



GÖTEBORGS
UNIVERSITET

INSTITUTIONEN FÖR KULTURVÅRD

SPRICKORNA I *KONSTNÄRSFÖRBUNDETS STYRELSE*

HELENA BERG

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen med huvudområdet kulturvård med inriktning mot konservering

2022, 180 hp

Grundnivå

2022:1

Sprickorna i *Konstnärsförbundets styrelse*

Helena Berg

Handledare: Zareen Abbas

Examensarbete, 15 hp

Konservatorsprogrammet, 180 hp

UNIVERSITY OF GOTHENBURG
Department of Conservation
P.O. Box 130 Tel +46 31 786 0000
SE-405 30 Göteborg, Sweden

<http://www.conservation.gu.se>
Fax +46 31 786 4703

Program in Integrated Conservation of Cultural Property
Graduating thesis, BA/Sc, 2022

By: Helena Berg
Mentor: Zareen Abbas

The Cracks in *The Council of the Society of Artists*

ABSTRACT

All oil paintings do degrade with time and a clear sign of this ageing is the cracks seen at the surface of the painting. Cracks can, however, also be hidden underneath the very surface and in fact extend all the way down to the very substrate. Knowledge about the crack pattern and origin(s) is useful information for a conservator, but cracks are notoriously difficult to analyse. Here, the cracks in the painting *The Council of the Society of Artists* by the Swedish artist Richard Bergh have been investigated by performing artificial ageing of several mock-ups of the painting, foremost in order to understand the influence of the pigments and focussing especially on zinc white and cobalt blue.

The mock-ups have been analysed by heritage science methods and in particular by non-destructive methods: technical and X-ray photography, and X-ray tomography. For comparison purposes microscopy methods have also been used, by removing small samples from the mock-ups. Apart from the role of the pigments, also the influence of two different type of substrates have been investigated: a linen canvas and a Melinex film.

Overall, zinc white affects the elasticity of the paint, which hampers the crack formation, but the cracks that are observed most likely originate at the substrate and grow towards the surface. The type of substrate seems to be negligible as do the thickness of the *impasto*, but this might be a consequence of the relatively short study. Moreover, the cracks are dominantly found to be perpendicular to the brush direction, but indeed sometimes also alongside the direction.

The crack pattern found when studying the mock-up has clear similarities with those in the original painting. The main agreement is found in the border between the green background and the black costumes; the zinc white contributes to cracks less net-like, but in contrast the results cannot unambiguously determine the influence of cobalt blue for the crack pattern.

Altogether, the use of a mock-up and (non-destructive) heritage science techniques combined open for future studies not limited to the study of crack formation but one can also envisage studies of pigment degradation.

Title in original language: Sprickorna i *Konstnärsförbundets styrelse*

Language of text: Swedish

Number of pages: 57

Keywords: oil painting, heritage science, non-destructive, tomography

ISSN 1101-3303

2022:1

FÖRORD

Tack till er som hjälpt till längs vägen...

Zareen Abbas, min handledare vid Institutionen för Kulturvård, Göteborgs universitet – för värdefull feedback och stöttning,

Fernando Caceres, Nationalmuseum och *Tom Sandström*, Kulturarvslaboratoriet, Riksantikvarieämbetet – för värdefulla diskussioner om Richard Berghs måleri och specifikt *Konstnärsförbundets styrelse*,

Maria Höjjer, Institutionen för Kulturvård, Göteborgs universitet – för lån av blyvitt,

Elyse Canosa, *Sara Norrehed*, *Kathrin Hinrichs-Degerblad* och *Kaj Thuresson*, mina medforskare vid Kulturarvslaboratoriet, Riksantikvarieämbetet – för hjälp med accelererad åldring, teknisk fotografering, röntgenfotografering och mikroskopering (ljusmikroskop och SEM),

Steven Hall, Lunds Tekniska Högskola – för röntgentomografiska mätningar,

Kicki Eldh och *Hanna Bratt* & *Patrik Persson* – för tak över huvudet i Visby och Lund,

Patrik Johansson – för språklig korrektur. 373!

Utän er hade detta inte blivit vad det blev. T A C K!

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	9
INTRODUKTION	10
BAKGRUND	10
TIDIGARE FORSKNING	12
PROBLEMFÖRMULERING & FRÅGESTÄLLNINGAR.....	14
SYFTE & MÅL.....	15
AVGRÄNSNINGAR	15
TEORETISK REFERENSRAM.....	16
METOD.....	16
MATERIAL OCH EXPERIMENTELLA METODER.....	17
KONSTNÄRSFÖRBUNDETS STYRELSE.....	17
MOCK-UP.....	18
EXPERIMENTELLA METODER.....	21
<i>Accelererad åldring</i>	22
<i>Teknisk fotografering</i>	22
<i>Röntgenfotografering</i>	23
<i>Mikroskopi</i>	24
<i>Röntgentomografi</i>	25
RESULTAT.....	27
PROVER OCH PROVTAGNING	27
TJOCKLEKEN AV <i>IMPASTO</i>	27
ANVÄNDNING AV ZINKVITT	30
ANVÄNDNING AV KOBOLTBLÅTT	35
UNDERLAGETS BESKAFFENHET	39
SAMMANFATTANDE RESULTAT	43
DISKUSSION.....	44
SAMMANFATTNING & SLUTSATSER.....	50
REKOMMENDATION FÖR FRAMTIDA FORSKNING	51
REFERENSER.....	52
BILD- OCH TABELLFÖRTECKNING.....	56

INTRODUKTION

BAKGRUND

En målning betraktas oftast som ett tvådimensionellt objekt, men är de facto ett tredimensionellt objekt uppbyggt av flera lager. Ytan är dessutom sällan helt slät, utan har snarare en topologi som skapats av flera lager av färg och fernissa, och detta beror främst på hur konstnären valt att bygga upp målningen: *impasto*, penseldrag *etc.* för att skapa effekter för betraktaren. Den tredimensionella strukturen beror även av hur målningen torkat och härdat. Över tid ändras topologin som en naturlig del av målningens åldrande; sprickor i de olika färglagren blir vanligtvis resultatet.

Oljemålningars sprickbildning har gäckat konservatorer i alla tider. Hur nätverket av sprickor förändras över tid och i förhållande till den omgivande miljön är ytterst viktiga aspekter att bemästra inom konserveringsområdet. Sprickorna är inte alltid synliga i en målningens yta utan sträcker sig ofta in i duken – sprickor är tredimensionella. De sprickor som syns på ytan härrör ofta från skador som uppstått under det yttersta ytlaget och har sin uppkomst i allt från hur duken förändrats av luftfuktighet och temperatur, till hur målningen byggts upp med grundering, färglager och fernissa. Sprickbildningen påverkas av målningens naturliga åldrande, men även av tidigare konserveringsåtgärder och mekaniskt slitage vid hantering av målningen (hängning, transport, besökare, *etc.*). Vissa sprickor uppkommer så snart en målning börjar torka, medan andra bildas mycket långsamt och det kan ta århundraden innan de blir synliga. Sprickor behöver dock inte alltid ses som något negativt då de kan vara ett mycket användbart verktyg för autenticitetsbestämning; sprickor kan ses som en målningens fingeravtryck som följer målningen genom livet (Pauchard & Giorgiutti-Dauphiné, 2020).

Så snart oljefärg kommer i kontakt med luft och utsätts för ljus börjar färgen torka. Torkning är dock ofta en utdragen process som bland annat beror på val av pigment, mängd lösningsmedel (olja, målarmedium, *etc.*) och tjocklek av färglagren. Kemin bakom torkprocessen av en oljemålning är komplex och sker i flera steg. Initialt absorberar färgen syre från luften, och syret reagerar med oljorna i färgen via en autoxidativ kedjereaktionsprocess där kinetiken beror på ett flertal olika faktorer, såsom relativ luftfuktighet (Orlova m.fl., 2021). Oljorna består ofta av omättade fettsyror som under torkprocessen polymeriseras och bildar ett tvärbundet nätverk, vilket är en förutsättning för att en färg torkar och håller ihop (Wexler, 1964). Även om en målning känns torr (på ytan) efter några dagar fortgår torkprocessen och kan pågå i månader. Kemiskt sett är en oljemålning torr först när alla omättade fettsyror har polymeriserats, vilket kan ta flera år. Den yta som först bildas efter att tillräckligt med syre absorberats hindrar vidare kontakt med syre för underliggande färglager som därför torkar betydligt långsammare. När väl färger torkat är den dock inte helt stabil utan sönderdelas långsamt. Åldringsprocesserna tävlar mot polymeriseringen genom bland annat hydrolys, och då främst hydrolys av esterbindningarna mellan fettsyror och glycerol (en biprodukt vid polymerisationen) (Bajj m.fl., 2020). Genom oxidation och hydrolys bryts bindningar i polymerfilmen, vilket dessutom kan katalyseras av metaller i pigmenten; framför allt övergångsmetaller som bildar komplex med karboxylsyragrupper (van den Berg m.fl., 1999) – en förtvålningssprocess (Noble, 2019). Vanliga metaller som lättare bildar ’metalltvål’ är aluminium, kalium, kalcium, koppar, zink och bly (Noble, 2019). Agglomerat av ’metalltvål’ ansamlas, vilka till slut blir så stora att de kan tränga igenom färgen och resultera i håligheter, vilka i sin tur kan leda till sprickbildning och/eller delaminering av målningen (Osmond, 2014).

Förtvålningsprocessen är långsam och kan ta år att upptäcka, men processen kan påskyndas för att uppstå efter några veckor (Cotte m.fl., 2007). Hur snabbt det går att påskynda processen beror dock på faktorer såsom färgens egenskaper, dvs. val av pigment och olja, tjockleken på färglagren och miljön där målningen torkats och/eller förvaras.

En målning förändras även fysiskt under torkprocessen, framförallt då nedbrytningsprodukterna evaporerar vilket gör att färgen drar ihop sig, vilket även detta startar vid målningens/färgens yta. Om en målning torkar för snabbt kommer ytan dra ihop sig annorlunda jämfört med underliggande lager och då kan sprickor bildas. Metallkomplexen ("metalltvålen") gör målningen/färgen styvare, men även bräckligare och därför bestäms egenskaperna hos en torkad målning till största delen av vilka pigment som använts (Mecklenburg m.fl., 2005).

Redan under torkprocessen kan målningen börja att åldras. Åldrandet av målningar är sällan ett linjärt förlopp och därför är *accelererad åldring* en väsentlig metod för att kunna göra korrekta vetenskapliga förutsägelser av hur olika material beter sig över tid (Muñoz-Viñas, 2005). Åldringsprocessen hos en målning kan påskyndas genom att utsätta målningen för mer extrema förutsättningar med avseende på temperatur, relativ luftfuktighet och ljus, som alla är vanliga åldringsfaktorer (Feller, 1994). Vid termisk åldring blir färgen sprödare jämfört med naturligt åldrad färg, samt att sprödheten uppkommer av andra bakomliggande mekanismer (Mecklenburg m.fl., 2005; Erhardt m.fl., 2000).

Vilka parametrar som används vid accelererad åldring påverkar resultatet på olika sätt och positiva eller negativa synergieffekter mellan olika parametrar är sällan kartlagda, men så länge målningen utsätts för luft, ljus, luftfuktighet och lösningsmedel kommer oxidationsprocesserna att fortgå. Ljus, och specifikt UV-ljus påskyndar nedbrytningsprocessen av framför allt pigment, medan temperatur och luftfuktighet kan påverka en målning mekaniskt genom att rörelser introduceras i canvasduken (Zumbühl m.fl., 2011). Den accelererade åldring av en målning som sker i ett laboratorium bör så långt det är möjligt återskapa de naturliga åldringsprocesserna. Genom att höja temperaturen långt över normala förhållanden för en oljemålning påskyndas åldrandet på ett sätt som väsentligt skiljer sig från ett naturligt åldringsförlopp då helt andra kemiska processer initieras (Seves m.fl., 2000). Därför är designen av accelererande åldring viktigt så att de parametrar som är av intresse studeras.

Att svara på hur en målning är uppbyggd och vad som döljer sig under ytan är ofta svåra detektivgåtor att lösa. Inom forskningsområdet *heritage science* används olika naturvetenskapliga analysmetoder för att lösa gåtorna. En påtaglig nackdel är att för många analysmetoder måste en färgflaga avlägsnas från målningen, en irreversibel skada, och dessutom är resultaten av analysen enbart giltiga där provet togs, ingen helhetsbild fås. Vissa målningar är så värdefulla att man inte vill ta några prover alls, inte ens på ställen som inte går att upptäcka med blotta ögat. Alternativet som återstår är att använda icke-förstörande analysmetoder, men de ger som regel enbart information om det allra yttersta lagret eller ett medelvärde tvärs igenom målningen. Återigen är det metoder som bara ger svar för ett mycket begränsat område, oftast bara några tusendelar av en millimeter i taget, och tar därmed mycket lång tid att använda för ett helt objekts yta. Det finns dock icke-förstörande metoder där hela målningens tredimensionella uppbyggnad kan analyseras betydligt snabbare. Tomografiska metoder är ett sådant exempel, som dessutom kan designas så att upplösningen gör att man kan särskilja lager från lager av ett föremål, likt skiktröntgen som används inom sjukvården och

medicinsk forskning, men med avsevärt högre upplösning. Genom att studera en målningens tredimensionella struktur, inklusive dess topologi, kan en konservator få en ökad förståelse för sprickornas utbredningen, förstå målningens uppbyggnad, och därigenom kunna välja optimala konserveringsåtgärder.

TIDIGARE FORSKNING

Sprickor kan klassificeras i ett antal kategorier och sprickornas utbredning bör ingå i dokumentationen av en målning (Keck, 1969; Bucklow, 1999). Sprickor är mekaniska skador som orsakas av fysisk, kemisk och/eller biologisk påverkan. Den resulterande sprickbildningen kan grovt delas in i två kategorier: 1) delaminering/avflagnig i gränsskikten mellan olika färglager och/eller mellan färglager och underlaget (dvs. duken och dess grundering), and 2) genomgående kanaler i själva färglagren (Wood m.fl., 2018). Tidigare konserveringsåtgärder kan påverka sprickbildningen då nya spänningar kan introduceras i den underliggande duken med en inducerad utmattningsbelastning (Tantideeravit m.fl., 2013). Ett vanligare fenomen är dock påverkan av variationer i temperatur och luftfuktighet i en utställningslokal eller vid magasinering. Små variationer kan skapa spänningar i de enskilda färglagren, men även mellan färglagren (Mickalski, 1991; Mecklenburg, 2007).

Med hjälp av olika 3D-tekniker kan sprickors utbredning, form och djup studeras, men även målningens topologi. Målningen *Flicka med pärlörhänge*¹ av Vermeer² har analyserats med hjälp av tre olika 3D-tekniker³ för att skapa förståelse för dess mikrostruktur och topologi (Elkhuizen m.fl., 2019). De olika 3D-teknikerna har jämförts inbördes med avseende på för- och nackdelar med respektive teknik för att visualisera den specifika målningens topologi: upplösning, detektionsgrad, användbarhet, *etc.* Alla tre teknikerna kräver lång analystid för att få högupplösta bilder av en hel målning och därför bör de användas för begränsade områden av större målningar. Resultaten är dock ett nedslag 'här och nu', men om en målning, eller delar av en målning, analyseras vid flera tillfällen kan sprickors utveckling över tid studeras och därigenom ge tänkbara orsaker till sprickbildningen och hur snabbt den sker.

Upplösningen för analysmetoderna är väsentliga parametrar för att kunna avgöra om och hur de kan analysera pigment och sprickbildningar i målningar. Pigmentpartiklar är av storleksordningen 0,1-10 µm, medan tjockleken på ett färglager typiskt är 10-100 µm (Reischig m.fl., 2013). Med en metod med en upplösning av 1-2 µm kan pigment och ytterst fina sprickor detekteras långt under ytan på en målning och identifieras till ett specifikt färglager. Tomografiska metoder, som ofta kan nås den upplösningen, är därför oerhört användbara för att studera sprickbildning i målningar, men även för att upptäcka underliggande målningar. Targowski och Iwanicka (2012) har gjort en omfattande litteraturgenomgång av användningen av optisk koherenstomografi för att studera kulturarvsobjekt och visar på bredden av objekt och frågeställningar inom området.

¹ Mauritshuis, Haag, Nederländerna, föremålsnummer 670, (<https://www.mauritshuis.nl/en/our-collection/artworks/670-girl-with-a-pearl-earring/>), hämtad 2022-03-02).

² Johannes Vermeer (1632-1675), nederländsk målare.

³ Teknikerna som använts är "multi-scale optical coherence tomography", "3D scanning based on fringe-encoded stereo imaging" och "3D digital microscopy".

När det gäller forskning på specifika val av färger och målningstekniker är ett bra exempel zinkvitt (zinkoxid; ZnO) där man redan på 1890-talet noterade svårigheter med zinkvitt kopplade till sprickbildning (Church, 1890). Zinkvitt introducerades på 1830-talet som ett hälsosammare alternativ till blyvitt ($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) och hade fördelen att inte gulna i den förorenade luften som fanns på den tiden utan förblev skinande vit och var dessutom mera transparent än blyvitt; nackdelen var den långa torktiden (Ball, 2001). De bakomliggande mekanismerna varför zinkvitt skapar sprickor är fortfarande oklart, men kan ha att göra med hur zinkvitt beter sig under dess långsamma torkprocess samt dess kristallstruktur (Rogala, Lake, Maines & Mecklenburg, 2010). Dessutom är zinkvitt ett ytterst reaktivt pigment med en snabb förtvålningssprocess och dessutom mer lösligt än blyvitt (Hermans, 2016). Förtvålningssprodukterna kan forma agglomerat, vilka ackumulerar sig i gränsytan mellan olika färglager och skapa flagor, vilka i sin tur kan delaminera målningen (Osmond, 2014). Studier har även visat att zinkvitt kan orsaka mer sprickbildning när det blandas med andra pigment (Osmond, 2012), vilket är en mycket vanlig företeelse vid oljemåleri: kombinationen blyvitt-zinkvitt verkar vara extra spröd (Maor, 2008). Koboltblått (CoAl_2O_4) är en annan färg som kan orsaka sprickbildning och där bidrar framförallt bindemedel och olika tillsatser till ett sprödare färglager, och dessutom spelar pigmentets kvalitet stor roll för slutresultatet (Fuster-López m.fl., 2019).

Att tillverka en modell av en målning eller en 'mock-up' med olika färglager är användbara metoder för att på ett vetenskapligt och systematiskt sätt utvärdera vilken eller vilka parametrar som orsakar sprickbildning. Pauchard och Giorgiutti-Dauphiné (2020) byggde systematiskt upp en modell med olika färglager för att studera hur icke-förstörande analysmetoder kan användas för att på ett deduktivt sätt få kvantitativa och jämförbara resultat, vilka kan härledas till målningens sprickbildning. Att tillverka en modell eller mock-up av en verklig målning dock kräver en bredare kännedom om målningens uppbyggnad, val av pigment och vad som döljer sig under ytan. Ett förfarande som historiskt sett varit mycket vanligt är att konstnärer återanvänder sina dukar och tidigare okända målningar kan hittas med naturvetenskapliga analysmetoder utan att målningen skadas. Under Rembrandts⁴ målning *An Old Man in Military Costume*⁵ döljer sig en tidigare målning. Alfeld m.fl. (2013) har studerat hur den underliggande målningen torde sett ut genom att fritt tolka tidigare dokumentation om målningen i en mock-up. Med hjälp av olika icke-förstörande röntgenbaserade 3D-metoder⁶ har forskarna försökt utvärdera hur väl den underliggande målningen kan återges och vilken av de tre som bäst kan återge pigmenten, specifikt cinnober (HgS). Resultaten visar att alla tre metoderna går att använda, men att upplösningen och detektionsgraden för de två synkrotronmetoderna är överlägsna den portabla metoden på grund av kortare våglängd hos stålningen. Den portabla analysutrustningen kunde inte tillfredsställa återge den underliggande målningen, men den är däremot avsevärt enklare att använda än synkrotronmetoderna. Men om det är möjligt att transportera en målning till en synkrotronkälla kan en betydligt bättre upplösning erhållas och fler detaljer från den underliggande målningen visualiseras.

⁴ Rembrandt Harmenszoon van Rijn (1606-1669), nederländsk målare.

⁵ J. Paul Getty Museum, Los Angeles, USA, föremålsnummer 78.PB.246

(<http://www.getty.edu/art/collection/objects/673/rembrandt-harmensz-van-rijn-an-old-man-in-military-costume-dutch-about-1630-1631/>, hämtad 2022-03-02).

⁶ Teknikerna som använts är "scanning macro-XRF"; en mobil enhet och två synkrotronkällor (DESY, Hamburg, Tyskland och Brookhaven National Laboratory, New York, USA).

PROBLEMFORMULERING & FRÅGESTÄLLNINGAR

Ofta studeras målningar okulärt i släpljus för att observera eventuella skador; en metod som inte ger exakta resultat och som sällan dokumenteras väl. Vidare ger denna okulära analys enbart information om målningens yttersta skikt och inte om sprickors tredimensionella utseende.

Sprickor kan detekteras med olika 3D-metoder (Elkhuizen m.fl., 2019) samtidigt som hela målningens uppbyggnad kan studeras (Alfeld m.fl., 2013). Att skapa modeller för att studera både sprickors uppkomst (Pauchard & Giorgiutti-Dauphiné, 2020) och en målningsuppbyggnad (Alfeld m.fl., 2013) har visat sig vara en väg framåt. Kan man kombinera dessa tillvägagångssätt och på så sätt få veta mer om orsaken till olika sprickbildningar och hur förändringar skett över tid?

Richard Berghs⁷ målning *Konstnärsförbundets styrelse*⁸ (Figur 1) från 1903 har ett antal olika typer av sprickbildningar som drastiskt ändrar karaktär vid gränser mellan olika delar i målningen; bakgrunden har en typ av sprickbildning medans personernas kroppar har en annan och bordet en tredje. Finns det någon bakomliggande orsak till detta i valet av pigment? Och kan naturvetenskapliga analysmetoder applicerade på en artificiellt åldrad modell ge svar på frågorna kring sprickbildningens utseende?



Figur 1. *Konstnärsförbundets styrelse* av Richard Bergh (1903). Foto: Åsa Lundén, Nationalmuseum.

En analysmetod som kan ge svar på frågan är röntgentomografi (skiktröntgen), som är en icke-förstörande metod och som kan designas så att upplösningen gör att man kan särskilja färglager från färglager i målningen (Cheung, Spring & Liang, 2015). Genom att använda denna 3D-teknik på olika varianter av en mock-up av Richard Berghs målning torde man bättre kunna separera ut vad i målningens uppbyggnad och val av pigment som orsakar de olika typerna av sprickbildningar som observerats. Den bit som saknas för att göra pusslet komplett är åldringen och specifikt accelererad åldring av oljemåleri på duk (Zumbühl m.fl., 2011).

⁷ Richard Bergh (1858-1919), svensk konstnär.

⁸ Nationalmuseums, Stockholm, Sverige, föremålsnummer NM 1602

(<http://collection.nationalmuseum.se/eMP/eMuseumPlus?service=ExternalInterface&module=collection&objectId=18606&viewType=detailView>, hämtad 2022-03-02).

Den övergripande forskningsfrågan är om valet av pigment orsakat sprickbildningen i *Konstnärslövsstyrelse* och hur röntgentomografi kan komplettera de analysmetoder som redan är etablerade inom målerikonservering och specifikt för de målningar där inga prover kan/får tas. Följande delfrågor kommer studeras:

- Vilka samband mellan pigment och målningens uppbyggnad kan orsaka sprickbildningen?
- Hur påverkar målningens underlag dess tredimensionella struktur?
- Vilken information fås ifrån tomografiska mätningar som inte fås av andra icke-förstörande analysmetoder när det kommer till sprickbildning i en oljemålning?

SYFTE & MÅL

Syftet med forskningsprojektet är att utvärdera om/hur vi kan, genom att applicera icke-förstörande tomografiska metoder på oljemålningar, få information om vad som orsakat sprickbildningen baserat på vilka pigment en målning torde vara uppbyggd av. Studien görs som en fallstudie av en systematiskt uppbyggd målning (mock-up) baserad på redan existerande kunskap om Richard Berghs målning *Konstnärslövsstyrelse* för att därigenom skapa bättre förutsättningar för konservering (T. Sandström (Riksantikvarieämbetet) och F. Caceres (Nationalmuseum), personlig kommunikation 22 februari, 2022).

Målsättningen med studien är att utvärdera hur tomografi kan användas för att öka kunskapen om sprickbildning i oljemålningar. Baserat på hur man tror sig veta hur målningen är uppbyggd har en mock-up tillverkats, som därefter artificiellt åldrats med accelererande åldringsmetoder. Modellen har tillverkats med olika kombinationer av färglager för att försöka utröna vad som torde ha orsakat sprickbildningarna, hur djupt sprickorna torde gå och vilket/vilka pigment som torde påverka sprickbildningen.

AVGRÄNSNINGAR

Studien avgränsas till att enbart undersöka sprickbildning i Richard Berghs målning *Konstnärslövsstyrelse* och endast till de sprickbildningar som observerats mellan användandet av tjockare och tunnare *impasto* och i övergången mellan bakgrund och de avbildade personernas kroppar. Förståelsen för sprickbildningen i den specifika målningen är målsättningen med studien, inte att ge generella svar kring sprickbildningen för andra målningar av Richard Bergh eller för oljemålningar över lag. Däremot torde studien kunna ge vägledning om möjliga orsaker till sprickor i andra målningar av Richard Bergh i de fall där en målning torde ha byggts upp på ett liknande sätt och med liknande pigment. Vidare kommer studien att endast ge svar om troliga orsaker till sprickbildningarna som observerats, inte om och hur målningen bör konserveras för att hämma fortplantningen av sprickorna.

Den mock-up som tillverkats baseras på kunskap om vilka färger och pigment man funnit på Richard Berghs palett, samt analyser som genomförts av Riksantikvarieämbetet på den specifika målningen (T. Sandström, personlig kommunikation, 22 februari, 2022). Antalet pigment har begränsats till koboltblått, krapplack, kromoxidgrönt, elfenbenssvart, rå och bränd umbra, samt bly- och zinkvitt. Alla oljefärger är av artistkvalitet och från samma tillverkare, samt inköpta vid samma tillfälle. Endast rå linolja har använts som bindemedel. En färdiggrunderad linneduk och en tjockare Melinex-film har använts som underlag.

TEORETISK REFERENSRAM

Studien är en *fallstudie* med ett *deduktivt perspektiv* som genomförts med en *kvalitativ analys* av målningen (Patel & Davidsson, 2017; Thurén, 2019). Samtidigt har studien ett *hypotetiskt-deduktivt* perspektiv att genom ett fåtal variabler (pigment och analysmetoder) dra generella slutsatser om hur sprickbildningen torde uppkomma (Wallén, 1996; Alfeld m.fl., 2013).

Då kulturarvsföremål många gånger är unika objekt är det svårt att dra generella slutsatser (Muñoz-Viñas, 2005 s.129f), vilket torde ses som att inledningsvis har forskningsprojektet ett *induktiv* förhållningssätt och ju mer bakomliggande information som kommer fram desto mer *deduktiv* blir studien (jmf. Patel & Davidsson, 2017, s. 26ff). Då en befintlig målning är utgångspunkten för studien utgör det teoretiska perspektivet även *history of things* (Riello, 2018) där målningen i sig är främsta källan till att förstå hur målningen är uppbyggd (jmf. Elkhuizen m.fl., 2019), samt att historiska dokument spelar en större roll för utformandet av forskningsprojektet och för tolkningen av analysresultaten: Vilka pigment kan konstnären tänkas ha använt?; Finns det liknande målningar som redan analyserats?; osv. Med hjälp av *kvantitativa* och *empiriskt* beprövade naturvetenskapliga analysmetoder torde hypoteserna kunna falsifieras (Patel & Davidsson, 2017). För att svara på frågorna ställs man som konservator för dilemmat med att avlägsna ett prov från målningen. Muñoz-Viñas (2009) talar om 'minimal intervention', dvs. att så långt som möjligt ska alla åtgärder vara reversibla och med ett så lite ingrepp som möjligt. Genom att ta ett prov från ett objekt ställs man därför inför ett etiskt dilemma och därför bör provtagning minimeras till de fall där det är ytterst nödvändigt och inga andra analysmetoder finns tillgängliga.

METOD

Metodvalet för forskningsprojektet kan ses som *metodologisk konstruktivism* genom att en mock-up av målningen tillverkats. Utgångspunkten för den här studien är att studera sprickbildningen med hjälp av icke-förstörande naturvetenskapliga analysmetoder, vilket i kulturvårdsammanhang benämns *heritage science*⁹. I den här studien har de icke-destruktiva analysmetoderna röntgenfotografering, teknisk fotografering och röntgentomografi använts. Alla tre metoderna ger svar bortom målningens yta, men på olika sätt. Röntgenfotografering är det vi vanligtvis enbart kallar för 'röntgen' – det som man inom medicin studerar ex. benbrott. Teknisk fotografering bygger på att fotografera i olika ljus (vanligtvis synligt, ultraviolett och infrarött ljus), vilket kan ge detaljer som inte kan ses med blotta ögat. Röntgentomografin som använts bygger på samma princip som skiktröntgen inom medicin, men med en betydligt högre upplösning på grund av röntgenstrålningens mycket korta våglängd. Dessa tre metoder kompletterar varandra för att visualisera vad som finns under ytan när det kommer till sprickbildning, men även pigment. Genom att använda dessa metoder för att analysera sprickbildningen i en oljemålning förändras dokumentationen av målningens topologi och sprickbildning från att vara subjektiv till att bli *objektiv*.

⁹ Det finns i dagsläget inget bra svenskt ord eller uttryck som beskriver *heritage science*.

MATERIAL OCH EXPERIMENTELLA METODER

Konstnårsförbundets styrelse är målad 1903 av Richard Bergh. Han föddes 1858 och växte upp i en konstnärsfamilj och utbildade sig bland annat vid Konstakademien i Stockholm. Precis som de flesta konstnärer från denna tid tillbringade Bergh tid i Frankrike och Italien där han hämtade inspiration och prövade nya uttryckssätt (Brunner, 2002). I sitt målning försökte han befästa ett vetenskapligt angreppssätt och arbeta tvärvetenskapligt för att förklara varför konstnärer skapade, hur konsten kommunicerar med betraktaren och vad han uppfattade vara konstens sanna uppdrag (Facos, 2010).

Richard Bergh är en av de ledande svenska konstnärerna runt förra sekelskiftet och samtida med Carl Larsson, Prins Eugen, Anders Zorn, Bruno Liljefors, August Strindberg, m.fl. Den fria konstmarknaden som idag råder var något revolutionerande vid slutet av 1800-talet. Konstnärerna började då experimentera sig fram till nya konstnärliga uttryck och välja material, teknik och motiv efter egna önskemål – inte efter beställarens krav eller akademiernas traditioner. På paletten fanns både traditionella och nya färger, men även bindemedlet kunde vara både linolja och äggtempera i samma målning. De unga konstnärerna med den fria synen på måleri samlas under *Opponenterna*, vilka krävde en förnyelse av den konservativa Konstakademien. En förebild var Gauguin (Strömbom, 1948). Richard Bergh uttryckte att Opponenterna hade ”ett begär att fördjupa sin konst genom beröringen med den natur och det folk, som de själva tillhörde” (Person, 1993, s.23). Konstnårsförbundet bildas 1886 av ett antal ledande personer inom Opponenterna och var en motreaktion till Konstakademien. (Strömbom, 1948; Brummer, 2002)

KONSTNÅRSFÖRBUNDETS STYRELSE

Målningen *Konstnårsförbundets styrelse* är en oljemålning på duk (150 x 212 cm) och är signerad 'R.B. 1903'.¹⁰ Motivet är styrelsen för Konstnårsförbundet: från vänster Christian Eriksson, Eugène Jansson, Nils Kreuger, Karl Nordström (ordförande), Robert Thegerström och Richard Bergh (sekreterare). Nationalmuseum förvärvade målningen 1903. Förlagan till målningen är ett fotografi taget av Tekla Nordström och Richard Bergh har dock arrangerat om så att grupporträttet följer t.ex. Rembrandts grupporträtt (Person, 1993).

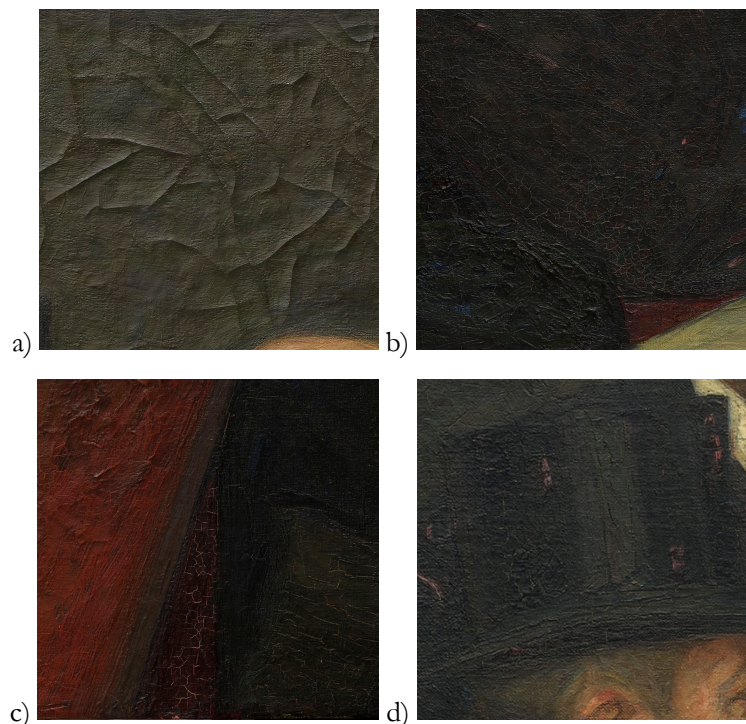
För att förstå hur Richard Bergh byggt upp målningen är det centralt att studera hur andra målningar från denna tid är uppbyggda (ex. Macaro, 2017; Giorgi m.fl., 2019). Richard Berghs målning har troligtvis gjorts med de nya material och målartekniker som strömmade in bland konstnärerna runt slutet av 1800-talet där kampen mellan realism och idealism kännetecknade konstuttrycket och där den egna samtiden skulle skildras (Gunnarsson, 2002). Till sin uppbyggnad är målningen gjord i flera lager. Baserat på röntgenfluorescensanalyser av färgflagor har man kunnat konstatera att de pigment som Richard Bergh använt torde vara följande: blyvitt, zinkvitt, krapplack, koboltblått, kromgrönt och något svart pigment (T. Sandström (Riksantikvarieämbetet) och F. Caceres (Nationalmuseum), personlig kommunikation 22 februari, 2022). Vidare är målningen tredimensionell med olika inlagor av *impasto* i olika tjocklek vilka torde

¹⁰ Nationalmuseums, Stockholm, Sverige, föremålsnummer NM 1602

(<http://collection.nationalmuseum.se/eMP/eMuseumPlus?service=ExternalInterface&module=collection&objectId=18606&viewType=detailView>, hämtad 2022-03-02).

vara äggtemperabaserade då han tidigare experimenterat med detta och sökt ”en emotionell stil med tjock glänsande djup färg och en dekorativ linjeverkan” (Person, 1993, s. 76).

Idag har målningen ett antal sprickbildningar av vitt skilda karaktärer (Figur 2). I den gröna bakgrunden finns större, grova sprickor i ett relativt glest mönster (Figur 2a). Sprickornas utbredning avstannar så snart ett annat färgparti nås och sprickbildningen ändrar karaktär. I de svarta partierna är sprickbildningen mer finmaskigt och sprickorna är inte lika distinkta och djupa (Figur 2b). Det röda bordet tycks vara relativt opåverkat av djupa sprickor, förutom ett parti där sprickbildningen tycks nå den underliggande duken/grunderingen (Figur 2c). På ett flertal ställen ses sprickbildningen följa penseldragen (Figur 2d).



Figur 2. Exempel på sprickbildning i Konstnärskommitténs styrelse av Richard Bergh: a) gröna bakgrunden, b) svarta partiet, c) bordets sida och d) sprickbildning vid penseldrag. Fotograf: Cecilia Heisser, Nationalmuseum.

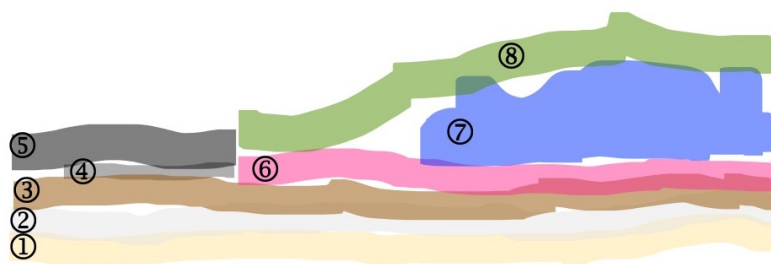
MOCK-UP

En mock-up av målningen har systematiskt byggts upp och specifikt området med övergången från bakgrund till de avbildade personerna (Figur 3). Mock-up:en ska inte ses som ett sätt att efterlikna målningen till punkt och pricka med alla de processer som sker under en målningens hela livstid, utan som ett sätt att separera ut specifika processer från varandra och möjliggöra att relatera specifika materialegenskaper till olika mekaniska påfrestningar. Utmaningen ligger i att på ett kvalitativt sätt relatera de olika sprickbildningarna till en specifik egenskap hos de ingående materialen, men även till tjockleken av olika färglager och dess ingående pigment.



Figur 3. Området av *Konstnärskommitténs styrelse* som är utgångspunkten för uppbyggnad av mock-up:en.
Foto: Cecilia Heisser, Nationalmuseum.

En förbehandlad linneduk och en Melinex-film (tjocklek: 0,1 mm) har preparerats där ett antal färglager applicerats i en specifik lagerstruktur (Figur 4). Ovanpå underlaget (canvas eller Melinex-film) (#1) har ett lager av blyvitt och ett lager av zinkvitt målats (#2). Därefter har ett lager med vattenbaserad täckande temperafärg (bränd umbra) applicerats (#3). Rå umbra blandat med terpentin (#4) representerar den skiss av motivet som Richard Bergh torde gjort. Motivet utgörs av ett svart parti (#5) bestående av elfenbenssvart, koboltblått och krapplack. Bakgrunden av originalmålningen är uppbyggd av flera lager och här har ett lager av krapplack (#6) målats ovanpå på lagret med täckfärg (#3). För att återskapa den tredimensionella strukturen har ett tjockare lager av koboltblått (#7) använts. Som yttersta lager för att slutföra bakgrundspartiet har ett lager med kromgrönt (#8) målats. Det underliggande lagret har fått torka så mycket att nästa lager kan applicerats utan att färglagren blandas.



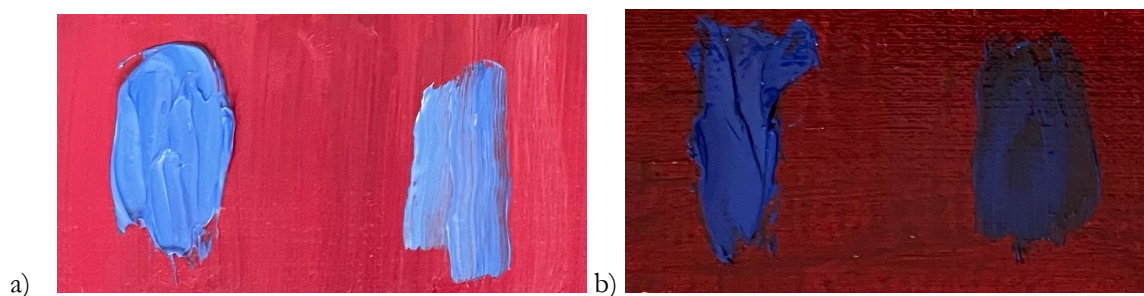
Figur 4. Lagerstrukturen för uppbyggnad av mock-up:en: 1) canvas eller Melinex-film; 2) Blyvitt och zinkvitt, oljefärg; 3) bränd umbra, vattenbaserad tempera; 4) rå umbra, oljefärg, och terpentin; 5) elfenbenssvart, koboltblå och krapplack, oljefärg; 6) krapplack och zinkvitt, oljefärg; 7) koboltblå och zinkvitt, oljefärg; 8) kromgrönt och zinkvitt, oljefärg.

Ett antal parametrar har varierats och totalt har tio olika mindre målningar (mock-up:er) skapats i syfte att förstå vilka pigment som kan vara grunden för de olika sprickbildningarna. Följande varianter har tillverkats:

1. Tjockleken av *impasto* i bakgrunden (#7) (Figur 5a)
 - a. Tunnare *impasto* applicerat med pensel
 - b. Tjockare *impasto* applicerat med kniv

2. Uteslutande av zinkvitt i alla lager (t.ex. Figur 5b)
3. Sammansättningen av personernas svarta kläder
 - a. Elfenbenssvart, krapplack och koboltblå
 - b. Elfenbenssvart och krapplack

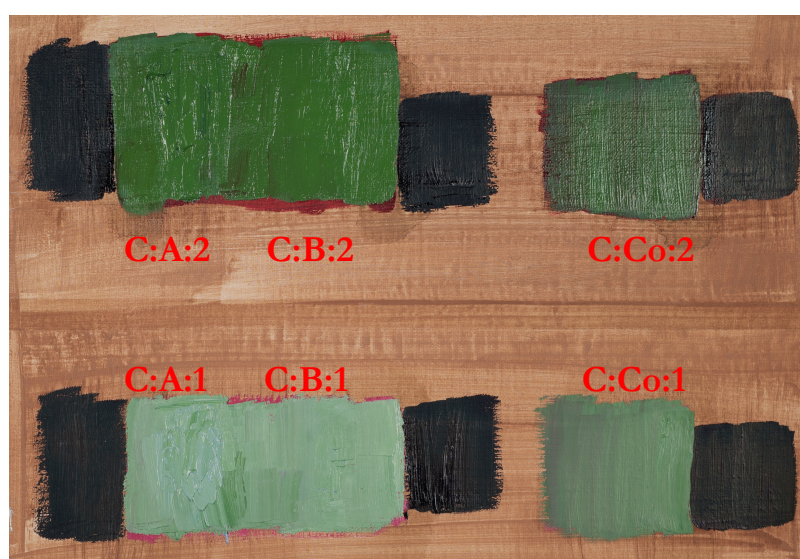
Variant 1-3 har använts på canvas och variant 1-2 på Melinex-film. Två identiska canvas-målningar har tillverkats där den ena utsätts för accelererad åldring och den andra lämnas som referens. Melinex-filmerna har även de åldrats.



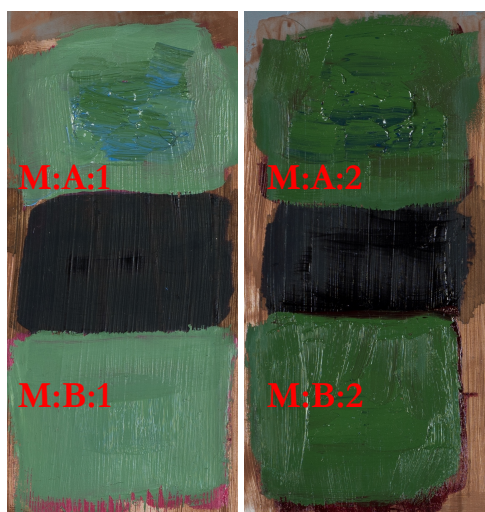
Figur 5. Uppbyggnad av bakgrund på canvas: tjockare *impasto* till vänster och tunnare till höger. a) med zinkvitt och b) utan zinkvitt.

De olika mock-up:er som tillverkats kan delas in i följande grupperingar och återspeglas i Figur 6 och 7:

- 1) Olika tjockleken av *impasto*:
 - a. Tjockare (A) eller tunnare (B)
- 2) Med (1) eller utan (2) zinkvitt
- 3) Avsaknad av Co-blått i svarta partier (Co)
- 4) Olika underlaget
 - a. Canvas (C) eller Melinex (M).



Figur 6. Varianter av mock-up som gjordes på canvasduk (foto innan åldring).



Figur 7. Varianter av mock-up som gjorts på Melinex (tjocklek: 0,1 mm) (foto innan åldring).

Oljefärgerna som använts är av märket Winsor & Newton¹¹ och av artistkvalitet. Följande färger har använts:

- Blyvitt ($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) (flake white, pigment PW1, innehåller även zinkvitt (pigment PW4))
- Zinkvitt (ZnO) (zinc white, pigment PW4)
- Krapplack (1,2-dihydroxiantrakinon) (alizarin crimson, pigment PR83)
- Koboltblå (CoAl_2O_4) (cobalt blue, pigment PB28)
- Kromgrön (Cr_2O_3) (oxide of chromium, pigment PG17)
- Rå umbra (järn- och magnesiumoxider) (raw umber, pigment PBr7)
- Elfenbenssvart ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaCO_3 , C) (ivory black, pigment PBk9)

Den vattenbaserade täckande temperafärgen (bränd umbra) är från Winsor & Newton. Rå linolja från Beckers har använts som lösningsmedel i alla lager med oljefärg.

EXPERIMENTELLA METODER

Många kulturarvsföremål är intressanta att studera med hjälp av *heritage science*. Vilka material och pigment har använts? Hur har föremålet tillverkats? Kan vi detektera verktygsspår? Var torde föremålet ha tillverkats? Finns det ett underliggande material? Finns det skrift som vi inte kan se med blotta ögat? Listan kan göras lång. Oftast finns det enbart ett exemplar av föremålet och prover kan, eller vill, man inte ta för att kunna analysera. Därför är icke-förstörande provning ytterst av intresse.

Utgångspunkten för den här studien är att studera sprickbildningen i en mock-up av en målning med hjälp av icke-förstörande metoder: röntgenfotografering, teknisk fotografering och röntgentomografi. Som jämförelse har även färgflagor avlägsnats för att studeras med hjälp av ljustmikroskopi och svepelektronmikroskopi med energidispersiv spektroskopi (SEM-EDS); metoder som är vanliga för att

¹¹ Winsor & Newton: Artists' Oil Colour (<https://www.winsornewton.com/int/paint/oil/artists-oil/>)

studera hur en målning är uppbyggd. Studierna har genomförts på en icke-åldrad så väl som för en åldrad version av mock-up:erna.

Accelererad åldring

De parametrar som valts för accelererad åldring är valda för att initiera sprickbildning, inte att åldra målningen 120 år (dvs. till samma ålder som originalmålningen av Richard Bergh). Mock-up:erna har åldrats i ett klimatskåp (wtc binder) under 620 timmar (26 dygn) vid en temperatur av 50 °C och relativ luftfuktighet på 80±5 % för att förutom att påskynda sprickbildning, även påskynda förtvålningsprocessen hos zinkvitt (Pratali, 2013; Boon m.fl., 2006). Temperaturen och luftfuktigheten är högre än normal, och optimala, förhållanden för en oljemålning, men ändå inte så höga att andra processer triggas, såsom att lösningsmedel och grunderingsmaterial börjar mjukna eller smälta.

Teknisk fotografering

Fotografering är centralt för dokumentation av kulturföremål i samband med olika konserveringsåtgärder och tillståndsbedömningar. Förutom med vanligt ljus, dvs. i det för människan synliga våglängdsområdet, 390–770 nm (Nationalencyklopedin, u.å.), kan material, sprickor och pigment även visualiseras och dokumenteras med ultraviolett (UV) och/eller infrarött (IR) ljus, osynligt för människan. UV-ljus interagerar främst med målningens ytlager, vilket ger information om fernissor och orenheter på ytan. IR-ljus å andra sidan tränger djupare in i en målning och kan därigenom ge information om underliggande färglager, t.ex. skisser eller underliggande målningar. *Teknisk fotografering* är en vanlig kvalitativ analysmetod inom *heritage science* och ett viktigt redskap vid förarbetet inför djupare analyser (Carcagni, 2007).

Teknisk fotografering har genomförts både före och efter det att mock-up:erna utsatts för accelererad åldring (Figur 8). I denna studie har en Nikon D810-kamera (som modifierats för IR-fotografering) med ett Nikon AF-objektiv (50 mm 1:1,8 D) använts, samt IR- och UV-filter. Avståndet mellan objektiv och målning har varit 100 cm och ISO 100 har använts. För att kalibrera färgerna i fotografierna som erhålls används en standardkarta med 24 väldefinierade färger/pigment (gråskala, primärfärger, m.fl.) och en helt vit yta för att mäta luminescensen (McCamy m.fl., 1976; Dyer m.fl., 2013). När ett föremål belyses, reflekteras ljuset i olika riktningar och beror på föremålet geometri, men även på ljuskällans placering i förhållande till föremålet. Det gör att det ljus som når kameran sällan är homogent. *Flat-fielding* bygger på att skapa enhetliga ljusförhållanden genom att fotografera en yta som reflekterar ljus oberoende av vilken riktning ljuset kommer ifrån och därefter matematiskt jämna ut ljuset som når kameran (Dyer m.fl., 2013).

Ljus som använts är:

- Synligt ljus (VIS), men en ljstemperatur på 5600 K och en våglängd på 470-750 nm,
- UV-ljus med en våglängd på 350-400 nm,
- IR-ljus med en våglängd på 775-875 nm.

Filter som använts är:

- VIS: släpper igenom 400-550 nm,
- UV: släpper igenom 325-375 nm,
- IR: släpper igenom 800 nm och längre.



Figur 8. Experimentuppställningen för den tekniska fotograferingen.

En systematisk och standardiserad procedur (Tabell 1) har följts för att säkerställa att dokumentationen är konsekvent och kan reproduceras och jämföras med föremål dokumenterade på samma sätt (Dyer m.fl., 2013).

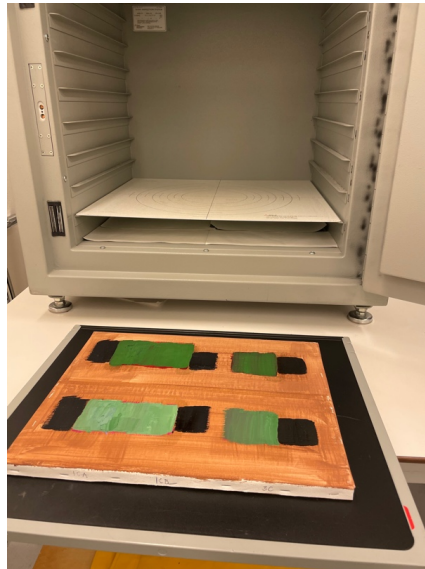
Tabell 1. Testprocedur för den multispektrala fotograferingen: ljuskällan som använts vid varje specifik fotografering, samt vad som detekterats.

Steg	Ljuskälla	Filter	Metod	Syfte
1	Synligt	VIS	VIS	Visuellt reflekterad bild (dvs. vanligt fotografi)
2	Synligt	IR	VIL	Föredelning av t.ex. Cd-innehållande pigment
3	UV	VIS	UVL	Fördelning av luminescerande ämnen, t.ex. organiska pigment och bindemedel, men även zinkvitt
4	UV	UV	UVR	Information om ytan: fernissor, beläggningar, smuts, men även vita pigment.
5	IR	VIS	IRL	Luminescerande fenomen, framför allt för vissa blå pigment och Cd-innehållande pigment.
6	IR	IR	IRR	Information om underliggande skisser/målningar

Röntgenfotografering

Röntgenfotografering är en icke-förstörande analysmetod och innebär 'fotografering' med hjälp av röntgenstrålning som källa och används för att studera inre egenskaper av ett föremål. Genom att bestråla ett föremål med röntgenstrålning kommer föremålet att absorbera viss del av röntgenstrålningen beroende på föremålets fysiska egenskaper, t.ex. pigment, densitet eller strukturella uppbyggnad, men även kan dolda färglager upptäckas. Den röntgenstrålning som passerar rakt igenom föremålet, dvs. den strålning som inte absorberas, kan detekteras med hjälp av en fotografisk film eller en digital detektor av något slag och en tvådimensionell bild av föremålets inre struktur erhålls.

Mock-up:erna som tillverkats har röntgenfotograferats i sin helhet innan och efter de utsatts för accelererad åldring. Analyserna har genomförts med hjälp av en röntgenutrustning (Torrex 150D, EG&G Astrophysics Research) och en röntgenstrålning av 50 kV och 5,5 mA har använts och under en tidsperiod av 10 sekunder. Figur 9 visar röntgenkabinettet, digitala röntgenplåten och en mock-up. Digitala röntgenbilder har framkallats med hjälp av CR^x Flex (GE Sensing & Inspection Technologies) och processats i en tillhörande dator. Ett elektroniskt filter används för att optimera gråskalan i bilderna och optimera skillnader mellan pixlar för att bättre återge och förstärka gränser och struktur i röntgenbilderna.

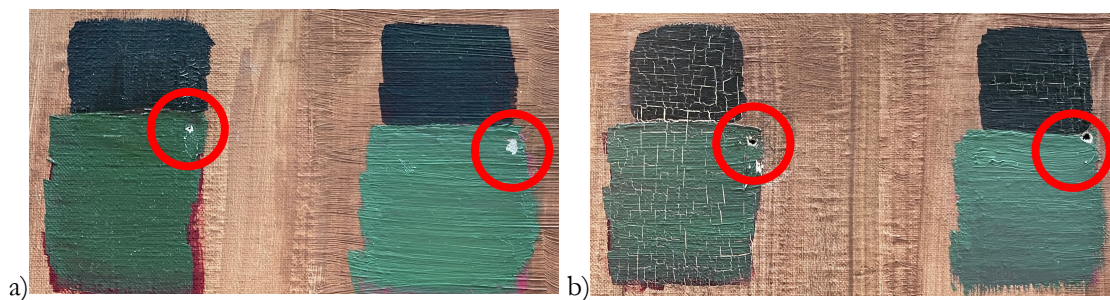


Figur 9. Experimentuppställningen för röntgenfotograferingen: röntgenkabinettet och den digitala röntgenplåten på vilken mock-up:en är placerad.

Mikroskopi

Genom att studera prover i ett mikroskop med olika ljus kan man få information om ett objekt som inte går att få med synligt ljus. Mikroskopering är användbar inom *heritage science* för att till exempel studera pigment (Friedrich, 2003). Dock är metoden av destruktiv karaktär då ett litet prov måste tas från objektet. Små färgflagor har avlägsnats med hjälp av skalpell från mock-up:erna för att utröna inverkan av zinkvitt (Figur 10). Färgflagor har även avlägsnats i den åldrade och icke-åldrade mock-up:erna vid tunnare *impasto* för att undersöka inverkan av koboltblått på sprickbildningen.

Totalt har 6 färgflagor avlägsnats och gjutits in i en polyestermatris av Technovit® 2000 LC och härdats i UV-ljus under ca. två timmar. Därefter har ingjutningarna slipats till en slät tvärsnittsyta med flertalet sandpapper med olika grovlek, från grövst till finast.



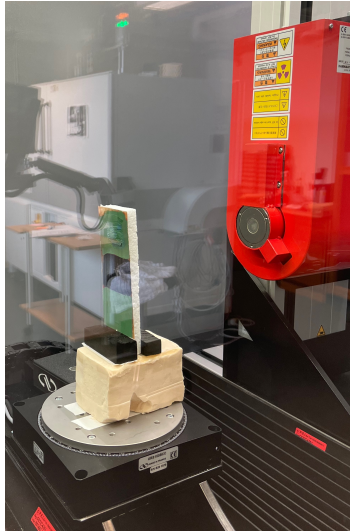
Figur 10. Lokaler där färgflagor avlägsnats: a) icke åldrad och b) åldrad mock-up.

Proverna har analyserats med synligt och UV-ljus (365 nm) med två olika filter (ett grönt och ett blått långpassfilter) i ett ljusmikroskop (Nikon Eclipse LV100ND). Samma prover sputtrades med ett 6 nm tjockt guldlager och analyserades i ett svepelektronmikroskop med energidispersiv röntgen (SEM-EDS) (JEOL JSM-IT500). För att generera bilder med tillräcklig förstoring (200 eller 500 gånger) har en accelerationsspänning av 15 kV använts (30 kV för EDS-analyserna).

Röntgentomografi

Tomografi kommer från grekiskans 'tomos' och 'graphos': 'skiva' och 'skriva'/'avbilda'. Metoden är icke-förstörande där ett föremål avbildas skikt-för-skikt med strålning som kan tränga igenom målningen (Morigi m.fl., 2010). Skikten som genereras är av mikrometertjocklek, dvs. tunnare än ett färglager. På så sätt kan man studera hur målningens olika färglager interagerar, eventuella underliggande sprickor kan upptäckas och härledas till målningens struktur, målarens penselföring och använda pigment. Därefter används avancerad databehandling för att generera ett antal tvådimensionella representationer av varje snitt, vilka sammanfogade bygger upp en tredimensionell bild av målningen, men där ett enskilt skikt kan studeras separat. Detta ska jämföras med röntgenfotografering där en enda aggregerad bild genereras utan skiktinformation.

Röntgentomografi av mock-up:erna genomfördes vid Institutionen för Hållfasthetslära, Lunds Tekniska Högskola. Utrustningen var en RX Solution EsayTom 150 med en digital detektor och alla mätningar gjordes vid rumstemperatur. För att säkerställa att provobjektet stod helt still i en upprätt vertikal position skars prov ut från mock-up:erna och fästes med dubbelhäftande tejp på en frigolitskiva, som fixerades i provhållaren (Figur 11). Accelerationsspänningen för röntgenstrålningen har varit 80 kV. Mätningarna gjordes genom att kontinuerligt rotera provet 360° under 20 minuter. 1440 röntgenbilder togs med en voxelstorlek på 30 µm. De erhållna bilderna sattes samman till en 3D-modell och bildbehandling gjordes med hjälp av datorprogrammet Fiji ImageJ.



Figur 11. Experimentuppställningen för röntgentomografin.

RESULTAT

Resultaten presenteras utifrån de olika parametrar som kan påverka sprickbildningen hos mock-up:erna:

- a) Tjockleken av *impasto*
- b) Användning av zinkvitt
- c) Användning av koboltblått
- d) Underlagets beskaffenhet

Inom vart och ett av de ovanstående kors-korreleras med andra parametrar t.ex. zinkvitt eller ej inom tjockleken av *impasto*.

PROVER OCH PROVTAGNING

Primärt är det de åldrade mock-up:erna som studerats och de icke-åldrade är med som referenser.

De analyser som gjorts med mikroskopiska metoder (ljusmikroskop och SEM-EDS) är av förstörande karaktär, dvs. ett prov har fysiskt avlägsnats från mock-up:erna. Färgytorna som innehåller zinkvitt visade sig ha en seg och elastisk karaktär, vilket påverkade provtagningen på så sätt att det finns risk att generera fler sprickor via provtagningen än från den accelererade åldringen. Det var svårare att inte skada den underliggande canvasduken för de åldrade mock-up:erna jämfört med de icke-åldrade. Inga prov har tagits från mock-up:er med Melinex.

TJOCKLEKEN AV *IMPASTO*

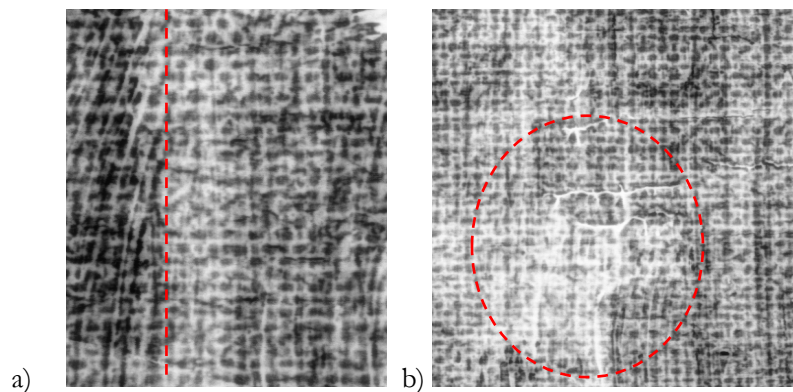
Med zinkvitt

Åldringen visar vid en okulär besiktning endast sprickbildning i de svarta partierna, vilket även kan ses vid fotografering i synligt ljus (Figur 12). Sprickbildningen är avsevärt mer utbredd i det svarta partiet närmast den tunna *impaston* (till höger i Figur 12).



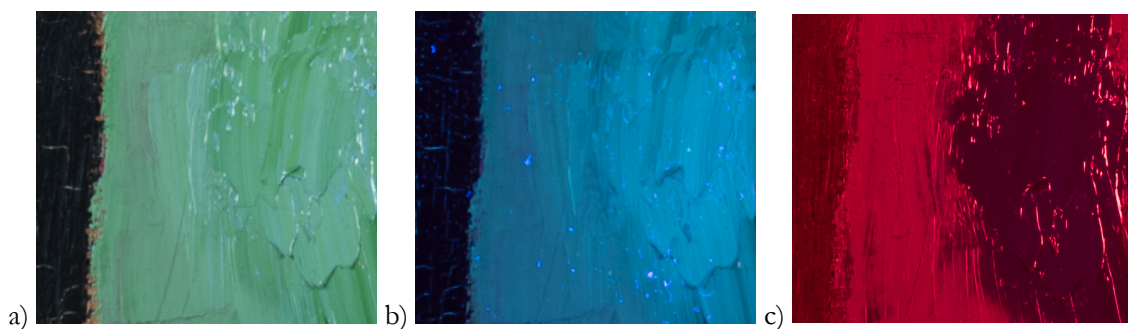
Figur 12. C:A:1 (vänster) och C:B:1 (höger) efter åldring.

Med hjälp av röntgenfotografering kan sprickbildning noteras som sträcker sig in i det gröna partiet mellan det svarta partiet och den tjockare *impaston* (Figur 13a)). Med en tunnare *impasto* sträcker sig sprickorna även in under *impaston* (Figur 13b)).

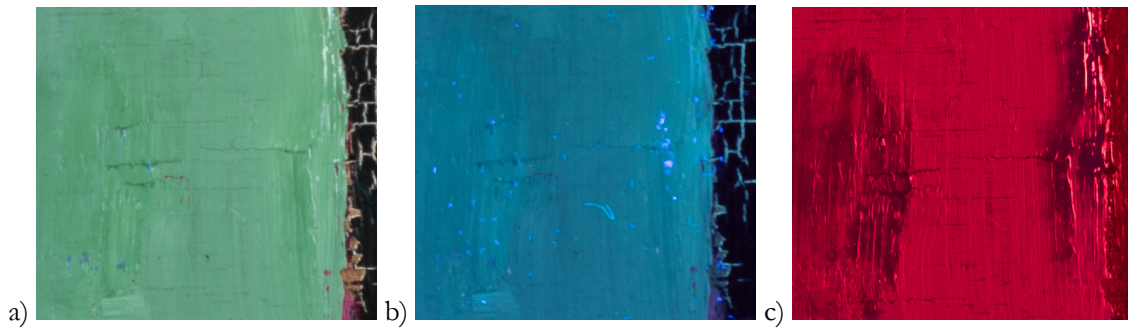


Figur 13. Röntgenfotografering: a) C:A:1, där röda streckade linjen visar gränsen mellan svart och grönt parti, b) C:B:1, där röda ringen visar området med *impasto*.

Genom att jämföra fotografier tagna med olika ljus blir sprickbildningen i det gröna partiet mer framträdande än med röntgenfotografering. Sprickor som inte alls är synliga i vanligt ljus (Figur 14a) och 15a)) är något mer synliga i UV-ljus (Figur 14b) och 15b)), medan sprickorna framträder tydligt i reflekterande UV-ljus (Figur 14c) och 15c)). Sprickorna tycks gå tvärs penseldragen. Noterbart är även att kromgrönt blir genomskinligt och zinkvitt delvis genomskinligt i UVR (Tabell 1, Figur 14c)). De ljusa prickar som syns i UVL (Figur 14b) och 15b)) är dammpartiklar.



Figur 14. Fotografier av C:A:1 i a) synligt ljus (VIS), b) UV-ljus (UVL) och c) UV-ljus (UVR).



Figur 15. Fotografier av C:B:1 i a) synligt ljus (VIS), b) UV-ljus (UVL) och c) UV-ljus (UVR).

Skillnaden i sprickbildning mellan tjock och tunn *impasto* är att sprickbildningen tycks avstanna vid den tjockare *impaston*.

Utan zinkvitt

Åldringen visar vid en okulär besiktning att sprickbildning återfinns i både det svarta och det gröna partiet. Dock finns ingen synlig sprickbildning vid *impaston* (Figur 16).



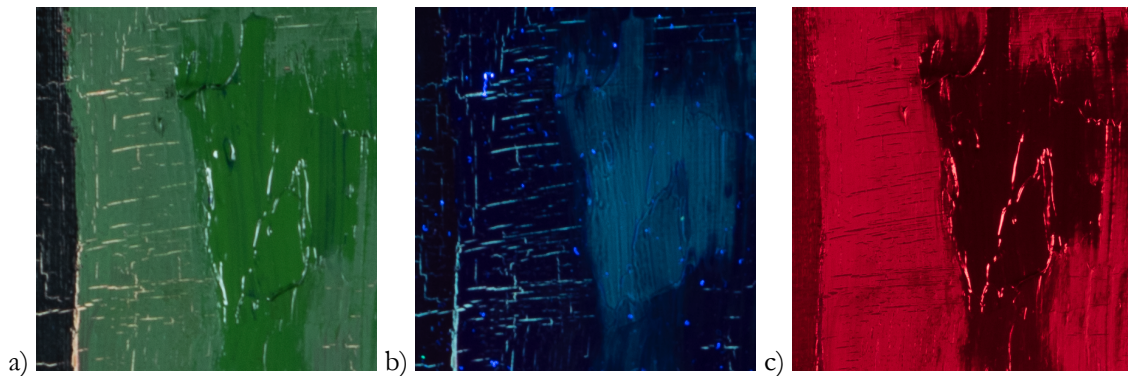
Figur 16. C:A:2 (vänster) och C:B:2 (höger) efter åldring.

Röntgenfotografering visar dock att sprickbildningen fortsätter under den tunnare *impaston* (Figur 17).

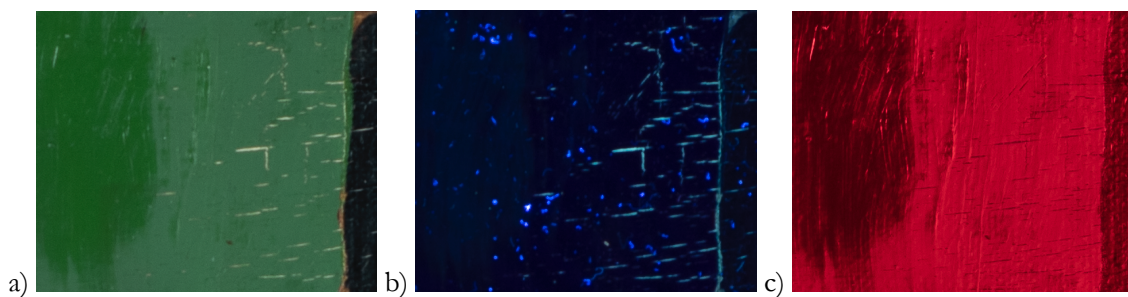


Figur 17. Röntgenfotografering av C:B:2.

På samma sätt som för C:A:1 och C:B:1 har fotografier tagits av C:A:2 och C:B:2 med hjälp av olika ljus och även här blir sprickbildningen i det gröna partiet mer framträdande, jämfört med röntgenfotografering (Figur 18 och 19). Sprickorna är synliga i alla ljus (Figur 18a) och 19a) och framträder alltså tydligt redan i synligt ljus. Sprickorna tycks främst vara vinkelräta mot penseldragen. I reflekterande UV-ljus syns dock många fler små sprickor, som är vinkelräta mot penseldragen (Figur 18c).



Figur 18. Fotografier av C:A:2 i a) synligt ljus (VIS), b) UV-ljus (UVL) och c) UV-ljus (UVR).



Figur 19. Fotografier av C:B:2 i a) synligt ljus (VIS), b) UV-ljus (UVL) och c) UV-ljus (UVR).

Skillnaden i sprickbildning mellan tjock och tunn *impasto* är återigen att sprickbildningen är mer framträdande vid en tjock *impasto*, men att den tycks avstanna vid *impaston* oberoende av dess tjocklek.

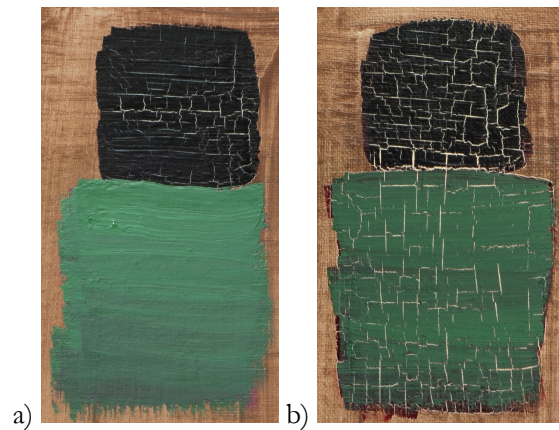
Sammanfattning av resultat: inverkan av tjockleken av impasto:

- Zinkvitt ger ett segare färgskift som hämmar sprickbildningen i partier innehållande zinkvitt.
- Avsaknad av zinkvitt i grunderingen ger ett jämnare nät av sprickor.
- Tjockare *impasto* ger färre sprickor om zinkvitt finns närvarande, annars tvärtom.
- Sprickor kan sträcka sig inunder en tunnare *impasto*.

ANVÄNDNING AV ZINKVITT

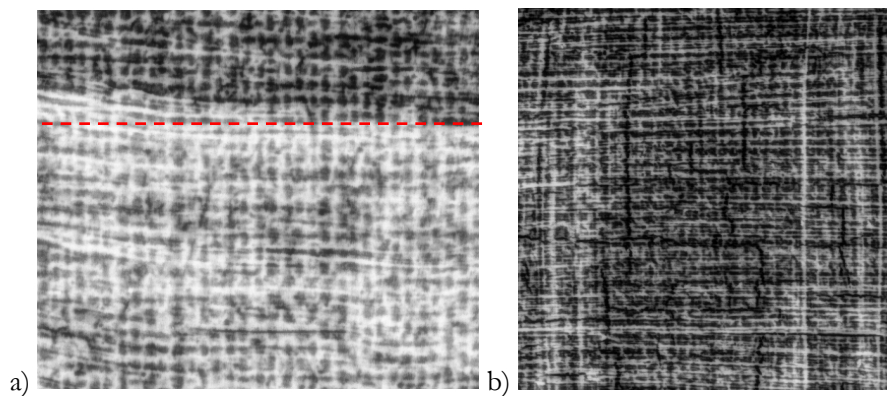
Hur zinkvitt påverkar resultaten görs genom att jämföra prover där inget koboltblått finns närvarande och företrädesvis hos proverna C:Co:1 och C:Co:2 (Figur 20). Vid en okulär besiktning återfinns sprickor i det

gröna partiet endast där zinkvitt inte finns närvarande (Figur 20b)). Där är vissa sprickor oberoende av färg/pigment och mönstret skiljer sig inte nämnvärt åt mellan det gröna och det svarta partiet.



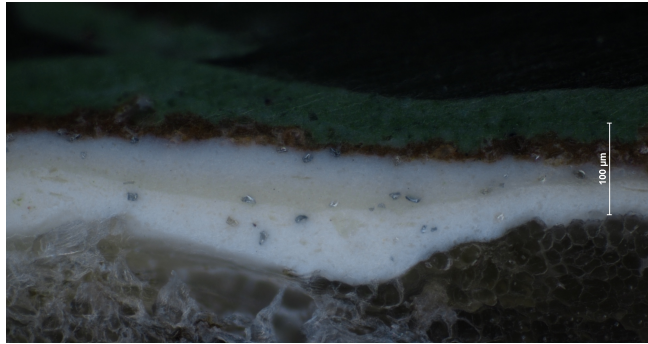
Figur 20. a) C:Co:1 och b) C:Co:2 (efter åldring).

Med hjälp av röntgenfotografering kan ett fåtal sprickor detekteras i det gröna partiet där zinkvitt finns närvarande och för det zinkvitt-fria området syns sprickorna tydligt (Figur 21).

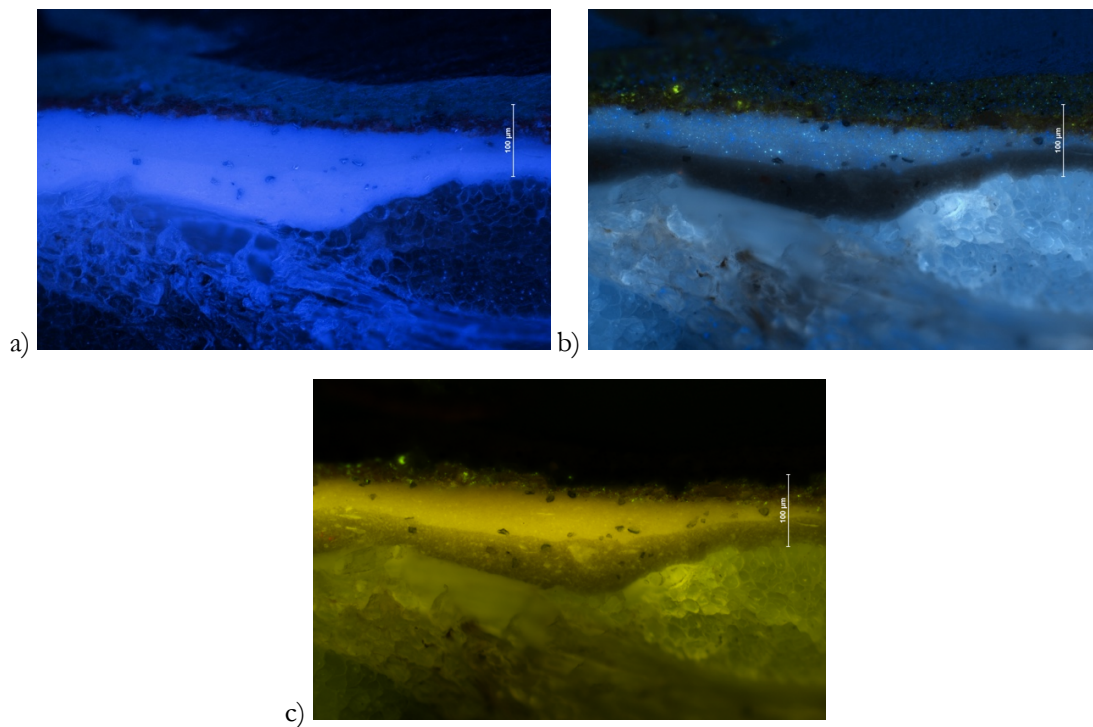


Figur 21. Röntgenfotografering av a) C:Co:1 efter åldring, där den röda streckade linjen visar gränsen mellan grönt och svart parti, och b) grönt parti av C:Co:2 efter åldring.

Tvärsnittsytan hos en färgflaga av C:Co:1 studerades i ljus- och svepelektronmikroskop. Från ljusmikroskoperingen syns de olika lagren tydligt (Figur 22). De silverglänsande prickarna härrör från slipningen i provprepareringen och ska alltså bortses ifrån, liksom det nedre 'blåsig' utseendet, vilket är trådar från canvasduken som följt med vid provtagningen. Inga synliga sprickor kan noteras, varken i synligt ljus eller i UV-ljus med olika filter (Figur 23). Däremot syns grunderingen tydligt med flera vita lager (färdigbehandlad duk, ett lager med blyvitt och ett lager med zinkvitt).

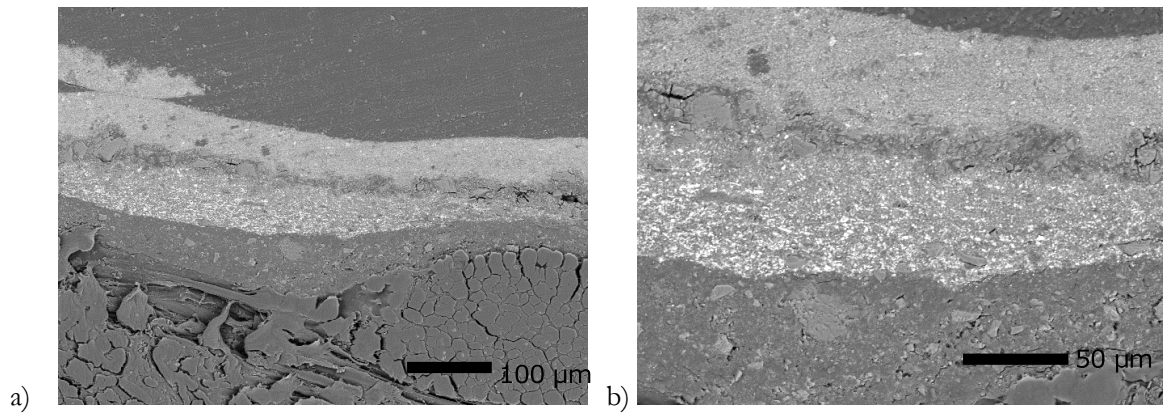


Figur 22. Tvärsnitt av färgflaga från C:Co:1, 20x förstoring (dark field).



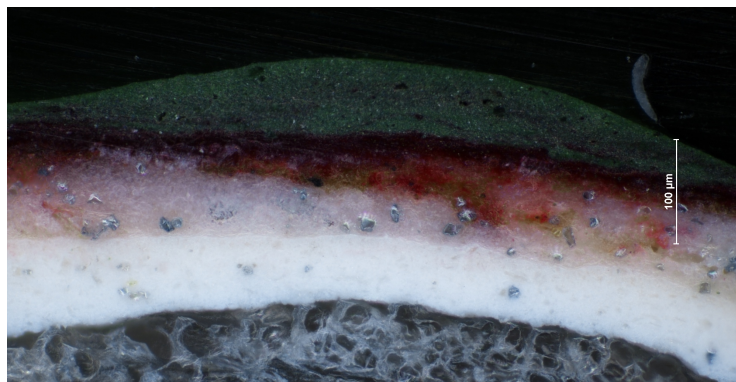
Figur 23. Tvärsnitt av färgflaga från C:Co:1, 20x förstoring: a) UV-ljus (dark field), b) UV-ljus med blått långpass-filter och c) UV-ljus med grönt långpass-filter.

Samma tvärsnitt i SEM visar att det dock finns delaminering mellan det röda krappacklagret och lagret med zinkvitt (Figur 24).

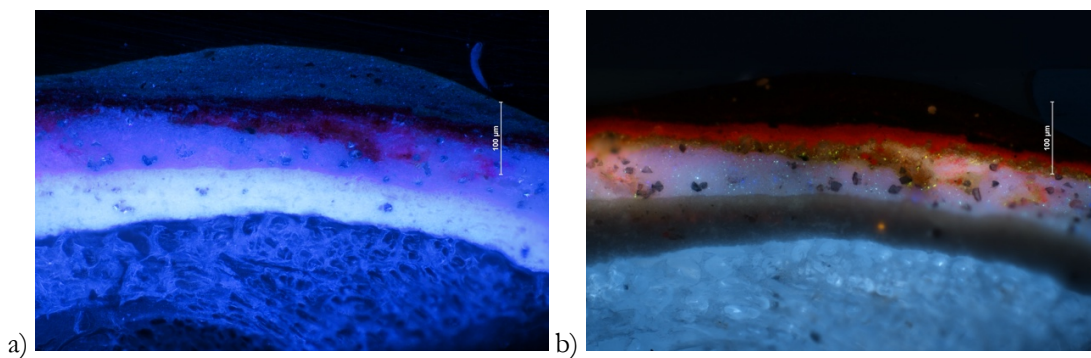


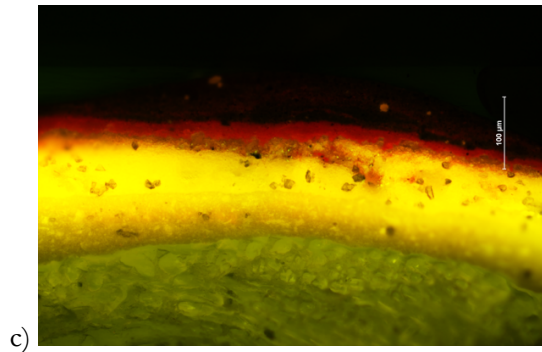
Figur 24. SEM-bild (back-scattered electron detection, 15 kV) av tvärsnitt av färgflaga från C:Co:1, a) 200x förstoring och b) 500x förstoring.

På liknande sätt som för C:Co:1 har tvärsnittsytan hos en färgflaga av C:Co:2 studerades i ljus- och svepelektronmikroskop. Från ljusmikroskopet syns de olika lagren tydligt (Figur 25) och samma problem från provprepareringen finns som ovan (silverglänsande prickar, 'blåsig' utseende). Inga synliga sprickor kan noteras, varken i synligt ljus eller i UV-ljus med olika filter (Figur 26). Däremot syns grunderingen tydligt och det blyvita lagret verkar interagera med det röda krapplack-lagret.



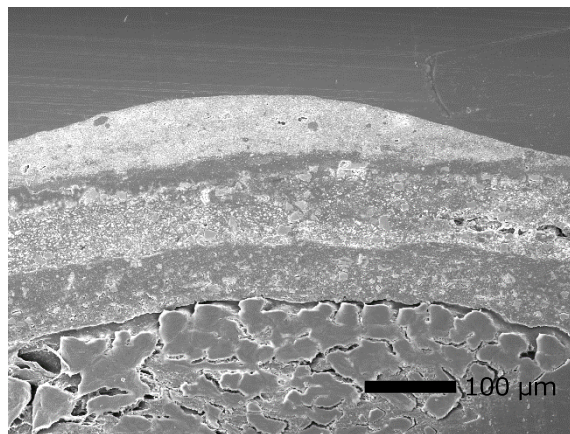
Figur 25. Tvärsnitt av färgflaga från C:Co:2, 20x förstoring (dark field).





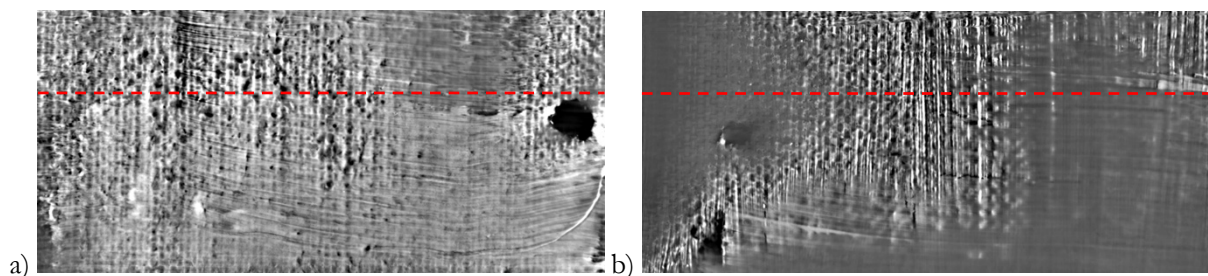
Figur 26. Tvärsnitt av färgflaga från C:Co:2, 20x förstoring: a) UV-ljus (dark field), b) UV-ljus med blått långpassfilter och c) UV-ljus med grönt långpass-filter.

Samma tvärsnitt i SEM visar inte på någon tydlig sprickbildning, men dock på delaminering mellan linneduken och grunderingen, samt tendens till delaminering mellan blyvitt och övriga färglager (Figur 27).



Figur 27. SEM-bild (back-scattered electrons, 15 kV) av tvärsnitt av färgflaga från C:Co:2, 200x förstoring.

Genom analys med hjälp av röntgentomografi av mock-up:erna C:Co:1 och C:Co:2 går det att konstatera att sprickbildningen i gränsskiktet mellan de gröna och de svarta partierna finns i lagret närmast duken, trots att sprickor inte kan ses vid ytan för mock-up:en med zinkvitt (C:Co:1) (Figur 28).



Figur 28. Röntgentomografi av åldrade mock-up:erna a) C:Co:1 och b) C:Co:2. Den röda streckade linjen visar gränsen mellan grönt (under) och svart parti (över).

Med zinkvitt har små fina sprickor detekterats i det gröna partiet och de sträcker sig från underlaget och uppåt, men når aldrig ytan. Ovanpå det gröna partiet kan en ås av färg ses där ett flertal 'vågor' detekterats och de kan vara en grogrund för ytterligare sprickbildning. Utan zinkvitt ses ett antal sprickor både längs med och vinkelrätt mot penseldragen, och även de växer från underlaget och uppåt till ytan.

I det svarta partiet kan sprickor ses i det vita lagret närmast canvasduken och dessa finns i både C:Co:1 och C:Co:2, dvs. de uppkommer oberoende av om zinkvitt finns närvarande eller inte.

Sammanfattning av resultat för zinkvitts betydelse

- Zinkvitt gör färglagret segare/mer elastiskt.
- På grund av ett segare färgskikt syns inte sprickbildningen på ytan, men den syns i UV-ljus.
- Sprickor kan finnas som inte syns vid ytan, men som finns vid duken oberoende av zinkvitt eller ej i färgblandningen.
- Utan zinkvitt finns en tendens till delaminering mellan färglager och grundering.

ANVÄNDNING AV KOBOLTBLÅTT

Koboltblått har tidigare visat sig ge spröda färglager (Fuster-López m.fl., 2019). De sex svarta partierna i den mock-up som gjorts på canvasduk har jämförts (Figur 29). Parti 1-4 innehåller koboltblått och parti 5-6 saknar koboltblått. Parti 1, 3 och 5 har ett lager med zinkvitt i grunderingen, medan parti 2, 4 och 6 endast har blyvitt.

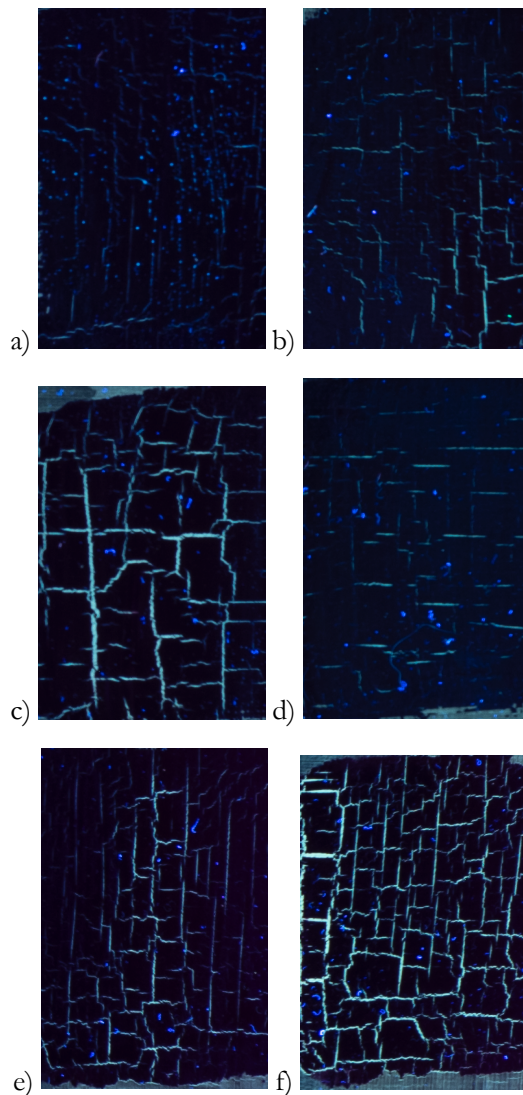


Figur 29. Aldrad canvasduk där de olika svarta partierna indikeras (1-6).

Följande okulära observationer har gjorts för respektive parti:

- 1) Ett fåtal tunna sprickor framförallt i slutet av och vinkelrätt mot penseldragen.
- 2) Flera tunna sprickor vinkelrätt mot penseldragen och ett fåtal grövre längs med penseldragen.
- 3) Grövre sprickor längs penseldragen och ett antal vinkelrätt mot penseldragen.
- 4) Ett fåtal tunna sprickor vinkelrätt mot penseldragen.
- 5) Flera tunna sprickor vinkelrätt mot penseldragen och ett fåtal tunna längs med penseldragen.
- 6) Ett utbredd nät av sprickor över hela det svarta partiet.

Sprickbildningen illustreras tydligt i UV-ljus (UVL) (Figur 30 a)-f)).



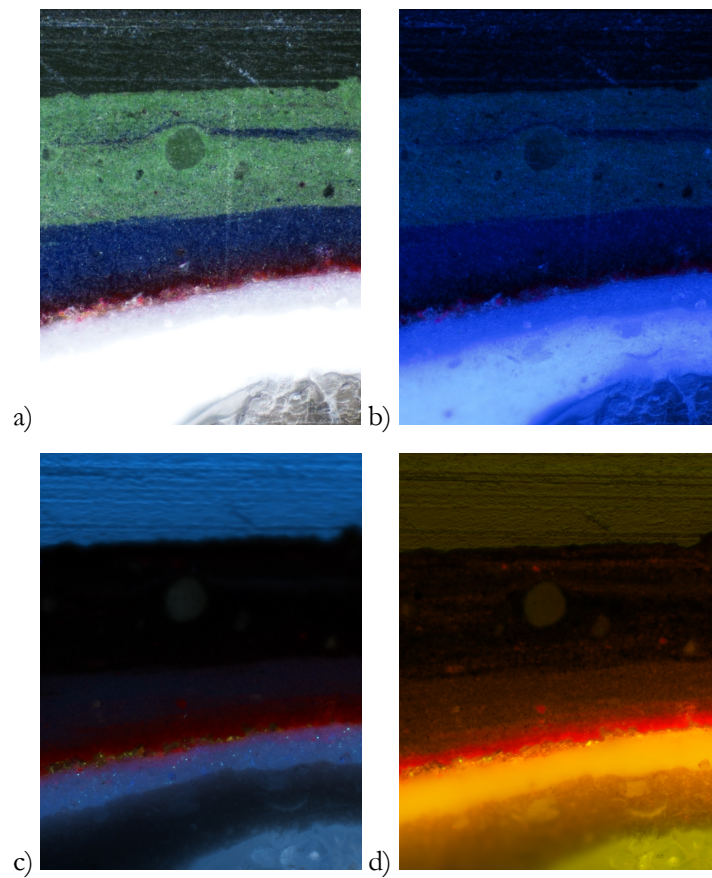
Figur 30. Svarta partier i UV-ljus (UVL): a) parti 1; b) parti 2; c) parti 3; d) parti 4; e) parti 5 och f) parti 6.

Följande jämförelser kan göras:

- Parti 1 *vs.* Parti 2: Zinkvitt gör att färgen blir segare och med en tjockare *impasto* stabiliseras färgen och färre sprickor uppkommer.
- Parti 2 *vs.* Parti 4: Liknande utseende och verkar bero på underlaget snarare än tjockleken av *impasto*.
- Parti 3 *vs.* Parti 5: Koboltblått ger fler och tydligare sprickor.
- Parti 4 *vs.* Parti 6: Avsaknaden av koboltblått ger fler sprickor än när koboltblått finns med.
- Parti 5 *vs.* Parti 6: Zinkvitt gör att färgen blir segare och håller ihop färgen bättre trots att koboltblått finns närvarande.

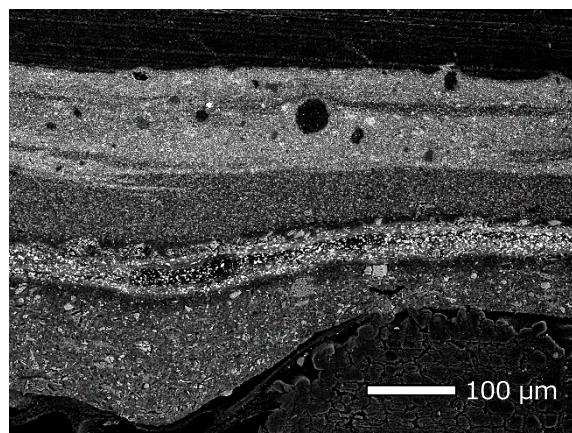
Koboltblått har även använts i *impaston*. För att analysera hur koboltblått påverkar eventuell sprickbildning har färgflagor från område C:B:2 (dvs. tunnare *impasto* helt utan zinkvitt) analyserats med hjälp av mikroskopiska metoder. Prov från både icke-åldrad och åldrad canvasduk har studerats.

I ljusmikroskopieringen (Figur 31) syns färglagren för den icke-åldrade mock-up:en tydligt. Det är även uppenbart att lagret med koboltblått inte hade torkat tillräckligt när lagret med kromgrönt applicerades, då det finns en tydlig blå strimma i det gröna lagret.



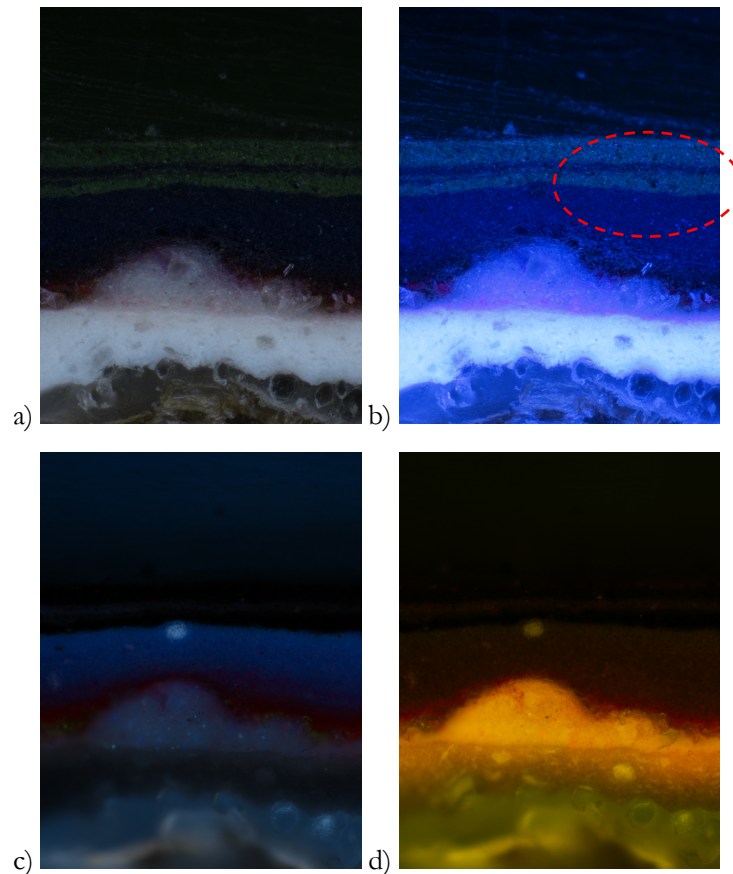
Figur 31. Tvärsnitt av färgflaga från icke-åldrad C:B:2, 20x förstoring: a) synligt ljus (dark field); b) UV-ljus (dark field), c) UV-ljus med blått långpass-filter och d) UV-ljus med grönt långpass-filter.

Från SEM-analys av samma prov kan inga sprickor detekteras och inte heller någon indikation på eventuell förtvålning (Figur 32).

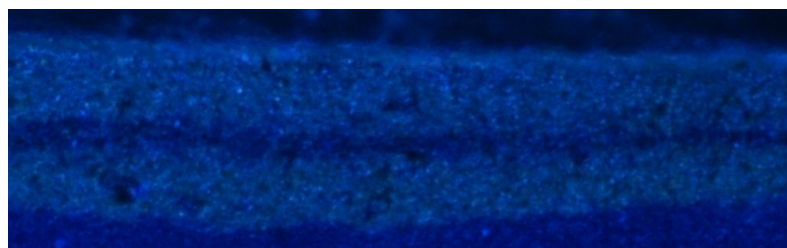


Figur 32. SEM-bild (back-scattered electrons, 15 kV) av tvärsnitt av färgflaga från icke-åldrad C:B:2, 200x förstoring.

För den åldrade mock-up:en ser det något annorlunda ut, delvis på grund av att även för denna mock-up har det blåa lagret inte varit helt torrt på ytan när det gröna lagret applicerades och en blandning syns. I ljustmikroskopieringen och specifikt i UV-ljus finns tendenser till sprickbildning i det gröna färglagret (Figur 33 och Figur 34), vilket även kan detekteras i SEM (Figur 35 och 36).

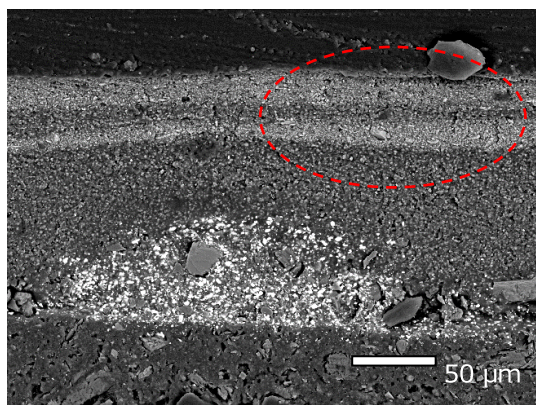


Figur 33. Tvärsnitt av färgflaga från åldrad C:B:2, 20x förstoring: a) synligt ljus (dark field); b) UV-ljus (dark field), c) UV-ljus med blått långpass-filter och d) UV-ljus med grönt långpass-filter. Röda markeringen i b) avser förstoring i Figur 34.



Figur 34. Förstoring av markerade området i Figur 33 (tvärsnitt av färgflaga från åldrad C:B:2).

Från SEM-analys av samma prov kan sprickbildning detekteras i det gröna lagret (Figur 35 och 36).



Figur 35. SEM-bild (back-scattered electrons, 15 kV) av tvärsnitt av färgflaga från åldrad C:B:2, 200x förstoring. Röda markeringen avser förstoring i Figur 36.



Figur 36. Förstoring av markerade området i Figur 35 (tvärsnitt av färgflaga från åldrad C:B:2).

Sammanfattning av resultat för inverkan av koboltblått

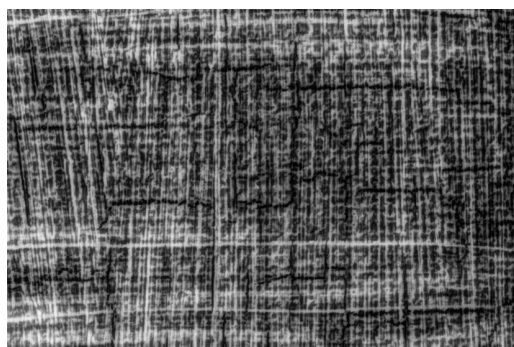
- I avsaknad av zinkvitt verkar koboltblått stabilisera färgen och ger mindre sprickbildning när den är blandad med andra färger/pigment.
- Med zinkvitt är tjockleken hos angränsande färglager avgörande; ett tjockt och segt färglager minskar sprickbildningen, men även gränsskiktet mellan olika partier spelar roll.
- Koboltblått som ej blandats med andra färger/pigment kan orsaka sprickbildning i angränsande färglager.

UNDERLAGETS BESKAFFENHET

För att separera vad som orsakas av olika pigment och av underlaget jämfördes varianter på canvas med de på Melinex. Framför allt har sprickbildningar i gränsytan mellan gröna och svarta partier analyserats.

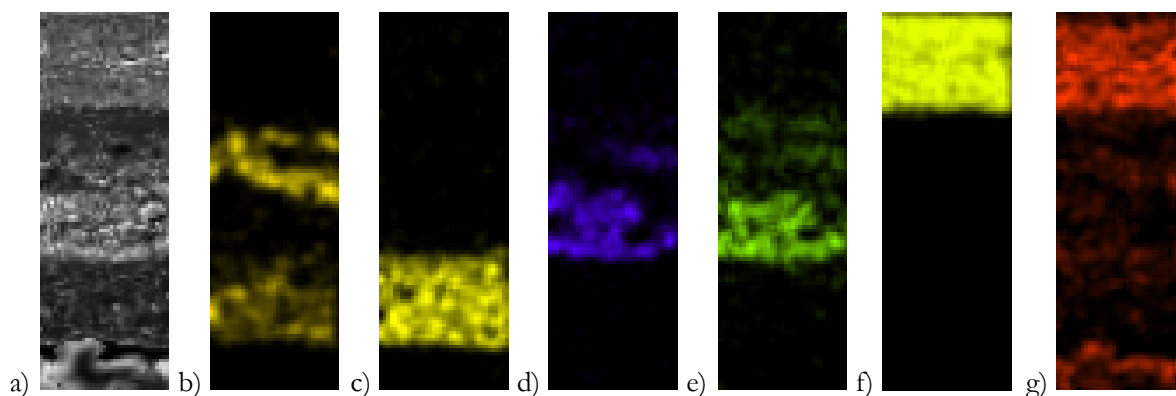
Canvas

Sprickbildningen i de varianter på canvasduk kan ses i ex. Figur 20 och 29. Med hjälp av släpljus kan små, fina sprickor även detekteras i området runt omkring de olika mock-up:erna, dvs. i det bruna området, vilket torde tyda på att det finns spänningar i canvasduken som uppkommit under hantering eller under den accelererade åldringen. Sprickbildningen sker oftast vinkelrätt mot penseldragen, eller längs grövre penseldrag (Figur 37).



Figur 37. Röntgenfotografi av grönt parti i C:Co:2 efter åldring.

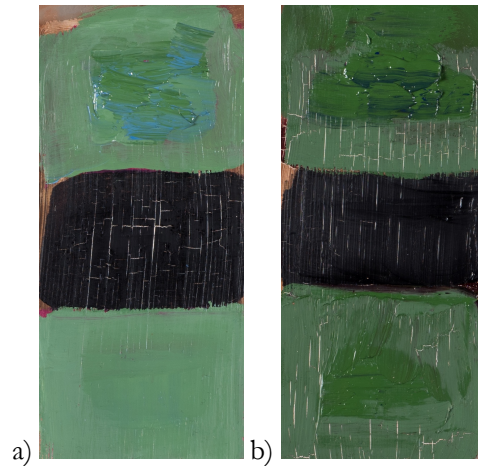
Canvasduken som använts är en färdiggrunderad linneduk. Med hjälp av SEM-EDS har en kartläggning av elementen i ett tvärsnitt av den åldrade mock-up:en C:Co:2 gjorts (Figur 38). Grunderingen består av titan- och kalciumföreningar, vilket kan tolkas att grunderingen är gjord med titanvitt (TiO_2) och kalk (CaCO_3), förutom limmer (Figur 38 b) och c)). Det är även uppenbart att den blyvita färgen även innehåller zinkvitt, vilket överensstämmer med innehållsförteckningen på färgtuben. Kalcium återfinns även i lagret närmast under det kromgröna lagret och kan vara ett additiv i krapplack. Zink återfinns även i lagret med krapplack, vilket kan härröra från produktionsprocessen för syntetisk krapplack (Fieser, 1930).



Figur 38. Kartläggning av elementen i ett tvärsnitt av C:Co:2 efter åldring: 200x förstoring i SEM-EDS, 30 kV:
a) tvärsnittet, b) kalcium, c) titan, d) bly, e) zink, f) krom och g) syre.

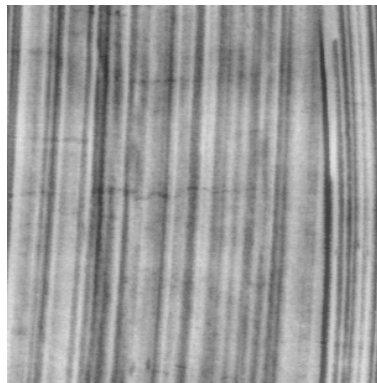
Melinex

Sprickor i färglagren på Melinex-filmerna är tydliga vid okulär besiktning (Figur 39) och liknar till mångt och mycket de sprickor som är synliga på canvasduken (se t.ex. Figur 20). När zinkvitt finns närvarande ser sprickorna ut att dominera i det svarta partiet (Figur 39a)), medan i frånvaro av zinkvitt finns sprickor även i de gröna partierna (Figur 39b)), med undantag för de områden med *impasto*.

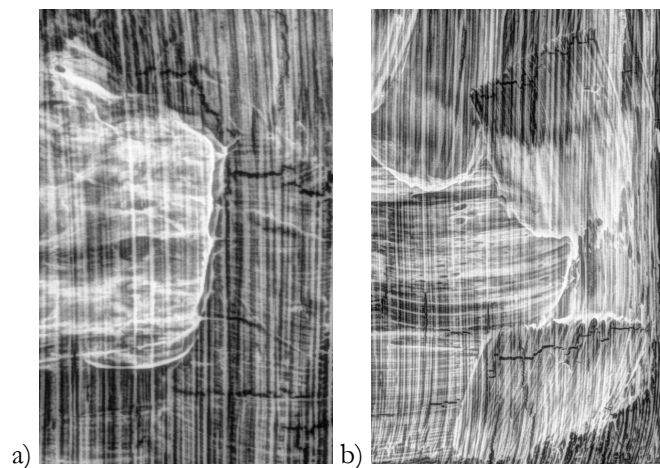


Figur 39. Fotografi efter åldring av a) M:A:1 (överst) och M:B:1 (underst) och b) M:A:2 (överst) och M:B:2 (underst).

Röntgenfotografering av proverna visar att sprickorna går tvärs penseldragen och mer eller mindre enbart återfinns i det svarta området (Figur 40). För provet utan zinkvitt fortgår sprickbildningen i det gröna området (Figur 41), men avstannar vid *impaston*. Sprickorna följer även här till mångt och mycket penseldragens utseende och går tvärs dessa, vilket syns extra tydligt för varianten med tunnare *impasto* (M:B:2), där sprickor ses vid början av ett penseldrag (Figur 41b)).

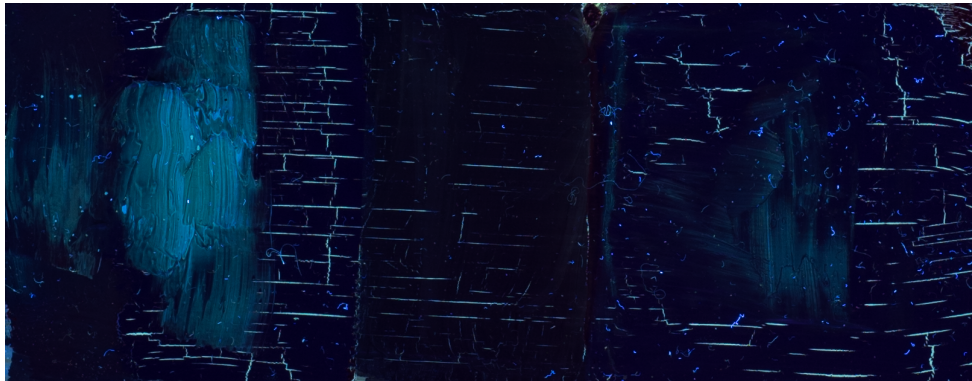


Figur 40. Röntgenfotografi efter åldring av det svarta område mellan M:A:1 och M:B:1 i Figur 39.



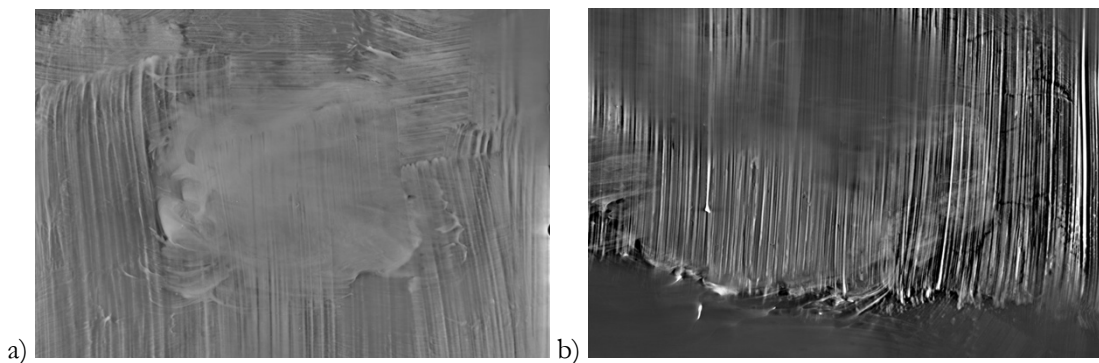
Figur 41. Röntgenfotografi efter åldring av a) M:A:2 och b) M:B:2.

Med hjälp av UV-ljus och ett VIS-filter (UVL) ses sprickornas utbredning där inget zinkvitt finns närvarande (Figur 42). Här syns sprickor även längs med penseldragen och extra tydligt i det gröna området med tjockare *impasto*. I det svarta partiet finns koboltblått och det verkar snarare minska sprickbildningen jämfört med det gröna partiet där koboltblått endast finns i *impaston*, vilket även kan ses i synligt ljus (Figur 39).



Figur 42. Fotografering i UV-ljus med VIS-filter av M:A:2 (vänster) och M:B:2 (höger), svart parti mellan de båda *impasto*-partierna.

Röntgentomografi visar att sprickbildningen på ett underlag av Melinex ger ett likande utseende som observerats med röntgenfotografering och teknisk fotografering (Figur 43). Ingen sprickbildning har observerats under den tjockare *impaston*.



Figur 43. Röntgentomografi efter åldring av a) M:A:1 och b) M:A:2.

Sammanfattning av resultat för underlagets beskaffenheter

- Kraftigare sprickbildning på styvt underlag och med tjock *impasto* än för motsvarande mock-up på canvasduk.
- Sprickbildningen går vinkelrätt mot penseldragen, oberoende av underlagets beskaffenhet.
- Ingen sprickbildning kunde detekteras under *impaston*.

SAMMANFATTANDE RESULTAT

Följande sammanfattande resultat har erhållits vid de olika analyserna:

- Zinkvitt ger ett segare färgskift som hämmar sprickbildningen.
- Avsaknad av zinkvitt i grunderingen ger ett jämnare nät av sprickor.
- Tjockare *impasto* ger färre sprickor om zinkvitt finns närvarande, annars tvärt om.
- Sprickor kan sträcka sig inunder en tunnare *impasto*.
- Tjockleken på färglagret spelar roll för sprickbildningen.
- Sprickbildningen går vinkelrätt mot penseldragen, oberoende av underlagets beskaffenhet.
- Sprickbildning som inte kan ses på ytan, kan många gånger ses i UV-ljus och kan ligga djupare ner i färglagret.
- Delaminering mellan färglagret och grunderingen kan förekomma i frånvaro av zinkvitt.
- Med zinkvitt är tjocklek hos angränsande färglager avgörande där ett tjockt och segt färglager minskar sprickbildningen, men även gränsskiktet mellan olika partier spelar roll.
- Koboltblått som ej blandats med andra färger/pigment kan orsaka sprickbildning i angränsande färglager.
- Kraftigare sprickbildning på styvt underlag och tjock *impasto* än motsvarande på canvasduk.

DISKUSSION

Mock-up som verktyg

Den stora variation av sprickor som finns i en målning återspeglar målningens liv och vad den varit med om och beror på ett flertal aspekter. Att försöka förstå alla bakomliggande processer är ett stort och komplext arbete. Att använda en mock-up syftar inte till att återskapa originalet in i minsta detalj, utan att separera ut specifika egenskaper/fenomen som man vill studera. Mock-up:erna av *Konstnärsförbundets styrelse* har gjorts för att studera inverkan av olika pigment på den sprickbildning som finns i originalet, inte att bygga upp målningen exakt som Richard Bergh gjorde. Därför har vissa delar uteslutits, t.ex. genom att enbart använda linolja som bindemedel och inte äggtempera som Richard Bergh troligtvis använt för den *impasto* som finns i originalmålningens bakgrund. Därav torde sprickbildningens utseende skilja sig gentemot originalet. Vidare har mock-up:erna inte fernissats, vilket historiskt sett varit mycket vanligt. Fernissan fungerar som ett skyddade lager mellan omgivningen och målningen. Utan detta skyddslager utsätts målningen för högre halter av fukt från luften, vilket påskyndar hydrolysen och därigenom snabbar på nedbrytningen av målningen. Dock torde fernissa eller ej ha mindre betydelse för denna relativt korta åldringsstudie.

Accelererad åldring

Att utsätta en mock-up för accelererad åldring är inte heller det ett sätt att försöka återskapa alla de förlopp som originalmålningen utsatts för dels då de historiska skeendena kan vara svåra att finna dokumentation om och dels att det kan vara svårt och ta lång tid att genomföra, speciellt om man vill försöka se vilka skeenden som varit avgörande för en specifik frågeställning. Oljemålningar har visats på olika museer, i olika klimat (t.ex. temperatur, luftfuktighet och ljus) och hanterats av många olika människor och därigenom har målningen fått det utseende den har just nu. I framtiden kan utseendet ändras, men det är inget som går att förutsätta eller förutse. Den accelererade åldring som gjorts i denna studie hade som primärt syfte att skapa sprickor, inte att åldra den till samma ålder som originalet har (dvs. ca. 120 år). Åldringen som gjorts är även gjord för att försöka trigga igång förtvålningprocesser. Åldringsparametrarna har hållits konstanta under hela åldringsperioden, vilket torde spela roll för slutresultatet. Ett varierat klimat torde framför allt spela större roll för mock-up:en på canvasduk då Melinex som underlag torde vara mera oberoende av klimatvariationer.

Hydrolys och oxidation

Det har visat sig att det finns skillnader mellan de processer som sker naturligt vid en lägre temperatur, men under en mycket lång tid, jämfört med de processer som sker vid accelererad åldring i en kontrollerad laboratoriemiljö. Hydrolys är den dominerade processen under naturlig åldring. Vid högre temperatur spelar den relativa luftfuktigheten en större roll för hydrolysreaktionerna då de fria fettsyrorerna lättare förångas vid högre temperaturer. En luftfuktighet över 75 % torde katalysera hydrolysreaktionerna då färglagret kan absorbera vatten och därigenom påskynda nedbrytningen av färgen (Modugno m.fl., 2019; Pavlopoulou & Watkinson, 2006). Vatten eller fukt kan även ansamlas i underlaget (dvs. canvasduken) och därigenom påverka interaktionen mellan färglagret och underlaget genom hydrolys eller mekaniska interaktion med t.ex. delaminering som resultat. En hög luftfuktighet under både härdning och åldring av en oljemålning kan

även leda till att det tvärbundna nätverket blir känsligare för lösningsmedel vid en eventuell framtida konserveringsåtgärd.

En oljemålning kommer alltid att åldras och sprickbildning är svår att ignorera. Oxidationsprocesserna som sker när en målning torkar fortgår under åldringsprocesserna. Oftast sker dessa processer vid ytan och i takt med att sprickor bildas blottas nya ytor där oxidationen kan fortgå. Sprickbildning kan mer eller mindre delas in i två huvudgrupper: tork- och ålderssprickor (Bucklow, 1997). Torksprickor bildas så snart ett färglager börjar torka, dvs. så snart färgen kommer i kontakt med luft. Sprickorna som då bildas är ofta ytliga och når sällan igenom målningens alla lager ner till underlaget. Ålderssprickor, å andra sidan, går ofta djupare ner i färglagren och utvecklas sakta över tid. Sprickorna kan ofta relateras till mekaniska spänningar i målningen och kan uppstå av vibrationer vid transport och annan hantering av en målning, men framför allt av variationer i temperatur och luftfuktighet, men även av ljus. Ålderssprickor har skarpare kanter och är vanligtvis inte lika vida som torksprickor.

Sprickorna i *Konstnärsförbundets styrelse* torde vara en kombination av tork- och ålderssprickor. I de mock-up:er som studerats är utseendet efter en okulär analys av sprickorna att de främst är torksprickor (Bucklow, 1997). I tjockare färglager återfinns sprickorna främst i kanten mellan tjocka och tunna färglager. Från de tomografiska studierna är det tydligt att sprickorna finns i färgen närmast underlaget och sträcker sig uppåt. När zinkvitt finns närvarande når inte alltid sprickorna ytan. Vidare ses inte sprickor under tjockare *impasto*, men att för tunnare lager sträcker sig sprickorna in under *impaston*. Utan zinkvitt är sprickorna vidare och utvecklar ett tvådimensionellt nät över ytan.

Inverkan av pigment

Det är inte bara tiden och klimatet som spelar roll för sprickbildningen. En viktig aspekt för åldrandet av en målning är samspelet mellan pigment och bindemedel, vilket i hög grad påverkar torkprocessen. Morfologin och storleken av pigmentpartiklarna påverkar hur pigment och bindemedel interagerar och vissa pigment kan snabba på torkprocessen (dvs. påskynda oxidationsprocessen), vilket leder till att det tvärbundna nätverket blir tätare. Andra pigment gör att färglagren hålls samman bättre och blir mer elastiska. Studien visar tydligt hur zinkvitt påverkar färgens elasticitet, även vid provtagningen för mikroskopiska studier, och den blir segare, vilket torde vara en anledning till att sprickbildningen inte är lika utbredd. Sprickor som tros starta vid underlaget och som inte når hela vägen igenom till ytan kan orsakas av blyvitt. Betydelsen av koboltblått för sprickbildningen har inte visat på den sprödhet som rapporterats tidigare (Fuster-López m.fl., 2019). Dock finns det en antydning till att koboltblått kan generera sprickor i angränsande färglager, vilket framtida studier skulle kunna fördjupa sig i.

Hur en färg torkar beror dock även på andra, mer okontrollerbara aspekter, framförallt färgens sammansättning. Färger som köps på tub innehåller, förutom pigment och bindemedel, vanligtvis flera olika additiv. Genom åren har färgtillverkare ändrat sammansättningen så att färgen torkar fortare/långsammare, viskositeten ändras, lättare interagerar med underlaget eller ändrar det visuella utseendet av pigmentet (opacitet, klarhet, reflektion...). Det kan röra sig om tiotals olika additiver, såsom mjukgörare, antioxidanter, surfaktanter, lösningsmedel, osv. (Pauchard & Giorgiutti-Dauphiné, 2020). De pigment som använts i denna studie är mer eller mindre de samma som Richard Bergh torde använt, men med skillnaden att de färger

som använts för mock-up:erna med största sannolikhet innehåller andra additiver än de som fanns i Richard Berghs färgtuber, t.ex. finns det någon form av kalciumförening i krapplacken.

Pigmentvalet påverkar även förtvålningsprocesserna och tillhörande åldringsförlopp. Alla oljemålningar genom historien kan påverkas av förtvålning. Det har dock visat sig att moderna målningar påverkas mest, vilket kan bero på att moderna målningar sällan fernissas och därmed utsätts för högre koncentrationer av syre och fuktighet. En annan förklaring är att moderna färger innehåller fler och/eller andra additiver än vad som använts historiskt. Målningar med zinkvitt från moderna färger har visat sig vara extra påverkade och beror troligtvis på att zinkvitt är en vanligt förekommande färg bland konstnärer (Noble, 2019). Den förtvålningsprocess som troligtvis har observerats i Richard Berghs originalmålning har inte kunnat återskapas i denna relativt korta studie, vilket är både överraskande och samtidigt förväntat. Förhållandena för den accelererande åldringen hade som primära syfte att få igång sprickbildning, men även påskynda förtvålningsprocessen hos zinkvitt (Pratali, 2013; Boon m.fl., 2006). Temperaturen och luftfuktigheten som valts är därför högre än vad som rekommenderas för oljemålningar (T: 18-24 °C; relativ luftfuktighet: 40-60 %, max. ± 10 % över ett dygn)¹². Att åldra en målning vid högre temperatur skulle kunna inducera att andra, icke-realistiska processer och reaktioner. Luftfuktigheten har hållits konstant vid en mycket hög nivå, vilket sällan är realistiskt i en verklig miljö. Färger som innehåller zinkvitt har visat sig kunna släppa igenom vattenånga relativt lätt och därigenom frigöra fettsyror genom hydrolys av esterbindningarna i oljan och därigenom påskynda förtvålningsprocessen (Osmond, 2019). Kombinationen av hög luftfuktighet och intensivt ljus påskyndar hydrolys- och oxidationsreaktionerna (Keune m.fl., 2009). Den accelererande åldringen som har gjorts av mock-up:erna har dock varit utan inverkan av ljus, vilket torde resultera i att förtvålningsprocessen inte triggas på samma sätt. Förtvålningsprodukterna ses ofta som agglomerat som sakta diffunderar mot målningens yta där de skapar sprickor och/eller delaminering (Osmond, 2014). Hur agglomeraten ansamlas och utvecklas över tid i färgskikten istället för att förflytta sig till ett gränsskikt är inte klarlagt (Osmond, 2019).

Underlagets beskaffenhet

Pigment och bindemedel påverkar åldringsprocesser och sprickbildning utifrån både ett kemiskt och fysikaliskt perspektiv. När det kommer till mekaniska faktorer som påverkar sprickbildningen och dess fortplantning utgör underlaget som färglager appliceras på en viktig faktor. Längre har man trott att det är rörelser i canvasduken som genererar sprickbildning när temperatur och luftfuktighet ändras. Berger och Russell (1994) visade dock att sprickorna i första hand orsakas i av färgen, som genererar spänningar i duken, snarare än att underlagets rörelser orsakar sprickbildningen. En canvasduk är vanligtvis relativt flexibel och kan variera i storlek och form beroende på externa och interna påfrestningar (Young, 2007). Externa påfrestningar är till exempel svängningar i klimatet (temperatur, luftfuktighet och ljus) och mekaniska påfrestningar är transport och annan hantering, vilka påverkar duken inklusive dess grundering. De interna påfrestningarna är kopplade till vad som händer i färglagren över tid: oxidation och hydrolys av bindemedlet och förtvålningsprocesser kan leda till volymförändringar och därigenom skapa påfrestningar i färglagren.

¹² Care for your Paintings, The British Association of Paintings Conservator-Restorers (<https://www.bapcr.org.uk/advice/care-for-your-paintings/>, hämtad 2022-05-15).

Richard Bergh målade på en canvasduk av linne. Exakt hur grunderingen gjorts är svårt att få tillräcklig information om utan att analysera originalmålningen i detalj och troligtvis även avlägsna prov. Däremot kan en trolig teori om grunderingen fås genom att studera Richard Berghs kvarlåtenskap i form av omålade dukar, målar-material, recept och annan dokumentation, men även genom att förstå dåtidens trender. Den duk som använts till mock-up:en är av linne och inte heller här går det att få tillräcklig med information om hur grunderingen gjorts. Från SEM-EDS-analyserna visade det sig att grunderingen innehåller kalcium och titan och därav torde kalk (CaCO_3) och titandioxid (TiO_2) använts för grunderingen. Analys av grunderingen med hjälp av Ramanspektroskopi eller Fourier-transform IR-spektroskopi (FTIR) skulle dock kunna säga mer om grunderingen och vilka limmer som använts.

Vidare har även Melinex använts i denna studie, vilket är ett styvt underlag som inte påverkas av varken den temperatur eller den luftfuktighet som använts vid den accelererande åldringen. Därför bör sprickbildningens utseende skilja sig åt, vilket även visats. Syftet med att använda Melinex var att utröna om det gick att separera ut rollerna och se samspelet mellan pigment och underlag. Underlagets beskaffenheter i termer av ytans gräng torde vara avgörande för vidhäftningen och ju slätare yta desto större sannolikhet för delaminering mellan färglager och underlag/grundering. Från tomografimätningarna har ingen delaminering mellan färglagret och underlaget observerats, vilket annars är ett synligt resultat av förtvålningssprocessen då det visat sig att förtvålningssprodukter av framför allt zink ansamlas i gränssytan mellan lagren och därigenom försvagar vidhäftningen (Maor, 2008). Resultaten från denna studie visar att färglagren har ett likartat beteende oberoende av underlag och att det är mer avgörande om zinkvitt finns närvarande eller ej.

Konstnärens roll

En viktig, och kanske helt avgörande, för sprickbildningen i en oljemålning är konstnären själv. En konstnär blandar vanligtvis inte färg och lösningsmedel enligt specifika proportioner eller recept. Genom att addera mer eller mindre bindemedel skapar konstnären olika förutsättningar för specifika penseldrag (Kuge, 1983). Reologi är ett samlingsbegrepp för ett materials flödesegenskaper (viskösa och elastiska egenskaper): hur färg beter sig när den appliceras på ett underlag. Reologin hos oljefärger domineras av en övergång mellan flytande och fast fas – vid en viss belastning/tryck övergår materialet från att vara mer eller mindre fast till att bli en flytande, högviskös vätska. De reologiska egenskaperna hos en oljefärg kan ge information om hur konstnären applicerat färgen; t.ex. hur lätt färgen kunnat applicerats och hur väl färgen interagerar, eller 'väter', underlaget (Mysels, 1981), men de reologiska egenskaperna utnyttjas även av konstnärer för att skapa en önskad *impasto*. Avståndet mellan *impasto* och ett annat färgparti torde vara en aspekt som kan få betydelse för sprickbildningen, vilket denna studie ger indikationer om.

Genom att blanda olika färger, men även inblandning av olika vita pigment, får färgen olika flödesegenskaper. För oljefärg har zinkvitt visat sig ge reologiska egenskaper lämpliga för högre *impasto* jämfört med blyvitt (Salvant Plisson m.fl., 2014). Historiskt sett har olika bindemedel och förtunnningar använts och att återskapa de reologiska förutsättningarna som en viss konstnär hade när en specifik målning gjordes är ytterst svårt (de Viguerie m.fl., 2009). Det finns dock metoder för att karakterisera färgers reologi, vilket kan vara användbart för att förstå hur en äldre målning gjorts och då egna färgblandningar tillverkas (Salvant Plisson m.fl., 2014). Dock kan resultaten vara svårtolkade och det är endast möjligt att göra uppskattningar av hur ett färglager kommer bete sig efter applicering/torkning, inte exakt förutspå. Att

återskapa Richard Bergh måleriteknik är inte heller ett syfte för denna studie, utan det är mitt eget sätt att blanda färg som kommer till uttryck i termer av penselföring, mängden färg i varje lager och de reologiska egenskaper hos färgen som appliceras. Detta har givetvis påverkat resultaten.

Metodval

En målning kan analyseras med ett flertal olika metoder. De val som görs avspeglas i de resultat som erhålls. Fokus för den här studien har varit icke-förstörande metoder och då primärt 'fotografiska metoder' med olika ljus: röntgen, synligt, UV och IR. Vanliga analysmetoder som används för att studera pigment i en målning är Ramanspektroskopi och röntgenfluorescens (XRF), men de ger minimalt med information rörande sprickbildning. Multispektral, eller hyperspektral, fotografering, till skillnad mot teknisk fotografering som använts i denna studie, använder ett flertal filter vilket visualiserar sprickbildningen i till exempel en oljemålning (Carcagni m.fl., 2007). Dock krävs ofta en lång experimenttid för att analysera en hel målning.

Röntgentomografi gav svar på många av de frågor som rör sprickbildning i stort, men andra tomografiska metoder torde varit lika användbara (Elkhuizen m.fl., 2019; Alfeld m.fl. 2013; Targowski & Iwanicka, 2012). Det finns andra icke-förstörande analysmetoder som är lämpliga för oljemålningar, t.ex. neutron- och synkrotronmetoder. Dock kräver dessa metoder vanligtvis långa ledtider i ansökningar av stråltid vid storskaliga forskningsanläggningar. I dagsläget finns ingen möjlighet att utnyttja storskaliga anläggningar i Sverige, men inom kort kan detta göras i Lund vid både ESS och MaxIV.

Prover har tagits för kompletterande analys och för att utröna om icke-förstörande metoder kan ge de eftersökta svaren när det kommer till sprickbildning i en oljemålning. För att studera förtvålningsprocessen i en oljemålning är FTIR en vedertagen destruktiv metod (Osmond, 2019). Som konservator ställs man ofta inför dilemmat av 'minimal intervention', dvs. att så långt som möjligt ska alla åtgärder vara reversibla och med ett så lite ingrepp som möjligt (Muñoz-Viñas, 2009). Genom att ta ett prov från ett objekt ställs man därför inför ett etiskt dilemma och därför bör provtagning minimeras till de fall där det är ytterst nödvändigt och inga andra analysmetoder finns tillgängliga. Som konservator kan man alltid luta sig mot de etiska riktlinjer som utarbetats internationellt (ICOM, 1984). I denna studie har mock-up:er analyserats och inte verkliga kulturarvsobjekt. Därför kan provtagning vara etiskt försvarbart när analysresultaten ska generera värdefull vägledning för att förstå en verklig målning. Genom att använda icke-förstörande analysmetoder behöver inte detta dilemma beröras. Dock är provtagningen och dess konsekvenser ytterst relevanta för resultatet: har sprickor genererats genom den accelererade åldringen eller genom provtagningen? För de prover som tagits går det inte att utröna om sprickor som detekterats har genererats genom provtagningen eller om sprickorna härrör från den accelererande åldringen.

Framtida användning av sprickbildningen

Rent estetiskt kan sprickor uppfattas som något negativt och oönskat, men de kan vara en värdefull resurs och kan ses som målningens fingeravtryck – sprickorna signalerar autenticitet. Genom att ha koll på hur sprickorna ser ut och hur de har utvecklats över tid kan man lättare förstå om man ställs inför en äkta målning eller ej. Att förfälska en målning kan vara relativt lätt när det kommer till enbart motivet, men att förfälska sprickbildning på ett exakt sätt är mer eller mindre omöjligt. För en konservator är sprickor dock en utmaning och deras utseende kan vara avgörande för hur en konserveringsåtgärd planeras och

genomförs. Genom att följa en målningens sprickbildning över tid kan en ökad förståelse erhållas om hur olika konserveringsåtgärder kan påverka målningen, men även hur utställnings- och/eller magasineringssmiljön kan optimeras ur bevarandeperspektiv.

Hur en målning åldrats och varför sprickbildningen ter sig som den gör kan tillsammans med data om den tredimensionella strukturen vara basen för att på ett innovativt sätt kunna återskapa en äldre målning till dess ursprungliga utseende. *Digitalisering* är ett sätt att *tillgängliggöra* kulturarvet och med hjälp av tomografi och andra 3D-tekniker kan en målning visualiseras på helt nya sätt. Genom bildbehandling går det att 'backa tiden' till ett utseende som målningen torde haft när den målades (Giakoumis m.fl., 2006). Sprickor kan elimineras, *impasto* och andra 3D-effekter som konstnären använt, men som över tid plattats till, kan återskapas, och åldrade pigment kan reverseras till deras ursprungliga färg och kulör. Metoderna torde även kunna vara ett verktyg för konservatorer för att få vägledning om hur man kan/bör ta sig an en målning.

SAMMANFATTNING & SLUTSATSER

När vi studerar en målning tänker vi ofta först och främst på motivet och vem konstnären är. Vissa av oss är helt nöjda med detta, medan andra av oss vill veta mera: När är målning gjord?, Är det en oljemålning?, Är den målad på duk eller pannå? Om motivet är figurativt vill vi kanske gärna veta varifrån motivet är hämtat, vilka personerna är, vad de gör, osv. Personligen vill jag gärna veta ännu mera om vilka pigment som använts och hur konstnären har byggt upp målningen, men även om det kan dölja sig en annan målning inunder? Med hjälp av vetenskapliga analysmetoder kan vi många gånger få svar på våra frågeställningar om varför en oljemålning ser ut som den gör och vad som kan finnas därunder.

Precis som vi människor åldras en oljemålning. Ett tecken på åldring är den sprickbildning som syns på målningens yta. Men tecken på åldring kan även finnas dolda under ytan. Att i en modell eller *mock-up* försöka återskapa en målning och låta modellen artificiellt åldras kan vara ett sätt för att öka förståelsen av de bakomliggande åldringsmekanismerna och hur sprickbildningen påverkas av ex. pigmentval, måleriteknik och klimat. En oljemålning är ett metastabilt objekt som består av ett flertal olika material, som alla åldras på olika sätt och där mekanisk, fysikalisk, biologisk och kemisk nedbrytning samverkar. Förståelse av nedbrytningen med allt ifrån degradering av pigmenten, oxidation och hydrolys av bindemedlet (oljan) till fernissans reaktivitet och påverkan av lösningsmedel och smuts viktigt för att förstå hur åldring av en målning kan hämmas. Vidare kan denna förståelse vara värdefull för att på bästa sätt konservera målningen.

I den här studien har sprickbildningen i Richard Berghs målning *Konstnärsförbundets styrelse* studerats med hjälp av en *mock-up* av ett specifikt parti i målningen som sedan artificiellt åldrats. Artificiell åldring är ofta av accelererande karaktär för att experimenten inte ska ta orealistisk lång tid. Accelererande åldring kan inte jämföras direkt med naturliga förhållanden, men genom att kombinera temperatur och relativ luftfuktighet kan den ändå vara tillräckligt relevant för att simulera åldring. Genom att åldra *mock-up*:en vid 50 °C och 80 % relativ luftfuktighet har sprickbildningen kunnat återskapas utan att överskrida exempelvis smältpunkten eller glasomvandlingstemperaturen hos bindemedlet i färgen och trigga icke-naturliga åldringsreaktioner hos de ingående materialen. Naturvetenskapliga analysmetoder har därefter använts för att studera sprickbildningen i syfte att utröna om det går att dra några slutsatser om vilka pigment som kan ha orsakat sprickornas utseende. Utgångspunkten har varit icke-förstörande analysmetoder, vilka jämförts med provtagning på ett fåtal ställen. Röntgentomografi har visat sig komplettera de resultat som fås vid fotografiska metoder.

Resultaten visar att inblandning av zinkvitt har betydelse för färgens elasticitet och därigenom för sprickbildningen. Tjockleken av *impasto* har mindre inverkan på sprickbildningen. Sprickorna torde växa från underlaget och uppåt genom färgen. Sprickorna i *mock-up*:erna som studerats följer till mångt och mycket penseldragen där de både syns längs ett penseldrag, men än vanligare vinkelrätt mot dem. För denna relativt korta studie tycks underlagets beskaffenhet vara av mindre betydelse. Den sprickbildning som detekterats överensstämmer till viss del med den i Richard Berghs originalmålning, dels då karaktären skiljer sig mellan partier med och utan zinkvitt, och dels att penseldragen utgör en grogrund för sprickor, speciellt vid underlaget och som växer sig upp mot ytan. Resultaten är dock inte tillräckliga för att avgöra om koboltblått har någon inverkan på sprickbildningen i *Konstnärsförbundets styrelse*.

REKOMMENDATION FÖR FRAMTIDA FORSKNING

Att använda sig av en mock-up är generellt sett en användbar strategi för att studera ett specifikt fenomen för en oljemålning. Dock finns det ett antal förbättringar som kan göras när det kommer till att studera just sprickbildning. Givetvis är val av pigment och kombinationer av pigment en förutsättning för att studera pigmentens betydelse. För att utröna hur olika pigment beter sig bör det inte finnas överlapp mellan olika färgpartier, men detta är ett vanligt fenomen när en konstnär målar... Vidare torde tjockare färglager ge bättre förutsättningar för att lättare skilja på olika pigments inverkan, likaså hur efterföljande färglager appliceras (t.ex. torktid eller om avsikten är att blanda lager). Penseldragens riktning bör även vara den samma för ett helt färglager. Förutom detta borde en utökad åldringstid, och företrädesvis med ett oscillerade förlopp där även ljus ingår som en parameter, ge förutsättningar för att skapa mera sprickbildning, men framförallt säkerställa att förtvålningprocesser ger avtryck i agglomerat och/eller sprickbildning.

REFERENSER

- Alfeld, M., De Nolf, W., Cagno, S., Appel, K., Siddons, D.P., Kuczewski, A., Janssens, K., Dik, J., Trentelman, K., Marc Waltone, M. & Sartorius A. (2013). Revealing hidden paint layers in oil paintings by means of scanning macro-XRF: a mock-up study based on Rembrandt's "An old man in military costume". *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, Vol. 28, s. 40-51.
- Baij, L., Hermans, J., Ormsby, B., Noble, P., Iedema, P. & Keune, K. (2020). A review of solvent action on oil paint. *Heritage Science*, Vol. 8, artikel 43 (<https://doi.org/10.1186/s40494-020-00388-x>).
- Ball, P. (2001). *Bright Earth – The Invention of Color*. London: Vintage. s. 168-171.
- van den Berg, J.D.J., van den Berg, K.J. & Boon, J.J. (1999). Chemical changes in curing and ageing oil paints. *ICOM Committee for Conservation 12th Triennial Meeting Lyon 29 August - 3 September 1999*. James & James (Science Publishers) Ltd. Vol. 1, s. 248-253.
- Berger, G.A. & Russell, W.H. (1994). Interaction between canvas and paint film in response to environmental changes. *Studies in Conservation*, Vol. 39, s.73-86.
- Boon, J.J., Hoogland, F. & Keune, K. (2006). Chemical processes in aged oil paints affecting metal soaps migration and aggregation. *AIC Paintings Specialty Group, Postprints of Annual Meeting in Providence, Rhode Island*, Vol. 19, s. 18-25.
- Brummer, H.H. (2002). Richard Bergh – ett konstnärskall. I H.H. Brummer (Red.) *Richard Bergh – ett konstnärskall* (s. 9-24). Stockholm: Carlssons bokförlag.
- Bucklow, S. (1997). The description of craquelure patterns. *Studies in Conservation*, Vol. 42, s. 129-140.
- Bucklow, S. (1999). The description and classification of craquelure. *Studies in Conservation*, Vol. 44, s. 233-244.
- Carcagni, P., Della Patria, A., Fontana, R., Greco, M., Mastroianni, M., Materazzi, M., Pampaloni, E. & Pezzati, L. (2007). Multispectral imaging of paintings by optical scanning. *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 45, s. 360-367.
- Cheung, C.S., Spring, M. & Liang, H. (2015). Ultra-high resolution Fourier domain optical coherence tomography for old master paintings. *Optics Express* Vol. 23, s. 10146.
- Church, A.H. (1890). *The chemistry of paints and painting*. London: Seeley and Co.
- Cotte, M., Checroun, E., Susini, J. & Walter, P. (2007). Micro-analytical study of interactions between oil and lead compounds in paintings. *Appl Phys A Mater Sci Process*, Vol. 89, s. 841-848.
- Dyer, J., Verri, G. & Cupritt, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual*, version 1. London: British Museum. Hämtad 2022-03-10 från https://www.researchgate.net/publication/267266175_Multispectral_Imaging_in_Reflectance_and_Photo-induced_Luminescence_modes_A_User_Manual.
- Elkhuizen, W.S., Callewaert, T.W.J., Leonhardt, E., Vandivere, A., Song, Y., Pont, S.C., Geraedts, J.M.P. & Dik, J. (2019). Comparison of three 3D scanning techniques for paintings, as applied to Vermeer's 'Girl with a Pearl Earring'. *Heritage Science*, Vol. 7, artikel nummer 89.
- Erhardt, D., Tumosa, C.S. & Mecklenburg, M.F. (2000). Natural and accelerated thermal aging of oil paint films. *Studies in Conservation*, Vol. 45, s. 65-69.
- Facos, M. (2010). Richard Bergh: Natural Science and National Art in Sweden. *Interdisciplinary Science Reviews*, Vol. 35, s. 39-50.
- Feller, R.L. (1994). *Accelerated aging : photochemical and thermal aspects*. Ann Arbor: The Getty Conservation Institute.

- Fieser, L.F. (1930). The discovery of synthetic alizarin. *Journal of Chemical Education*, Vol. 7, s. 2609-2633.
- Friedrich, M. (2003). Polarization Microscopy as an Art Tool: Border Crossing between Art and Nature. *Leonardo*, Vol. 36, s. 201-206.
- Fuster-López, L., Izzo, F.C., Damato, V., Yusà-Marco, D.J. & Zendri, E. (2019). An insight into the mechanical properties of selected commercial oil and alkyd paint films containing cobalt blue. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 35, s. 225-234.
- Giakoumis, I., Nikolaidis, N. & Pitas, I. (2006). Digital Image Processing Techniques for the Detection and Removal of Cracks in Digitized Paintings. *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 15, s. 178-188.
- Giorgi, L., Nevin, A., Nodari, L., Comelli, D., Albert, R., Gironda, M., ... Izzo, F.C. (2019). In-situ technical study of modern paintings part 1: The evolution of artistic materials and painting techniques in ten paintings from 1889 to 1940 by Alessandro Milesi (1856–1945). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Vol. 219, s. 530-538.
- Gunnarsson, T. (2002). Impressionismen och Norden. I T. Gunnarsson & P. Hedström (Red.) *Impressionismen och Norden: Det sena 1800-talets franska avantgardekonst och konsten i Norden*, (s. 8-43). Stockholm: Nationalmuseum.
- Hermans, J.J., Keune, K., van Loon, A. & Iedema, P.D. (2016). The crystallization of metal soaps and fatty acids in oil paint model systems. *Phys. Chem. Chem. Phys.* Vol. 28, s. 10896-10905.
- ICOM (International Council of Museums) (1984) *The Code of Ethics. The Conservator-Restorer: A Definition of the Profession*, (<https://conservacion.inah.gob.mx/normativa/wp-content/uploads/Documento221.pdf>, hämtad 2022-05-16).
- Keck, S. (1969). Mechanical Alteration of the Paint Film. *Studies in Conservation*, Vol. 14, s. 9-30.
- Kuge, Y. (1983). Study on the workability of paints. Forces exerted during brushing and the rheological characteristics of paints. *Journal of Coatings Technology*, Vol. 55, s. 59-64.
- Keune, K., Hoogland, F., Boon, J.J., Peggie, D. & Higgitt, C. (2009). Evaluation of the added value of SIMS: a mass spectrometric and spectroscopic study of an unusual Naples yellow oil paint reconstruction. *International Journal of Mass Spectrometry*, Vol. 284, s. 22-34.
- Macaro, G. (2017). The Barbizon paintings at the National Gallery: a technical study. I N. Costaras m.fl. (Red.) *A Changing Art, Nineteenth-Century Painting Practice and Conservation* (s. 56-62). London: Archetype Publication Ltd.
- Maor, Y. (2008). *Delamination of Oil Paint from Acrylic Grounds*. Masteruppsats, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada (<http://www.collectionscanada.gc.ca/obj/thesescanada/vol2/OKQ/TC-OKQ-1487.pdf>).
- McCamy, C.S., Marcus, H. & Davidson, J.G. (1796). A Color Rendition Chart. *Journal of Applied Photographic Engineering*, Vol. 11, s. 95-99.
- Mecklenburg, M.F., Tumosa, C.S. & Erhardt, D. (2005). The changing mechanical properties of aging oil paints. I P.B. Vandiver m.fl. (Red.) *Materials Issues in Art and Archaeology VII, Materials Research Society*, s. 13-24.
- Mecklenburg, M.F. (2007). Determining the acceptable ranges of relative humidity and temperature in museums and galleries: Part 1, Structural Response to Relative Humidity. *Smithsonian Museum Conservation Institute*, s. 1-57.
- Modugno, F., Di Gianvincenzo, F., Degano, I., van der Werf, I.D., Bonaduce, I. & van den Berg, K.J. (2019). On the influence of relative humidity on the oxidation and hydrolysis of fresh and aged oil paints. *Scientific Reports*, Vol. 9, artikel 5533 (<https://doi.org/10.1038/s41598-019-41893-9>).
- Morigi, M.P., Casali, F., Bettuzzi, M., Brancaccio, R. & D'Errico, V. (2010). Application of X-ray Computed Tomography to Cultural Heritage diagnostics. *Applied Physics A*, Vol. 100, s. 653-661.
- Muñoz-Viñas, S. (2005). *Contemporary Theory of Conservation*. New York: Routledge.

- Muñoz-Viñas, S. (2009) Minimal intervention revisited. I Richmond, A. & Bracker, A. (Red.) *Conservation: principles, dilemmas and uncomfortable truths*. London: Routledge in association with the Victoria and Albert Museum, s. 47-59.
- Mysels, K.J. (1981). Visual Art: The Role of Capillarity and Rheological Properties in Painting. *Leonardo*, Vol. 14, s. 22-27.
- Nationalencyklopedin. (u.å.). Ljus. I *Nationalencyklopedin*. Hämtad 2022, 10 mars från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/ljus>
- Noble, P. (2019). A Brief History of Metal Soaps in Paintings from a Conservation Perspective. I F. Casadio m.fl. (Red.) *Metal Soaps in Art – Conservation and Research* (s. 1-22). Cham: Springer.
- Orlova, Y., Harmon, R.E., Broadbelt, L.J. & Iedema, P.D. (2021). Review of the kinetics and simulations of linseed oil autooxidation. *Progress in Organic Coatings*, Vol. 151, artikel 106041.
- Osmond, G. (2012). Zinc white: a review of zinc oxide pigment properties and implications for stability in oil-based paintings. *AICCM Bulletin*, Vol. 33, s. 20-29.
- Osmond, G. (2014). Zinc White and the Influence of Paint Composition for Stability in Oil Based Media. I K. van den Berg m.fl. (Red.) *Issues in Contemporary Oil Paint* (s. 263-281). Springer International, Switzerland.
- Osmond, G. (2019). Zinc Soaps: An Overview of Zinc Oxide Reactivity and Consequences of Soap Formation in Oil-Based Paintings. I F. Casadio m.fl. (Red.) *Metal Soaps in Art – Conservation and Research* (s. 25-46). Cham: Springer.
- Person, B.-A. (1993). *Varbergsskolan – Richard Bergh, Nils Kreuger, Karl Nordström*. Lund: Bokförlaget Signum.
- Pavlopoulou, L.C. & Watkinson, D. (2006). The degradation of oil painted copper surfaces. *Reviews in Conservation*, Vol. 7, s.55-65.
- Patel, R. & Davidson, B. (2017). *Forskningsmetodikens grunder. Att planera, genomföra och rapportera en undersökning*. Lund: Studentlitteratur, s. 51-57.
- Pauchard, L. & Giorgiutti-Dauphiné, F. (2020). Craquelures and pictorial matter. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 46, s. 361-373.
- Pratali, E. (2013). Zinc oxide grounds in 19th and 20th century oil paintings and their role in picture degradation processes. CeROArt [Online], EGG 3. URL: <http://journals.openedition.org.ezproxy.ub.gu.se/ceroart/3207>; DOI: <https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.4000/ceroart.3207> (hämtad 2022-04-01).
- Reischig, P., Helfen, L., Wallert, A., Baumbach, T. & Dik, J. (2013). High-resolution non-invasive 3D imaging of paint microstructure by synchrotron-based X-ray laminography. *Applied Physics A*, Vol. 111, s. 983-995.
- Riello, G. (2018). Things that shape history: material culture and historical narratives. I K. Hervey (Red.) *History and Material Culture: A student's guide to approaching alternative sources*. Andra upplagan, New York: Routledge, s. 27-50.
- Rogala, D., Lake, S., Maines, C. & Mecklenburg, M. (2010). A Closer Look: Condition Issues in Abstract Expressionist Ground Layers. *AIC Paintings Specialty Group Postprints*, Vol. 22, s. 41-46.
- Salvant Plisson, J., de Viguerie, L., Tahroucht, L., Menu, M. & Ducouret, G. (2014). Rheology of white paints: How Van Gogh achieved his famous impasto. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, Vol. 458, s.134-141.
- Seves, A.M., Sora, S., Scicolone, G., Testa, G., Bonfatti, A.M., Rossi, E. & Seves, A. (2000). Effect of thermal accelerated ageing on the properties of model canvas paintings. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 1, s. 315-322.
- Strömbom, S. (1948). *Konstnärsförbundet 1891-1920*. Stockholm: Nationalmuseum, s. 6-19.
- Tantideeravit, S., Charalambides, M.N., Balint, D.S. & Young, C.R.T. (2013). Prediction of delamination in multilayer artist paints under low amplitude fatigue loading. *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 112–113, s. 41-57.

- Targowski, P. & Iwanicka, M. (2012). Optical Coherence Tomography: its role in the non-invasive structural examination and conservation of cultural heritage objects – a review. *Applied Physics A*, Vol. 106, s. 265-277.
- Thurén, T. (2019). *Vetenskapsteori för nybörjare*. 3e upplagan. Stockholm: Liber.
- de Viguerie, L., Ducouret, G., Lequeux, F., Moutard-Martin, T. & Walter, P. (2009). Historical evolution of oil painting media: a rheological study. *Comptes Rendus Physique*, Vol. 10, s. 612-621.
- Wallén, G. (1996). *Vetenskapsteori och forskningsmetodik*. 2:a upplagan. Lund: Studentlitteratur.
- Wexler, H. (1964). Polymerization of Drying Oils. *Chemical Reviews*, Vol. 64, s.591-611.
- Wood, J.D., Gauvin, C., Young, C.R.T., Taylor, A.C., Balint, D.S. & Charalambides, M.N. (2018). Cracking in paintings due to relative humidity cycles. *Procedia Structural Integrity*, Vol. 13, s. 379-384.
- Young, C. (2007). Interfacial interactions of modern paint layers. I T.J.S. Learner, P. Smithen, J.W. Krueger & M. R. Schilling (Red.) *Modern paints uncovered: proceedings from the modern paints uncovered symposium* (s.247-256). Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Zumbühl, S., Scherrer, N., Ferreira, E., Hons, S., Müller, M., Kühnen, R. & Navi, P. (2011). Accelerated ageing of drying oil paint - an FTIR study on the chemical alteration: Problems of accelerated ageing under variable conditions of light, temperature and relative humidity. *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Vol. 25, s. 139-151.

BILD- OCH TABELLFÖRTECKNING

BILDER

Om inget annat anges har fotografierna tagits av författaren eller så är det bilder som genererats från respektive från instrument.

Figur 1. Richard Bergh *Konstnärsförbundets styrelse*, 1903. Olja på duk, 150 x 212 cm. Foto: Åsa Lundén, Nationalmuseum.

Figur 2. Exempel på sprickbildning i *Konstnärsförbundets styrelse* av Richard Bergh: a) gröna bakgrunden, b) svarta partiet, c) bordets sida och d) sprickbildning vid penseldrag. Fotograf: Cecilia Heisser, Nationalmuseum.

Figur 3. Området av *Konstnärsförbundets styrelse* som är utgångspunkten för uppbyggnad av mock-up:en. Foto: Cecilia Heisser, Nationalmuseum.

Figur 4. Lagerstrukturen för uppbyggnad av mock-up:en: 1) canvas eller Melinex-film; 2) Blyvitt och zinkvitt, oljefärg; 3) bränd umbra, vattenbaserad tempera; 4) rå umbra, oljefärg, och terpentin; 5) elfenbenssvart, koboltblå och krapplack, oljefärg; 6) krapplack och zinkvitt, oljefärg; 7) koboltblå och zinkvitt, oljefärg; 8) kromgrönt och zinkvitt, oljefärg.

Figur 5. Uppbyggnad av bakgrund på canvas: tjockare *impasto* till vänster och tunnare till höger. a) med zinkvitt och b) utan zinkvitt.

Figur 6. Varianter av mock-up som gjordes på canvasduk (foto innan åldring).

Figur 7. Varianter av mock-up som gjorts på Melinex (tjocklek: 0,1 mm) (foto innan åldring).

Figur 8. Experimentuppställningen för den tekniska fotograferingen.

Figur 9. Experimentuppställningen för röntgenfotograferingen: röntgenkabinettet och den digitala röntgenplåten på vilken mock-up:en är placerad.

Figur 10. Lokaler där färgflagor avlägsnats: a) icke åldrad och b) åldrad mock-up.

Figur 11. Experimentuppställningen för röntgentomografin.

Figur 12. C:A:1 (vänster) och C:B:1 (höger) efter åldring.

Figur 13. Röntgenfotografering: a) C:A:1, där röda streckade linjen visar gränsen mellan svart och grönt parti, b) C:B:1, där röda ringen visar området med *impasto*.

Figur 14. Fotografier av C:A:1 i a) synligt ljus (VIS), b) UV-ljus (UVL) och c) UV-ljus (UVR).

Figur 15. Fotografier av C:B:1 i a) synligt ljus (VIS), b) UV-ljus (UVL) och c) UV-ljus (UVR).

Figur 16. C:A:2 (vänster) och C:B:2 (höger) efter åldring.

Figur 17. Röntgenfotografering av C:B:2.

Figur 18. Fotografier av C:A:2 i a) synligt ljus (VIS), b) UV-ljus (UVL) och c) UV-ljus (UVR).

Figur 19. Fotografier av C:B:2 i a) synligt ljus (VIS), b) UV-ljus (UVL) och c) UV-ljus (UVR).

Figur 20. a) C:Co:1 och b) C:Co:2 (efter åldring).

Figur 21. Röntgenfotografering av a) C:Co:1 efter åldring, där den röda streckade linjen visar gränsen mellan grönt och svart parti, och b) grönt parti av C:Co:2 efter åldring.

Figur 22. Tvärsnitt av färgflaga från C:Co:1, 20x förstoring (dark field).

Figur 23. Tvärsnitt av färgflaga från C:Co:1, 20x förstoring: a) UV-ljus (dark field), b) UV-ljus med blått långpass-filter och c) UV-ljus med grönt långpass-filter.

Figur 24. SEM-bild (back-scattered electron detection, 15 kV) av tvärsnitt av färgflaga från C:Co:1, a) 200x förstoring och b) 500x förstoring.

Figur 25. Tvärsnitt av färgflaga från C:Co:2, 20x förstoring (dark field).

Figur 26. Tvärsnitt av färgflaga från C:Co:2, 20x förstoring: a) UV-ljus (dark field), b) UV-ljus med blått långpass-filter och c) UV-ljus med grönt långpass-filter.

Figur 27. SEM-bild (back-scattered electrons, 15 kV) av tvärsnitt av färgflaga från C:Co:2, 200x förstoring.

Figur 28. Röntgentomografi av åldrade mock-up:erna a) C:Co:1 och b) C:Co:2. Den röda streckade linjen visar gränsen mellan grönt (under) och svart parti (över).

Figur 29. Åldrad canvasduk där de olika svarta partierna indikeras (1-6).

Figur 30. Svarta partier i UV-ljus (UUVL): a) parti 1; b) parti 2; c) parti 3; d) parti 4; e) parti 5 och f) parti 6.

Figur 31. Tvärsnitt av färgflaga från icke-åldrad C:B:2, 20x förstoring: a) synligt ljus (dark field); b) UV-ljus (dark field), c) UV-ljus med blått långpass-filter och d) UV-ljus med grönt långpass-filter.

Figur 32. SEM-bild (back-scattered electrons, 15 kV) av tvärsnitt av färgflaga från icke-åldrad C:B:2, 200x förstoring.

Figur 33. Tvärsnitt av färgflaga från åldrad C:B:2, 20x förstoring: a) synligt ljus (dark field); b) UV-ljus (dark field), c) UV-ljus med blått långpass-filter och d) UV-ljus med grönt långpass-filter. Röda markeringen i b) avser förstoring i Figur 34.

Figur 34. Förstoring av markerade området i Figur 33 (tvärsnitt av färgflaga från åldrad C:B:2).

Figur 35. SEM-bild (back-scattered electrons, 15 kV) av tvärsnitt av färgflaga från åldrad C:B:2, 200x förstoring. Röda markeringen avser förstoring i Figur 36.

Figur 36. Förstoring av markerade området i Figur 35 (tvärsnitt av färgflaga från åldrad C:B:2).

Figur 37. Röntgenfotografi av grönt parti i C:Co:2 efter åldring.

Figur 38. Kartläggning av elementen i ett tvärsnitt av C:Co:2 efter åldring: 200x förstoring i SEM-EDS, 30 kV: a) tvärsnittet, b) kalcium, c) titan, d) bly, e) zink, f) krom och g) syre.

Figur 39. Fotografi efter åldring av a) M:A:1 (överst) och M:B:1 (underst) och b) M:A:2 (överst) och M:B:2 (underst).

Figur 40. Röntgenfotografi efter åldring av det svarta område mellan M:A:1 och M:B:1 i Figur 39.

Figur 41. Röntgenfotografi efter åldring av a) M:A:2 och b) M:B:2.

Figur 42. Fotografering i UV-ljus med VIS-filter av M:A:2 (vänster) och M:B:2 (höger), svart parti mellan de båda impasto-partierna.

Figur 43. Röntgentomografi efter åldring av a) M:A:1 och b) M:A:2.

TABELLER

Tabell 1. Testprocedur för den multispektrala fotograferingen: ljuskällan som använts vid varje specifik fotografering, samt vad som detekterats.