,64	2	kulörskiftning
N 8	KC	5,0	0,21	1	1,43	1	kulörskiftning
N 13	KC	8,5	0,30	1	1,38	3	
N 14	KC	5,5	0,21	2	1,39	6	
N 15	KC	8,3	0,29	2	1,42	8	
N 16	KC	5,2	0,24	0	1,27	0	
N 17	KC	8,1	0,33	2	1,49	9	
N 18	KC	5,1	0,25	1	1,33	1	
N 19	KC	8,3	0,42	2	1,49	20	
N 20	KC	5,0	0,31	1	1,33	1	kulörskiftning
N 21	KC	7,4	0,28	2	1,40	17	
N 22	KC	5,1	0,27	0	1,34	2	
N 23	KC	7,2	0,30	1	1,36	6	
N 24	KC	5,5	0,31	0	1,37	1	
N 25	KC	7,3	0,30	1	1,39	43	
N 26	KC	4,9	0,29	0	1,41	1	
N 27	KC	7,3	0,45	0	1,38	0	kulörskiftning
N 28	KC	4,4	0,32	0	1,37	2	kulörskiftning
O 1	KC	3,2	0,20	1	1,27	1	
O 2	KC	3,2	0,24	0	1,21	0	
O 3	KC	3,2	0,33	0	1,22	0	kulörskiftning
O 4	KC	4,1	0,20	1	1,35	2	
O 5	KC	4,3	0,22	1	1,29	0	
O 6	KC	4,1	0,32	0	1,24	0	kulörskiftning
O 7	KC	5,2	0,19	2	1,50	24	
O 8	KC	5,1	0,27	1	1,32	2	
O 9	KC	5,5	0,36	1	1,23	0	kulörskiftning
O 10	KC	7,2	0,21	3	1,70	87	
O 11	KC	7,2	0,26	3	1,77	72	
O 12	KC	7,0	0,34	1	1,41	2	
O 13	KC	7,2	0,44	1	1,28	0	
O 14	KC	8,2	0,41	1	1,45	6	
O 15	KC	8,2	0,41	1	1,38	2	
O 16	KC	9,0	0,35	2	1,31	8	
O 17	KC	9,0	0,46	1	1,32	5	

5.8 Cementtyp

Avsikten med försöket var att kontrollera cementtypens betydelse för kalkutfällningsrisken.

Kalkdelen av bindemedlet bestod i samtliga prov av limhamnskalk medan cementtypen varierade.

5 olika cementtyper användes:

- Portlandcement med hög specifik yta (finmald)
- Portlandcement med låg specifik yta (de finaste fraktionerna borttagna)
- Vitt portlandcement (vanligen kallat vitcement)
- Anläggningscement
- Standard portlandcement

Underlagen placerades i RF=65% T=20°C. Provkropparna lagrades minst 1 vecka i detta klimat innan vidare behandling. Före förvattning torkades underlagen i torkugn vid 105°C.

Underlagen förvattnades till cirka 8.0% fuktkvot, motsvarande $S_{kap} \approx 0.8$. Efter 3 dygns konditionering under lock placerades proverna på TD-lådan (se kapitel 4.1), fortfarande under lock, med omgivande klimat RF=95% T=20°C.

Ett dygn senare målades proverna med KC-färg. Proverna målades ytterligare en gång efter 4 timmar.

Vikt och yttemperatur kontrollerades regelbundet varefter uttorkningshastigheten för de olika proven kunde beräknas.

Ingen vattenbelastning förekom.

Efter 3 dygn avbröts försöken och proverna flyttades till RF=65% T=20°C.

Resultaten från försöket redovisas i tabell 5.8.

Tabell 5.8

LITT.	BINDE- MEDEL	CEMENT- TYP	FUKT I UNDERLAG	UTTORKN.- HASTIGHET	RELATIV SKALA	L/C- VÄRDE	BILD- ANALYS	KOMMENTAR
N 29	KC	hög spec. yta	8,0	0,25	3	1,69	62	kulörskiftning
N 30	KC	låg spec. yta	7,6	0,25	2	1,48	29	
N 31	KC	vitcement	7,7	0,27	2	1,66	52	
N 32	KC	anläggn.-cem.	8,0	0,24	1	1,42	2	
N 33	KC	standard	8,3	0,26	1	1,36	1	
N 34	KC	hög spec. yta	7,9	0,44	3	1,53	12	kulörskiftning
N 35	KC	låg spec. yta	7,9	0,44	0	1,33	1	
N 36	KC	vitcement	7,8	0,45	1	1,39	2	kulörskiftning
N 37	KC	anläggn.-cem.	7,8	0,44	1	1,35	0	kulörskiftning
N 38	KC	standard	7,7	0,44	0	1,26	0	

5.9 Cementhalt

Avsikten med försöket var att kontrollera cementhaltens betydelse för kalkutfällningsrisken.

Bindemedlet bestod av limhamnskalk och vitcement. Andelen vitcement varierades mellan 0% och 100%.

Underlagen placerades i RF=65% T=20°C. Provkropparna lagrades minst 1 vecka i detta klimat innan vidare behandling. Före förvattning torkades underlagen i torkugn vid 105°C.

Underlagen förvattnades till cirka 7.5% fuktkvot, motsvarande $S_{kap} \approx 0.8$. Efter 3 dygns konditionering under lock placerades proverna på TD-lådan (se kapitel 4.1), fortfarande under lock, med omgivande klimat RF=95% T=20°C.

Ett dygn senare målades proverna med KC-färg. Ett andra lager färg målades på proven efter 4 timmar. Vikt och yttemperatur kontrollerades regelbundet var-efter uttorkningshastigheten för de olika proven kunde beräknas.

Ingen vattenbelastning förekom.

Efter 3 dygn avbröts försöken och proverna flyttades till RF=65% T=20°C.

Resultaten från försöket redovisas i tabell 5.9.

Tabell 5.9

LITT.	BINDE- MEDEL	CEMENT- HALT	FUKT I UNDERLAG	UTTORKN.- HASTIGHET	RELATIV SKALA	L/C- VÄRDE	BILD- ANALYS
N 39	KC	0,00	7,6	0,23	0	1,35	1
N 40	KC	0,05	7,6	0,21	1	1,39	8
N 41	KC	0,25	7,6	0,24	1	1,31	5
N 42	KC	0,50	7,3	0,21	1	1,39	22
N 43	KC	0,75	7,6	0,23	2	1,49	23
N 44	KC	1,00	7,5	0,23	2	1,54	30

6 DISKUSSION AV RESULTAT

6.1 Allmänt

Resultaten redovisas och diskuteras parameter för parameter vilket innebär att försökens kronologiska ordning ej nödvändigtvis följs. Av den totala resultatfloran redovisas för varje parameter endast exempel på resultat som är relevanta för just den aktuella parametern.

En fullständig resultatredovisning återfinns i kapitel 5. Av trycktekniska skäl har alla bilder samlats i bilaga 1.

6.2 Skadetyper

6.2.1 Kalkutfällning

Försöken har visat att två olika typer av kalkutfällning kan förekomma. Skillnaden mellan typerna är främst den olika grad av vidhäftning mot underlaget som karbonatet uppvisar. Den ena typen (vanligast), bilaga 1, figur 2 fäster så pass kraftigt mot underlaget att det är i det närmaste omöjligt att avlägsna utfällningen utan att skada underlaget. Den andra typen, bilaga 1, figur 3 har ringa vidhäftning varför den är lätt att avlägsna medelst borstning eller vattenspolning.

Vilken typ av utfällning som bildas är direkt beroende av bildningsmiljön. Enligt Peterson (1988), bilaga 3, är det transporthastigheten genom vattnet för kalciumhydroxid respektive kolsyra som bestämmer om kalciumkarbonatet bildas vid färgytan (fast) eller vid vattenytan (lös). Om vatten med hög halt av koldioxid bringas i kontakt med färgskiktet kommer kalciumkarbonatet att "växa fast" på ytan. Om vattnet däremot tidigt upptar kalciumhydroxid och därefter från ytan

tar upp koldioxid ur luften, är det rimligt att mineralet bildas på vattenytan, ofta som ett på ytan simmande "skinn". När vattnet senare avdunstar landar mineralhuden på färgytan. Någon vidhäftning uppkommer därmed inte.

Kalkutfällning kan även bildas om en redan karbonatiserad färgyta utsätts för kraftig vattenbelastning. Kalciumhydroxid kan då vandra från okarbonatiserade delar av underlaget till ytan och reagera med luftens kolsyra.

Om porsystemet endast delvis är vattenfyllt, kan koldioxid tränga in i porsystemet. Som ett tredje alternativ kan karbonat då bildas som ett osynligt skikt under ytan. Detta är normalfallet och det man strävar efter (det är alltså ingen skada).

Det bör tilläggas att den "löst" sittande typen av kalkutfällning är tämligen ovanlig. Under extrema förhållanden som t ex rinning kan den dock uppstå. Där "lös" utfällning uppträder, förekommer i normalfallet även en viss del "fast" utfällning.

Sammanfattningsvis kan sägas att "lösa" utfällningar uppträder där det finns mycket vatten på ytan, medan "fasta" utfällningar uppstår på ytor med "lagom" mängd vatten.

6.2.2 Kulörskiftning

Förutom den rena kalkutfällningen har skador i form av kulörskiftningar iakttagits. Även prover som inte har gett kalkutfällning har i vissa fall fått kulörförändringar. Denna kulörskiftning är speciellt framträdande på prover med låg fuktighetsgrad i underlaget som förvarats torrt. Det förekommer även i andra klimat men då i avsevärt mindre omfattning. Skadetyper förekommer i lika grad oavsett färgtyp. Bilaga 1, figur 4 visar ett ljust prov som i efterhand har pålagts en droppe vatten. Det mörkare området är vattenbelastat. Den troligaste förklaringen är att kalciumhydroxid och/eller

andra salter kristalliserat på ytan och sugts ner i provet då vatten tillförs.

Fenomenet har inte studerats speciellt varför någon djupare diskussion om de bakomliggande orsakerna inte förs i denna rapport.

6.3 Svepelektronmikroskop, röntgendiffraktion

Analyser gjorda vid Kemicentrum, LTH visar klart att utfällningarna består av kalciumkarbonat i form av kalcit. I bilaga 2 återfinns en utförlig rapport. Bilaga 1, figur 5 visar en bild från svepelektronmikroskop av kalciumkarbonat-kristaller.

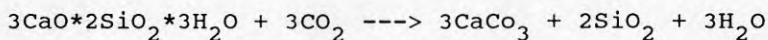
6.4 Variabelanalys

6.4.1 Bindemedelstyp, (K-KC)

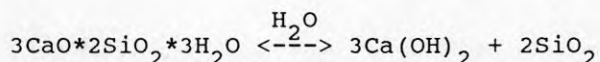
Prover målade med kalkfärg har inte i något fall utvecklats kalkutfällningar. Detta kan synas märkligt men stämmer väl med praktisk erfarenhet.

Om en liten del av kalken i bindemedlet byts ut mot cement blir färgen genast benägen att få kalkutfällning. Orsaken till detta är troligen närvaro av tobermorit. Tobermorit har förmåga att kvarhålla fukt i sin struktur samtidigt som Ca(OH)_2 -halten hålls hög vid sönderdelningsprocessen. Tillgången på fukt och Ca(OH)_2 vid färgytan är därigenom god även efter det att det "fria" vattnet försvunnit. Vid rena kalkfärger saknas tobermorit och karbonatiseringsprocessen kan ej fortgå på ytan på grund av vattenbrist. Däremot kan karbonatisering ske längre in i materialet där fuktnivån är tillräcklig.

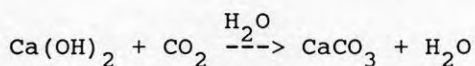
Reaktionsformeln vid bildande av kalciumkarbonat är enligt Czernin:



där kalciumsilikathydratet först sönderdelas enligt:



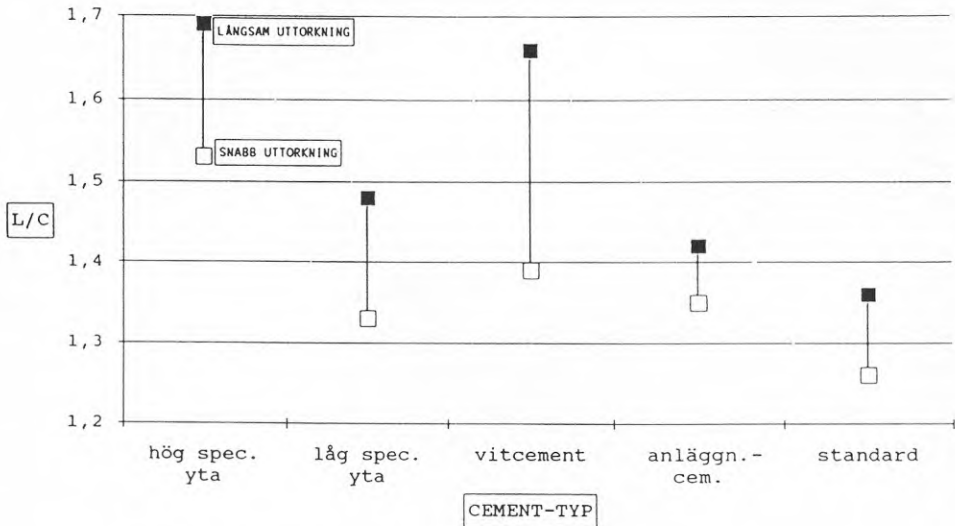
När ytan karbonatiserat och vatten i **vätskefas** tillföres så att porsystemet fylls, kan kalciumhydroxid transporteras till gränsskiktet vatten/luft och reagera med luftens kolsyra. Denna reaktion följer formeln:



Som synes krävs endast tillgång på kalciumhydroxid, vatten och kolsyra varför denna reaktion kan ske även på ytor målade med icke cementbaserade produkter.

6.4.1.1 Cementtyp i KC-färg

Klara skillnader mellan de provade cementtyperna kunde konstateras. Känsligast för kalkutfällning var finmald standardcement följt av vitcement. De tre övriga cementsorterna uppvisade ingen eller ringa känslighet vid provningen enligt figur 6.1.



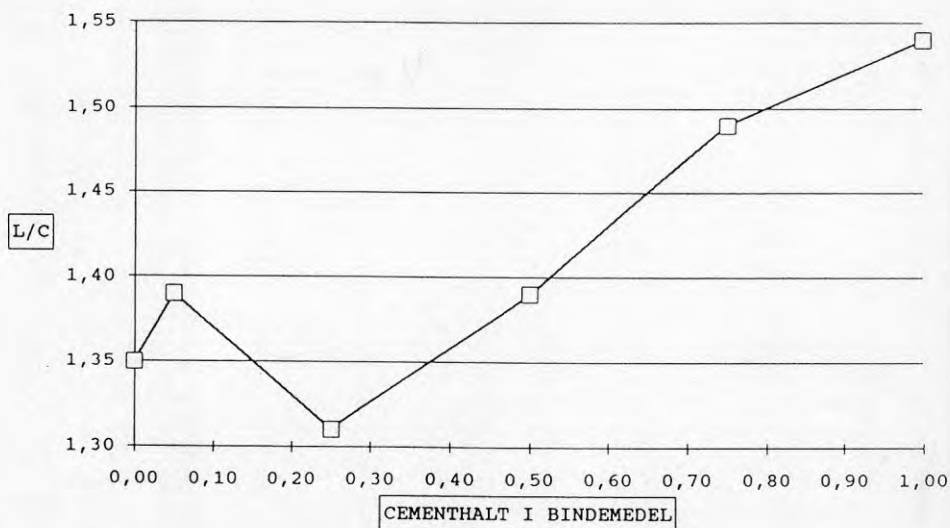
Figur 6.1 Inverkan av cementtyp.

RF=95% u=8.0% g=0.011 resp 0.020 g/m²,s

Finmald standardcement har en betydligt större specifik yta än normalt. Detta ger snabbare hydratisering och därmed större och snabbare tillgång på tobermorit. Vitcement har en något avvikande sammansättning av cementmineraler än vanlig standardcement. Det är möjligt att även detta ger en snabbare hydratisering. Ju mer tobermorit som finns i ytskiktet desto mer vatten kan kvarhållas vid ytan och underhålla kalciumhydroxidens omvandling till kalciumkarbonat.

6.4.1.2 Cementhalt i KC-färg

Cementhaltens inverkan provades med vitcement som bas. En tydlig ökning av kalkutfällningsrisken med ökande cementhalt kunde konstateras, figur 6.2. Ren cementfärg gav mycket kraftiga utfällningar, men redan en så liten cementhalt som 5% gav störande utfällningar. Dessa provningar genomfördes under de för färgen sämsta tänkbara förutsättningar, hög luftfuktighet och stor fuktkvot i underlaget. I ett torrt klimat kan det tänkas att proverna med de lägsta cementhalterna hade klarat sig närmast felfria.



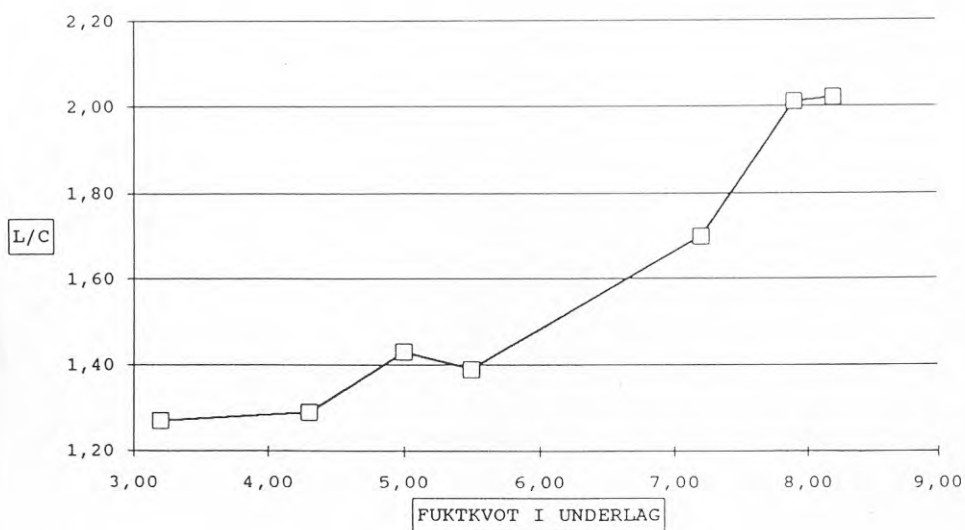
Figur 6.2 Inverkan av cementhalt.

RF=95% u=7.5% g=0.010 g/m²,s

6.4.2 Fukttillstånd i underlag

En förutsättning för att kalkutfällningar ska uppstå är att vatten finns närvarande. En del av detta vatten härrör från underlaget.

De flesta underlag som kan komma ifråga vid målning med K- och KC-färg är porösa. De kan alltså suga upp och hålla kvar vatten, ibland avsevärda mängder, utan att själva skadas. Eftersom risken för kalkutfällning till stor del styrs av våttiden (kapitel 6.4.10) har även fuktmängden i underlaget betydelse. Om en stor mängd fukt ska torkas ut från provet förlängs våttiden och risken för kalkutfällning ökar. Figur 6.3 visar hur mängden kalkutfällning beror på fuktnivån i underlaget. Vid mycket höga fuktkvoter bildas blankfläckar på ytan som stör mätningen varför dessa ej redovisas.

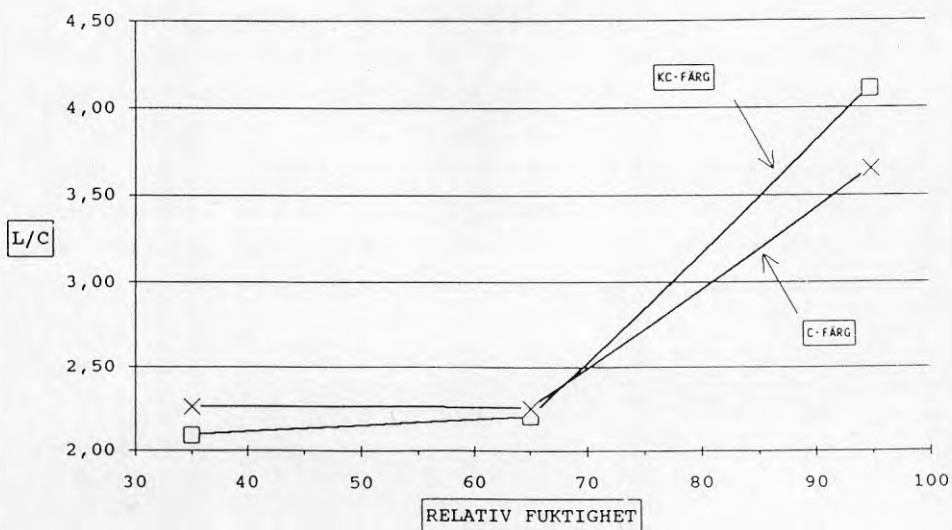


Figur 6.3 Inverkan av fuktnivå i underlaget
RF=95% $g=0.009 \text{ g/m}^2, \text{s}$ KC-standard

6.4.3 Relativ luftfuktighet

Utfällningarna är enligt figur 6.4, allvarligast på prover som efter målningen placerats i RF=95%. Detta förklaras med att uttorkningshastigheten är låg i detta klimat varvid ytan hålls fuktig under relativt lång tid och ger goda möjligheter för kalciumhydroxid att reagera just i färgens yta. Om färgen dessutom innehåller ett cement som innehåller kalium eller natrium är RF=95% tillräckligt för att vatten skall kondensera på kristaller av sådana salter, så att en film av saltlösning uppkommer.

Smärre utfällningar har även framkommit i torrare klimat men då endast på prover där underlaget givits en förhöjd fuktkvot innan målningen eller extremt lång vattenbelastning använts.



Figur 6.4 Inverkan av relativ luftfuktighet.

u=5.0%

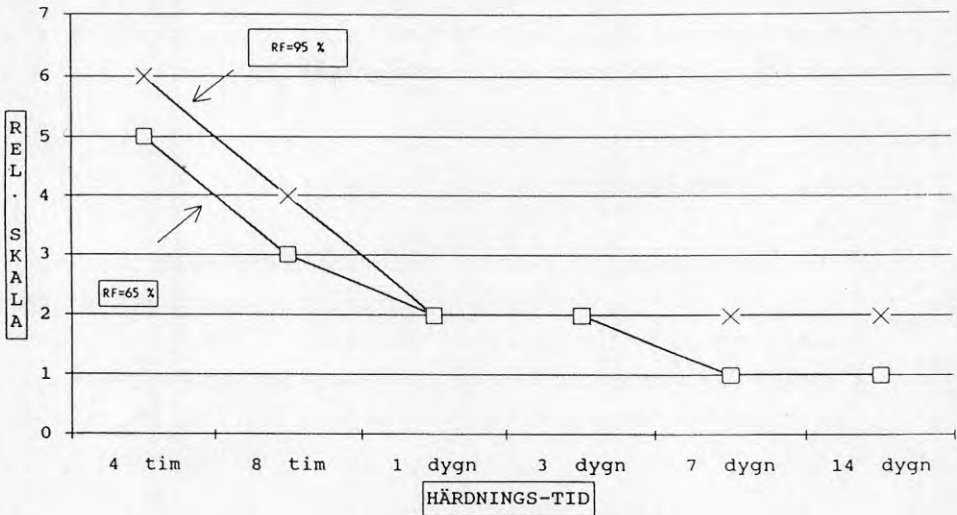
6.4.4 Underlagets karbonatiseringsgrad

Underlagets karbonatiseringsgrad kan i vissa fall ha betydelse. Om underlaget efter en tid av någon anledning blir vattenmättat kan kalciumhydroxid transporteras från okarbonatiserade delar av underlaget till ytan. Detta kräver dock vattenbelastning under så lång tid att närmast extrema förhållanden uppstår. Enligt Samuelsson hämmas i normalfallet dessutom denna transport av den kalciumkarbonat som tidigare bildats i eller strax under ytan.

Vid nyapplicering av färg spelar dock underlagets karbonatiseringsgrad ingen roll eftersom färgen i sig innehåller tillräckliga mängder kalciumhydroxid för att kalkutfällningar ska kunna uppstå.

6.4.5 Färgens härdningstid innan fuktbelastning

Allvarligheten hos kalkutfällningarna ökar om proverna tidigt utsätts för vattenbelastning och/eller hög luftfuktighet, se figur 6.5. Om färgen får härda några dagar under goda klimatbetingelser, d v s $RF < 75\%$ och ingen regn- eller kondensationsbelastning, minskar utfällningsrisken väsentligt. I extrema fall då underlaget vattenmättas kan dock utfällningar inträffa efter mycket lång tid, jmf kapitel 6.4.4.



Figur 6.5 Färgens härdningstid innan fuktbelastning.
 $u=2.0\%$ KC-standard

6.4.6 Vattenbelastning

Som nämnts i kapitel 6.4.5 har tidpunkten för vattenbelastning en viss betydelse för bildandet av kalkutfällning. Även bevattningssättet har dock betydelse, framför allt då det gäller vilken typ av utfällning som uppstår. Under alla omständigheter bildas kalciumkarbonat, i vissa fall häftar karbonatet fast vid ytan medan det i andra fall saknar vidhäftning mot ytan. Blandfenomen kan naturligtvis också uppträda. Ett tredje fall är när karbonatet bildas och fäster under ytan. Detta är normalfallet och det man bör sträva efter (det är alltså ingen skada).

Beroende på vilket sätt som vattnet tillförs provet och vilket klimat som proverna förvaras i fås olika typer av utfällning. De olika utfällningstyperna diskuteras i kapitel 6.2.1. Mängden vatten som måste tillföras provet för att skada ska uppstå beror till stor del på klimatet runt provet. Ju fuktigare klimat desto

mindre vattenmängd krävs. I extremfallet med luftfuktigheter nära 100% behövs ingen extra vattenbelastning. Den styrande variabeln är hur länge provytan är fuktig, våttiden. Våttiden diskuteras i kapitel 6.4.10.

6.4.7. Temperatur

Vid konstant ånghalt i luften ökar risken för kalkutfällningar med sjunkande temperatur, beroende på en sänkning av uttorkningshastigheten. Tillfälliga sänkningar av temperaturen (t ex nattetid) kan dessutom medföra kondensation på ytan.

6.4.8 Sol och vind

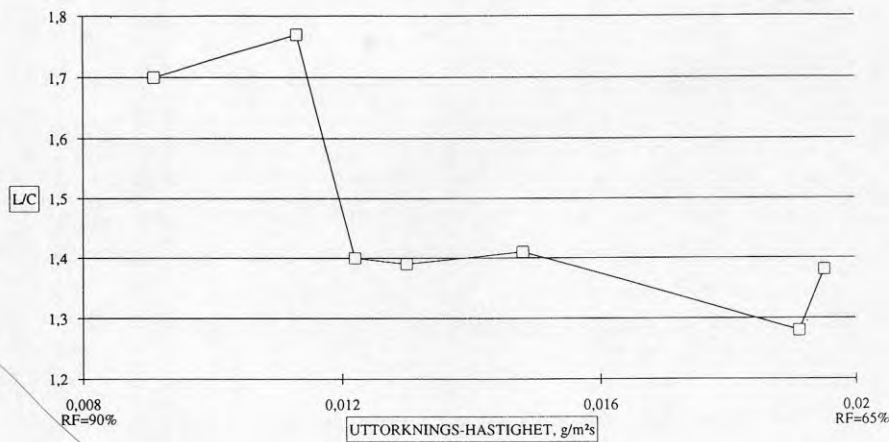
Såväl sol som vind påverkar uttorkningshastigheten. Solsken höjer yttemperaturen och höjer därmed uttorkningshastigheten vilket minskar risken för kalkutfällning. I gengäld ökar risken för kulörskiftningar genom att saltkristaller kan bli kvar på ytan.

Vind (konvektion) mot ytan höjer också uttorkningshastigheten, med minskande kalkutfällningsrisk som följd. Risken för kulörskiftningar är dock ej lika markant som vid solsken.

6.4.9. Uttorkningshastighet

Uttorkningshastigheten är en viktig parameter för risken för kalkutfällning. Generellt gäller att ju lägre uttorkningshastighet ju större blir risken för skada, figur 6.6. Samtidigt ger hög uttorkningshastighet en ökande risk för kulörskiftning. Skulle ytan torka för fort förhindras även den normala karbonatiseringen. Ytan kommer då att bli känslig för senare vattenbelastning.

Uttorkningshastigheten beror på flera olika parametrar: luftfuktighet, temperatur, solstrålning och luft-hastighet. Storleken på dessa parametrar styrs direkt av omständigheterna vid den enskilda arbetsplatsen.



Figur 6.6 Inverkan av uttorkningshastighet (TD-låda).
omgivande RF=95% u=7.2% KC-standard

6.4.10 Våttid

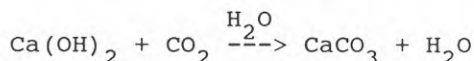
Den parameter, förutom bindemedelstyp, som är helt styrande för kalkutfällningsrisken är våttiden. Med våttid menas den tid som en yta är så pass fuktig att reaktionerna kan ske direkt på ytan. Våttiden beror direkt av uttorkningshastighet och tillgänglig vattenmängd. Låg uttorkningshastighet och/eller stor tillgänglig vattenmängd ger stor risk för kalkutfällning. De gjorda försöken är helt entydiga på denna punkt.

Med tanke på de bakomliggande mekanismerna, oavsett om kalciumhydroxid eller kalciumsilikathydrat är reaktionens grundmaterial, så krävs tillgång på vatten. Ju längre tid reaktionerna kan ske på ytan, ju större blir risken för att synlig kalciumkarbonat kan bildas.

7 SAMMANFATTNING/SLUTSATSER

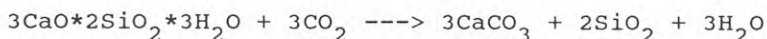
7.1 Teoretisk sammanfattning

Den slutliga mekanismen vid bildandet av synliga kalkutfällningar följer den av Samuelsson (1977) redovisade reaktionsformeln:

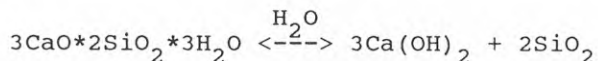


där kalciumhydroxiden härstammar från antingen fri kalk eller kalciumsilikathydrat, även kallat tobermorit. Tobermorit (egentligen tobermorit-liknande strukturer) bildas vid cementets hydratiseringsprocess.

Czernin (1969) redovisar följande reaktioner:



där kalciumsilikathydratet först sönderdelas enligt:



Så länge det finns vatten i vätskefas i färgytan kommer detta vatten att mättas på kalciumhydroxid. Ingår cement i färgens bindemedel ökar risken för kalkutfällning väsentligt. Detta beror på närvaron av tobermorit. Tobermorit-kristallerna är mycket små och har en skiktad struktur vilket gör att de kan "hålla kvar" vatten i yt-skiktet. Det kan således förekomma stora fuktbelastningar på yt-skiktet utan att RF-nivån behöver vara så hög som 95-100%.

Försök har visat att risken för kalkutfällning ökar om "gammal" färg, dvs färg som fått stå orörd viss tid mellan blandning och applicering, har använts. Orsaken är att hydratiseringsprocessen kommit igång och därmed skapat en ökad halt tobermorit i färgen.

Enligt Czernin åtföljs omvandlingen av kalciumsilikathydrat till kalciumkarbonat av en viss krympning. Denna krympning har observerats på kalkcementfärg som ett mikroskopiskt krackeleringsmönster.

Vid klimat med RF<75-80% har inte tobermoritens fukthållande effekt någon betydelse. Uttorkningsfronten hamnar istället strax under ytan där normal karbonatisering kan ske.

Även om färgskiktet på en yta får karbonatisera normalt kan kalkutfällningar utvecklas om ytan utsätts för långvarig vattenbelastning. Underlaget kan då vattenmättas varvid kalciumhydroxid från djupare liggande delar transporteras till ytan och bildar kalciumkarbonat.

Eftersom kalciumhydroxiden i detta fall härstammar från okarbonatiserade delar av underlaget, bör även prover målade med kalkfärg kunna utveckla kalkutfällningar. Försök med extremt långa vattenbelastningstider på kalkfärg har inte genomförts i denna undersökning. Från praktiken finns det dock exempel på kalkmålade ytor som bildat kalkutfällningar. Det finns även exempel på fasader målade med organiska ytskikt som utvecklat kalkutfällningar. Det har i dessa fall troligen rört sig om mycket kraftig vattenbelastning under lång tid.

7.2 Hur undvika kalkutfällning

Hur kalkutfällningar ska kunna undvikas är ett svårt problem. Det går aldrig att garantera att kalkutfällning inte uppstår. Man kan däremot försöka att minimera riskerna i möjligaste mån. Några tänkbara möjligheter finns.

- ersätt cementdelen med annat bindemedel
- ersätt vitcement med gråcement
- undvik direkt vattenbelastning under härdningstiden
- undvik att måla på fuktigt underlag
- undvik extremt klimat under applicering och härdning
- undvik kondens under härdningstiden

Den första möjligheten kan vara svår att genomföra. Cement behövs ofta i färgen för att ge tillräcklig hållfasthet och beständighet. Vitcement kan bara i vissa fall ersättas med gråcement vid ljusa färgnyanser. Mättade nyanser bör dock gå att framställa med gråcement. Kalkutfällningsproblemet är dessutom störst på mörka, mättade nyanser.

De fyra sista punkterna är direkt kopplade till arbetsplatsen. Direkt vattenbelastning under härdningstiden kan lätt undvikas genom att se till att vattenavledningen (hängrännor, stuprör, krönavtäckningar) är monterad och fungerande. En ordentlig skyddstäckning på hela fasaden krävs även. Dessa skyddsåtgärder bör bibehållas i minst 4 dagar efter appliceringen. Om vattenavledningen och skyddstäckning ordnas en tid före målningen kan även underlagets fuktighet hållas under kontroll.

Klimatet vid målningstillfället är viktigt. Extremt hög eller låg luftfuktighet respektive temperatur måste undvikas. Som riktvärden kan $RF=50-75\%$ och $T=10-25^{\circ}C$ användas. Även direkt solstrålning på fasaden bör undvikas.

Ytan får ej bli blöt under härdningperioden. Kondens får absolut ej förekomma.

7.3 Praktiska råd.

Några enkla och ibland självklara åtgärder kan minska risken för kalkutfällning väsentligt.

Monterade hängrännor och stuprör samt ordentlig skyddstäckning med god ventilation är ett måste. Likaså skall färgen ej appliceras vid risk för regn, dimma eller låg temperatur. Samtidigt måste fuktighetsnivån i såväl underlag som färg hållas på en nivå som inte äventyrar den normala karbonatiseringsprocessen.

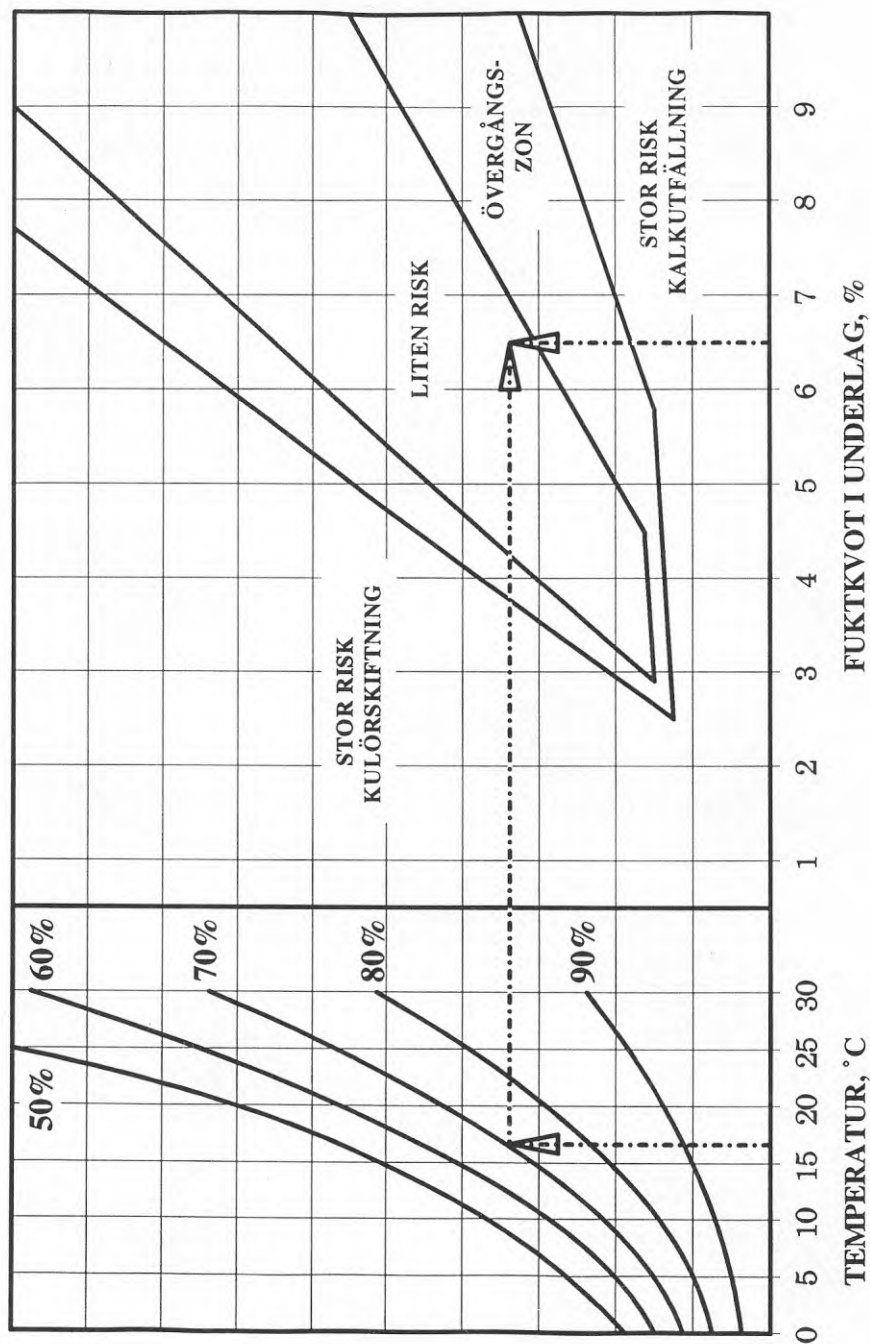
Figur 7.1 kan vara till god hjälp för att bestämma när målning kan ske respektive vattning bör göras. Observera dock att all vattning måste ske mycket försiktigt.

Förklaring till figur 7.1

Genom att mäta 3 parametrar; Temperatur i luft, Relativ fuktighet i luft och Fuktkvot i underlag, kan en riskbedömning göras.

I figuren är ett exempel inritat med ingångsvärden enligt följande: $T=17^{\circ}\text{C}$, $\text{RF}=70\%$, $u=6.5\%$. Slutresultatet visar att det är lämpligt att måla. Risken för kalkutfällning är liten.

Notera dock att detta diagram baserar sig på KC-färg och vindstilla (vilket är det sämsta möjliga fallet). Dessutom får ej någon extra vattenbelastning inträffa.



Figur 7.1 Diagram för bedömning av kalkutfällningsrisk.
(förklaring på föregående sida)

7.4 Fortsatta undersökningar

Det primära syftet med föreliggande undersökning var att utreda under vilka förhållanden som kalkutfällningar uppstår på oorganiska färger och putser. Detta syfte har uppnåtts.

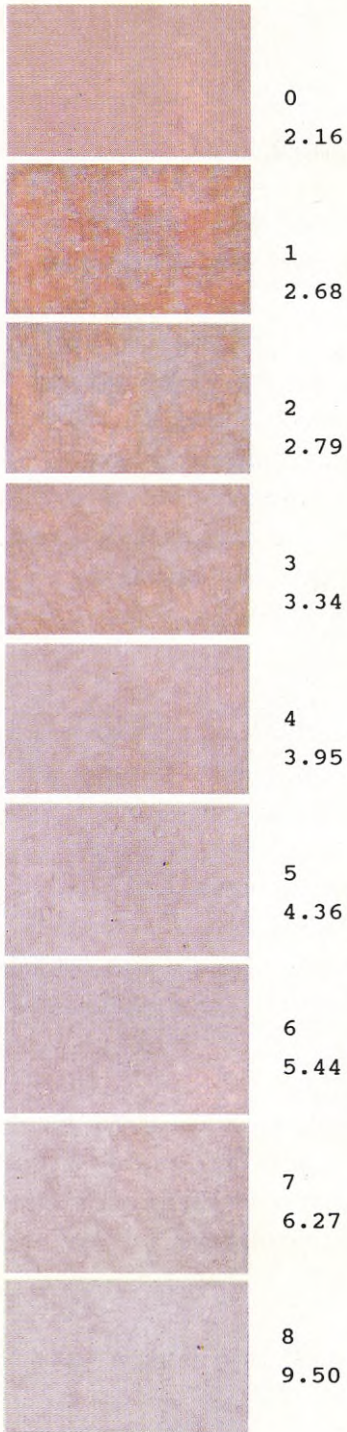
Den exakta mekanismen bakom kalkutfällningar har däremot inte undersökts i detalj. Att utreda denna mekanism är därför en lämplig fortsättning på projektet.

Likaså har inte eventuella effekter av tillsatsmedel beaktats.

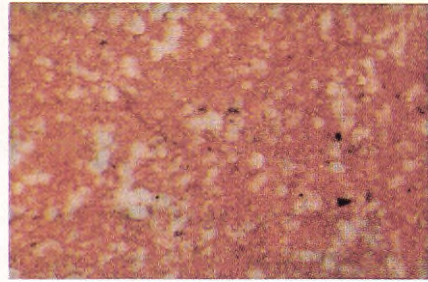
Under försökens gång har vissa observationer gjorts som inte undersökts vidare. Hit hör de kulörskiftningar som uppträder i torra härdningsklimat samt inverkan av bindemedlets malningsgrad.

LITTERATUR

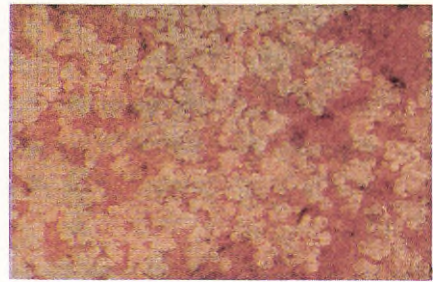
1. Czernin W, 1969, Cementkemi för byggare.
Svenska Cementföreningen. Malmö.
2. Hertzell et al, 1984, Betongens yta.
Statens råd för Byggnadsforskning.
Rapport T17:1984. Stockholm.
3. Nevander L E & Elmarsson B, 1981, Fukthandboken.
AB Svensk Byggtjänst. Stockholm.
4. Petersson O. Avd för Byggnadsmaterial,
Lunds Tekniska Högskola. Personlig information.
5. Samuelsson P, 1977, Kalkutfällningar på betongytor.
Statens råd för Byggnadsforskning.
Rapport R3:1977. Stockholm.
6. Samuelsson P, 1977, Kalkutfällningar på betongytor.
Statens råd för Byggnadsforskning.
Rapport T4:1977. Stockholm.



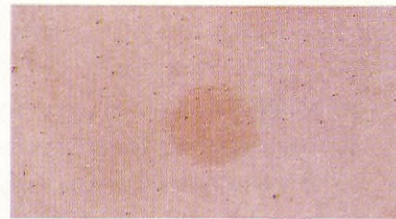
Figur 1.
Visuell bedömnings-
skala resp. L/C-värde



Figur 2. "Fast" utfällning,
sidlängd 1.1*0.7 mm



Figur 3. "Lös" utfällning,
sidlängd 1.1*0.7 mm



Figur 4. Kulörskiftning



Figur 5. Kalcit på KC-färg,
SEM, 22.5*11.3 my

UNDERSÖKNING AV KALKFÄRG OCH KALKCEMENTFÄRG

Beläggningen på KC-färgen har undersökts med två metoder, nämligen dels med röntgendiffraktion (XRD) dels med röntgenanalysator kopplad till svepelektronmikroskop (SEM).

Den förstnämnda metoden, XRD, ger upplysning om vilket ämne eller vilken kemisk förening som finns i beläggningen. Med den andra metoden, den energidispersiva röntgenanalysen EDAX, kan man få veta vilka element, som ingår i beläggningen. Båda metoderna har sina begränsningar. Materialet måste vara kristallint för att kunna ge ett diffraktogram och vid röntgenanalysen kan bara element med högre atomnummer än natrium detekteras. Kol och syre kan således inte detekteras, vilket är en stor nackdel. Det har därför varit nödvändigt att kombinera båda metoderna för att utreda vad den vita beläggningen på putsen består av.

Vår undersökning har visat att beläggningen endast består av kalciumkarbonat och att kristallformen är kalcit. Det bekräftas av bifogade röntgendiffraktogram, som visar att den vita beläggningen från prov 413 är kalcit till ca 99% och resten ca 1% kommer från underliggande röda material. I de flesta av de andra proverna har den vita beläggningen varit svårare att befria från underlaget utan att något av den underliggande kalciumsilikatfasen följt med kalcitfasen vid provberedningen för pulverdiffraktion. Då det dessutom var svårt att erhålla tillräckligt material gjordes upptagningen med Guiner-kamera. Guinerfilmen visade närvaro av huvudsakligen kalcit och något av nyss omnämnda silikatfas.

Röntgenanalysen och SEM visade för KC-färgen förekomst av mer eller mindre välutbildade kalcitkristaller och det enda element, som kunde detekteras i dessa var kalcium, eftersom syre och kol inte kan detekteras med EDAX. I det omgivande och underliggande materialet, dvs silikatfasen fanns förutom kalcium även kisel och något aluminium samt järn.

I K-färgen fanns inte denna förekomst av välutbildade kalcitkristaller koncentrerad till vissa områden på ytan.

Lund mars 1990

Samuel Kiuru

OLLE PETERSON
LTH
1988-09-07

Utfällning av kalciumkarbonat på betong

1. Kalciumhydroxid i betongvatten

Under betongens hårdnande är majoriteten av kalciumjonerna i betongvattnet bundna till hydroxidjoner.

Om cementet har normal alkalihalt kan rent av hydroxidhalten i vattnet vara så hög att kalciumhydroxidens löslighet är märkbart begränsad.

I rent vatten är lösligheten hos kalciumhydroxid 0,02 mol per liter, d v s

$0,02 \times 74 = 1,48$ gram per liter.

Det svarar mot en löslighetsprodukt av

$$\begin{aligned} (\text{Ca}^{2+}) \times (\text{OH}^-)^2 &= 0,02 \times 0,04^2 = \\ &= 32 \times 10^{-6} \text{ mol}^3 \text{ liter}^{-3} \end{aligned}$$

Kalciumhydroxid är således ganska lös i rent vatten. Lösningens pH-värde borde vara ungefär 12,6.

I betong finns alkaliföreningar som kan bidra med hydroxidjoner. I huvudsak kan man säga att varje gång hydroxidkoncentrationen fördubblas, minskas kalciumjonkoncentrationen med faktorn 4.

2. Koldioxid i vatten på betong

Om en nyligen avformad betongyta utsättes för vatten i form av regn eller dagg får man räkna med att vattnet

dels kommer att uppta kalciumhydroxid från den nyhårdnade betongen,

dels kommer att uppta koldioxid från den omgivande luften.

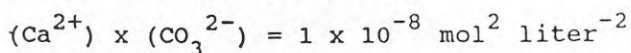
I vilken form koldioxiden kommer att förekomma i vattnet beror på vattnets halt av vätejoner och hydroxidjoner.

Är pH-värdet lägre än 6,37 kommer koldioxiden att förekomma som löst gas och som kolsyra.

Vid pH-värden mellan 6,37 och 10,25 föreligger kolsyran som hydrokarbonatjoner (också kallade bikarbonatjoner).

I båda fallen kan vattnet få innehålla kalciumjoner utan att några fasta föreningar behöver falla ut.

Överstiger pH-värdet 10,25 föreligger större delen av koldioxiden som karbonatjoner, och nu blir det aktuellt att kalciumjoner kan bilda ett fast kalciumkarbonat med dessa karbonatjoner. Löslighetsprodukten



Flera olika former av kalciumkarbonat kan bildas. Löslighetsprodukten gäller mineralet kalcit, men det är vanligt att i stället ett annat mineral med samma sammansättning men annan ordning, aragonit, bildas. I båda fallen gäller att kalciumkarbonatet är väsentligt mera svår-lösligt i vatten med relativt högt pH-värde än kalciumhydroxiden. Är pH-värdet mycket högt kan hydroxiden bli den mest svår-lösliga av de två kalciumföreningarna.

3. I vilken form bildas kalciumkarbonat?

Frågan avser inte kristallformen, eftersom under alla förhållanden flera mineral kan bildas.

I stället avses hur fast förankrat mineralet blir vid betongytan.

3.1 Fastsittande mineral

Förenklat kan sägas, att om ett vatten med hög halt av koldioxid bringas i beröring med nyli-gen hårdnad betong kommer kalciumjoner och hydroxidjoner från betongen att lösas i vattnet. Så snart koncentrationen av kalciumjoner blivit tillräckligt hög, samtidigt som vattnets pH-värde bringats upp i karbonatområdet (över 10,25) finns förutsättningar för att fast mineral skall fällas ut. Det är då rimligt att mineralet "växer fast" på betongytan.

3.2 Löst liggande mineral

Om vattnet tidigt upptar kalciumhydroxid och därefter från ytan tar upp koldioxid ur luften, är det rimligt att mineralet bildas på vattenytan, ofta som ett på ytan simmande "skinn".

När vattnet senare avdunstar, landar mineralhuden på betongytan. Någon vidhäftning uppkommer inte, och det är i allmänhet lätt att bors- ta bort den vita beläggningen.

3.3 Osynlig karbonatisering

Om betongen inte upptagit så mycket vatten att ett sammanhängande lager täcker betongytan, utan endast så mycket att betongens ytskikt blivit impregnerat, kan detta vatten uppta såväl kalciumhydroxid från betongen som koldioxid från luften.

Fastsittande mineral bildas även då, men inne i ytlagrets porsystem. Med tiden förbrukas de ämnen som i likhet med kalciumhydroxid kan avge kalciumjoner och hydroxidjoner till vatten.

Till sist blir dessa basiska mineral så svåråtkomliga att ett regn eller en daggbeläggning inte på rimlig tid kan ta upp kalciumjoner eller hydroxidjoner från betongen. Betongen har nu blivit resistent mot vita utfällningar.

Man skall vara klar över att betongen knappast blir resistent under obegränsad tid. En **mycket** långvarig vattenbelastning kan fortfarande lösa ut kalciumhydroxid ur betongytan, men risken för att detta skall inträffa blir allt mindre. Betongen blir allt mer beständig också mot verkan av utlakning från nederbörd, medan den alldeles färskaste betongen är mer utsatt för materialförlust vid långvarig vattenbelastning.

R22:1992

ISBN 91-540-5460-5

Byggforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6812022

Abonnemangsgrupp:
S. Byggplatsens verksamhet

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirka pris: 60 kr exkl moms