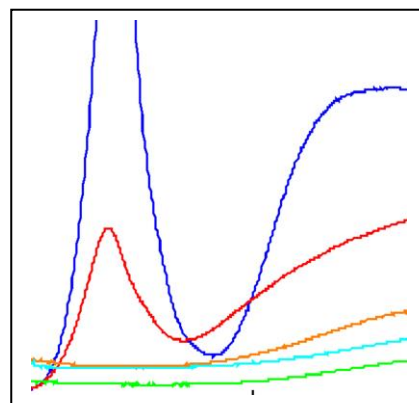


Varmt eller kallt LED-ljus

-en jämförelse av två olika ljuskällor
vid Microfadetest



Stina Svantesson

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i
Kulturvård, Konservatorprogrammet

15 hp

Institutionen för kulturvård
Göteborgs universitet

2018:37



Varmt eller kallt LED-ljus
-en jämförelse av två olika ljuskällor vid Microfadetest

Stina Svantesson

Handledare: Ticca Ogilvie
och Jacob Thomas

Kandidatuppsats, 15 hp
Konservatorprogram
Lå 2017/18

UNIVERSITY OF GOTHENBURG
Department of Conservation
P.O. Box 130
SE-405 30 Goteborg, Sweden

www.conservation.gu.se
Ph +46 31 786 4700

Program in Integrated Conservation of Cultural Property
Graduating thesis, BA/Sc, 2018

By: Stina Svantesson
Mentor: Ticca Ogilvie och Jacob Thomas

Warm or cold LED-light
-a comparison of two different lightsources for Microfade tests

ABSTRACT

In the process of exhibition design, much importance is placed on lighting. This is partly to ensure the best preservation of the objects being displayed, but also to ensure they are lit well for the visitor. Lighting policies are developed to set appropriate light levels and exposure time for the objects, while also taking the viewer's perspective into the calculation. A tool that can help to determine what light dose an object can withstand before showing colour loss is a microfade test.

Microfade testing is a relatively new method which was introduced in 1999 by Paul Whitmore. Whitmore developed an instrument for accelerated light aging that can be considered non-destructive. Because the test is done on a surface that is only 0.4 mm in diameter, it can be used on even very sensitive objects. Microfade testing fills a gap where earlier methods affected the object itself.

It must be possible to trust the results of an MFT test and more research is needed on the method. My study seeks to determine whether employing a cold or warm LED-light in the instrument gives the same forecast. Two light sources have been tested, one cold with a color temperature of 6200K and one warm at 4000K. The samples analysed consisted of BWS 1-3, plus five papers covering the primary colours. The samples were selected to span the entire lightfastness scale, and to be untextured and opaque.

Test results showed that the cold light source gives a slightly higher value overall for color change than the warm light source for most samples. Tests on the light sensitive yellow paper displayed just the opposite results. T-tests showed that the deviation between the curves is non-relevant in all samples except for the yellow paper. On light sensitive materials however, a change in the colour of light source could provide a mis-forecast as high as one third of the light dosage.

In conclusion, for most materials, the choice of lamp in the test instrument is of no significance to provide a reliable forecast of light dose. On the other hand, for light sensitive materials, it can be of great importance.

Title in original language: Varmt eller kallt LED-ljus –en jämförelse av två ljuskällor vid Microfadetest

Language of text: Swedish

Number of pages:55

Keywords: microfade test, MFT, lightfastness, LED-light, accelerated aging, colourchange, lighting policy,

ISSN 1101-3303

ISRN GU/KUV—18/37--SE

Förord

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare Ticca Ogilvie och Jacob Thomas för visat tålamod med alla mina frågor och god vägledning genom hela examensarbetet.

Dessutom ett tack till Bettina Sacher som satt samman provmaterialet och låtit mig ta del av detta.

Slutligen vill jag också tacka min dotter Anna Svantesson och min vän Lovisa Henriksson för stöd och värdefulla synpunkter.

Stina Svantesson

“..., and many fair things will fade and be forgotten. That is my belief.”

Elrond i Sagan om ringen av J.R.R. Tolkien

INNEHÅLL

1. INLEDNING	11
1.1 Problemformulering och syfte	12
1.2 Frågeställningar	12
1.3 Avgränsningar	12
1.4 Teori.....	13
1.5 Källmaterial och källkritik	13
2. FORSKNINGSÖVERSIKT OCH KUNSKAPSLÄGE.....	15
2.1 Microfadetest - MFT	15
2.1.1 Begränsningar hos MFT-tekniken	17
2.1.2 Jämförelser av instrument	17
2.2 CIE L*a*b*	18
2.3 ISO Blue Wool Standard.....	20
2.4 Ljus orsakar nedbrytning.....	22
2.5 Belysning under förändring	23
2.6 Ljuspolicy	24
3. METOD	25
3.1 Testutrustning	25
3.2 Ljuskällor.....	26
3.3 Prover.....	26
3.4 Genomförandet.....	27
3.5 Analytiskt hjälpmedel	28
3.6 Påverkande faktorer.....	30
4. RESULTAT	32
5. DISKUSSION OCH SLUTSATS.....	44
5.1 Vad säger kurvor och t-tester?	44
5.2 Extremvärden och felorsaker	46
5.3 Fördelar och nackdelar med MFT.....	47
5.4 Konservatorn och forskningen	48
5.5 Slutsats.....	49
5.6 Förslag till framtida forskning	50
6. SAMMANFATTNING	51
7. KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING.....	53
7.1 Muntliga källor	53
7.2 Tryckta källor	53
7.3 Förteckning över bilder och illustrationer	55
8. BILAGOR	57
Bilaga 1. Tekniska specifikationer.....	57
Bilaga 2. Färgämnen för provmaterialen	58
Bilaga 3. Översikt effekt och ljusflöde vid kalibrering	58
Bilaga 4. Uträkning för färgförändring i CIE L*a*b* ΔE_{00}	59
Bilaga 5. Absorptionskurvor	60
Bilaga 6. Grafer över samtliga mätningar.....	63

1. INLEDNING

I utställningssammanhang är upplevelsen av de föremål besökaren tar del av viktigt. Hur ett föremål är belyst är därför väsentligt. Dels för att väcka intresse hos betraktaren men också för att föremålet ska kunna bevaras så länge som möjligt (Evans & Kåberg 2013, ss.139-143). För att kunna se bra behöver de flesta personer minst en ljusnivå på 50 lux. För särskilt känsliga föremål har därför den generella riktlinjen legat på denna nivå (Michalski 2018). För att kunna se riktigt fina detaljer eller om synen blivit nedsatt av till exempel ålder räcker inte denna nivå till.

Nationalmuseum i Stockholm har sedan 2013 varit stängt för renovering. När det nu åter öppnar kommer det bland annat innebära ett helt nytt koncept för belysning av rum och konst. Museet har genomfört en rad olika ljusundersökningar där framförallt perception har varit i centrum. Både museets anställda, utomstående kollegor och ett antal besökare har fått ge sitt omdöme hur de upplever olika ljussättningar i kombination med bakgrundsfärg på väggar (Evans & Kåberg 2013, ss.139-143). Därför har museet valt att kombinera dagsljus med LED-belysning som i viss mån har anpassad färgtemperatur till specifika konstverk.

Samtidigt är det viktigt att tänka på konstverkets bästa ur bevarandesynpunkt (Evans & Kåberg 2013, ss.139-143). Föremål som ställs ut utsätts för risker på olika sätt varav ljuset är en. För att minimera den påverkan ljuset ger och på så sätt förlänga livslängden av föremålet är det önskvärt att kunna evaluera hur mycket exponering det tål. När en utställning produceras behöver därför en bedömning göras av hur mycket ljus varje föremål kan utsättas för. Ett ljushårdighetstest kan vara ett sätt att få svar på hur fort en färgförändring förlöper. Microfadetester är ett verktyg avsett för bland annat detta ändamål.

Under de senaste snart 20 åren har tekniken med microfadetest (MFT) utvecklats (Whitmore, Pan & Bailie 1999). Vid ett test utsätts en yta med diametern 0,4 mm för en accelererad ljusåldring genom att belysas med en mycket intensiv ljusstråle. För konservatorn, eller annan ansvarig, är det viktigt att kunna lita på resultatet från en sådan underökning. Om det ska vara möjligt måste de aktörer som finns på marknaden leverera resultat som överensstämmer med varandra och verkligheten. Det finns dock fortfarande mycket att utforska, och många obesvarade frågor angående tekniken. Därför behövs mer forskning som kartlägger faktorer som påverkar utfallet av ett microfadetest. Ljuskällan i instrumentet kan vara en av dessa. Jag kommer i min uppsats undersöka resultaten av mikrofadetest utförda med två ljuskällor med olika färgtemperatur på samma material. Ett kallt LED-ljus på 6200K och ett varmt med färgtemperaturen 4000K. Utfallen kommer sedan jämföras med varandra. Svaret som söks är om det är möjligt att leverera en pålitlig långtidsprognos för utställningssammanhang, angående ljusexponering i förhållande till tid, oavsett ljuskällans art i instrumentet.

De resultat och slutsatser som min undersökning kommer fram till blir också en del av ett större projekt. Bettina Sacher, doktorand vid University College London genomför under 2018 en mängd olika tester av just microfadetekniken. Detta för att utröna hur policydokument för ljus kan utformas med hjälp av denna metod. Arbetsnamnet på hennes forskningsprojekt är *"Lighting policies for collections using microfadeometry"* (Informant 1). Den första delen i hennes arbete kommer inrikta sig just på att jämföra resultaten från utrustningen mellan flera olika laboratorier. Skillnader i utrustning som till exempel typ av ljuskälla kommer undersökas. För att resultatet ska bli så relevant som möjligt kommer samma tester utföras på flera instrument och på olika institutioner och det är en anledning till att jag är delaktig med min undersökning. Kontakten med Bettina Sacher har skett genom

Jacob Thomas som är handledare åt oss båda. Hennes övriga handledare är Matija Strlic, UCL Institute for Sustainable Heritage och Stefania Signorello, Wellcome Collection.

1.1 Problemformulering och syfte

Ljuset är en källa till nedbrytning och färgförändring. Föremål magasineras oftast mörkt men när de ställs ut krävs ljus för att besökarna ska kunna ta del av tingen. Att färgen bleks eller förändras över tid vet vi och när ett föremål ska kunna ställas ut är det viktigt med en bra ljuspolicy (Pesme 2016). En ljuspolicy hjälper museer att bestämma en lämplig ljusnivå i förhållande till exponeringstiden för sina föremål. Ett verktyg som kan bidra till att evaluera förändringens art och hastighet är just ett microfadetest. En prognos om det antal luxtimmar föremålet klarar av att exponeras för kan därför baseras på denna kunskap.

I och med utvecklingen av nya belysningsalternativ de senaste åren uppkommer fler aspekter och variabler att ta i beaktande vid val ljuskälla. Tekniken tillåter bland annat att ljuset kan varieras mellan kallt och varmt eller att ljusstyrkan ändras efter olika behov. Ljuskällans spektralfördelning påverkar hur stor förändring som sker med färgen på ett föremål. Om denna spektralfördelning är känd i mätinstrumentet, så är det intressant att undersöka om det spelar någon roll vilken ljuskälla som använts för att förutspå hur många luxtimmar ett föremål klarar i utställningssammanhang.

Xenonlampor kan genom olika filter kalibreras till 6500K vilket räknas som dagsljus. Vid till exempel tester av ISO 105 B02, Blue Wool Standard, är xenonlampan den ljuskälla som används (ISO 105 B02). Även vid microfadetester har hittills xenon varit den vanligaste ljuskällan i instrumentet (RAÄ 2017). Lampan har dock kort livslängd och är dyra att köpa (Informant 2). Den avger dessutom mycket värme vilket kan vara en källa till nedbrytning i sig.

Syftet med undersökningen är därför att utröna om det spelar någon roll för resultatet ifall det betydligt billigare och mer lätthanterliga alternativet LED-lampa används i instrumentet. Det är i så fall också viktigt att veta om det har betydelse vilken färgtemperatur ljuskällan avger. Svaret är intressant för museer och gallerier då många är i begrepp att byta belysning på grund av ekonomi eller miljöskäl och i dessa sammanhang har just LED blivit ett attraktivt val.

1.2 Frågeställningar

-Ger olika färgtemperatur på ljuskällan en signifikativ skillnad i färgförändring i förhållande till exponeringsdos för ett färgämne?

-Om så är fallet, behöver då ljuskällan i instrumentet för ett microfadetest anpassas till museets befintliga belysning för att ge ett korrekt resultat?

1.3 Avgränsningar

Undersökningen avgränsas då endast två ljuskällor med olika färgtemperatur kommer att undersökas. De är båda LED-ljus, ett kallt 6200K och ett varmt 4000K. Dessa är valda för att de representerar två olika trender för belysning i museer och gallerier.

Min undersökning använder det provmaterial som är sammansatt av Bettina Sacher, doktorand vid University Collage London. Förutom Blue Wool Standard (BWS) 1-3 ingår fem färgade papper i grundfärgerna gult, blått, rött och grönt samt svart. Dessa är valda för att de är jämna, plana och opaka samt att deras omfång på ljuskänsligheten spänner mellan BWS 1-3.

Instrumentet har en annan design än de mer frekvent använda inom microfadetester. Det har valts för att gå i linje med Bettina Sachers undersökning.

Antalet mätningar som gjorts är minst tre per lampa och material. Kompletterande mätningar har utförts för att minst tre ska ingå i medelvärdet som jämförelsen av ljuskällorna grundas på.

Uträkningarna har endast utförts i CIE $L^*a^*b^*$ ΔE_{00} men alla data kan användas och konverteras till ΔE_{76} .

1.4 Teori

Som teoretiker har jag valt Dr. Salvador Muñoz Viñas, (Universitat Politècnica de València), och hans bok ”*Contemporary theory of conservation*”. Där utgår jag främst från kapitel fem och hans tankar angående glappet mellan konservatorn och forskningen.

Forskning inom konservering har relevans för det dagliga arbetet. När avståndet mellan forskare och konservator minskar kan både behov och framsteg kommuniceras mellan dessa grupper (Muñoz Viñas 2005, ss.117-120). Det kan ta tid innan nya rön implementeras som gängse tillvägagångssätt men forskning behövs för att förbättra eller ifrågasätta det vi gör idag. Ofta är behovet för en konservator mer av det praktiska slaget. Jag vill därför ta avstamp i Muñoz Viñas tankar om nyttan av en mer teknik och metodinriktad forskning där konservatorn tar del i utvecklingen (2005, ss.145-146) Förhoppningen är att resultaten i denna undersökning ska kunna bidra till metoder som kommer till praktisk användning inom konserveringen och där målet är minsta möjliga påverkan av föremålen (Muñoz Viñas 2005, s. 188).

1.5 Källmaterial och källkritik

Mitt primärmaterial är den data som samlats in under microfadetesterna. Dessa har analyserats med hjälp av en modell i Excel. Modellen bygger på CIE $L^*a^*b^*$ ΔE_{00} och räknar ut färgförändringen men ger också en prognos om hur mycket ljusexponering, i förhållande till tid, ett föremål kan utsättas för. Själva Excelarket är utarbetat av Jacob Thomas, forskarassistent vid Göteborgs Universitet. Han har också varit handledare, bistått med information och hänvisas till som Informant 2.

Det som kan påverka validiteten av testresultaten är dels de felkällor som kan inverka på insamlandet av data, dels att det finns fler sätt att analysera på än det valda. Andra institutioner och utövare av microfadetests använder sina egna analysverktyg.

Sekundärmaterial består av vetenskapliga artiklar och böcker som belyser olika aspekter som berör metoden med microfadetester. Detta inbegriper Microfading, Blue Wool Standard,

CIE L*a*b*, nedbrytning orsakad av ljus, ljuskällor samt allmänna riktlinjer för museers ljuspolicy.

Störst vikt har lagts på microfadetest och det som hänför sig till instrumentet eller metoden. Här kan nämnas Dr. Paul Whitmore (Carnegie Mellon University/Yale University) som varit en pionjär inom området. Tillsammans med sina medarbetare har han utvecklat ett MFT-instrument och artiklarna förklarar hur tekniken fungerar samt hur det fyller ett tomrum där det förut inte varit möjligt att evaluera ljushärdighet. En annan källa är Bruce Ford (conservation scientist, National Museum of Australia) som bland annat arbetar som konsult för ljuspolicys och microfadetester. Fords artiklar behandlar både själva instrumentet och dess funktion, samt MFT som ett verktyg i praktiskt arbete bland samlingar.

Ljus och ljuspolicys är ett annat område som känts viktigt att belysa. Stefan Michalski (conservation scientist, Canadian Conservation Institute, CCI), är ansvarig sakkunnig för CCI:s informationssida om ljus som orsak till nedbrytning. Sidan tar upp flera olika aspekter angående ljus och strategier för hur skador kan minimeras. Helen Evans och Helena Kåberg (konservator respektive kurator, Nationalmuseum, Stockholm) är också intressanta i sammanhanget då de nyligen varit involverade i att utarbeta en ny ljuspolicy för Nationalmuseum. De rapporterar om hur de gått tillväga i museets egen tidskrift.

Det finns ytterligare en informant, Bettina Sacher, doktorand vid University College London, och som försett mig med analysmaterialet.

Som källkritik kan nämnas att den forskning som gjorts på MFT-metoden ofta behandlat olika aspekter eller använt skilda angreppssätt. Dessutom presenteras vissa undersökningar i luxtimmar och andra i realtid och det varierar om resultaten av färgförändring delges i CIE L*a*b* ΔE_{76} eller ΔE_{00} . Därför är resultaten svåra att jämföra.

2. FORSKNINGSOVERSIKT OCH KUNSKAPSLÄGE

Under denna rubrik kommer det redogöras för några ämnesområden som är relevanta för förståelsen av microfadetest. Dels kommer instrumentet i sig att belysas och en del av den forskning som finns angående metoden. Eftersom resultaten för MFT brukar presenteras som en färgförändring, ΔE behöver detta förklaras. Det sätt att kommunicera färg som används är färgrymden CIE $L^*a^*b^*$ och den senaste modellen för färgförändring är ΔE_{00} men ΔE_{76} används fortfarande i stor utsträckning. CIE¹ är antagen som expertorgan inom ISO (Internationella standardiseringsorganisationen). Blue Wool Standard (BWS) är ett referensmaterial för underökningar av färgers ljushärdighet som används för jämförelse vid MFT tester. Det är en ISO standard och består av 8 sektioner vävt ylletyg som är färgade i blåa nyanser av skilda härdighet. Nummer 1 är ljuskänsligast medan nummer 8 är mest ljushärdig. Dessutom kommer ljus, belysning och ljuspolicys beröras eftersom det är inom detta område underökningen har betydelse.

2.1 Microfadetest - MFT

Microfadetest för ljushärdighetstester är en relativt ny metod och är under utveckling. Metoden presenterades först 1999 av Dr. Paul Whitmore och hans medarbetare vid Carnegie Mellon University. De hade utvecklat ett instrument som var förmögen att identifiera material som var ljuskänsligare än Blue Wool Standard (BWS) nr:2 (Whitmore, Pan & Bailie 1999). Instrumentet mäter simultant både accelererad blekning och färgförändring. De uppnådda resultaten överensstämmer dessutom väl med traditionell ljusåldring. Förmågan att kunna utröna hur känsligt ett föremål är för ljus är värdefullt när bevarandemål ska sättas upp i till exempel utställningssammanhang. Fördelen med den nya metoden är att även synnerligen känsliga och ovärderliga objekt är möjliga att testa.

Metoden går att använda direkt på föremålen, dels för att testytan bara är cirka 0,4 mm i diameter men också för att provtagningen avslutas när endast en liten men definierbar färgförändring uppstått. Därför räknas metoden som ”icke förstörande” och den skada som eventuellt uppstått anses vara försumbar. Instrumentet är dessutom inte i direktkontakt med föremålet. Däremot kan temperaturen i området uppgå till 50° C. Detta gör att testet kan vara olämpligt på material med låg smältpunkt (Whitmore, Pan & Bailie 1999). Den intensiva xenonlampan orsakade problemet och senare har modeller tillverkats där temperaturen endast överstiger rumstemperatur med 3-4 grader.

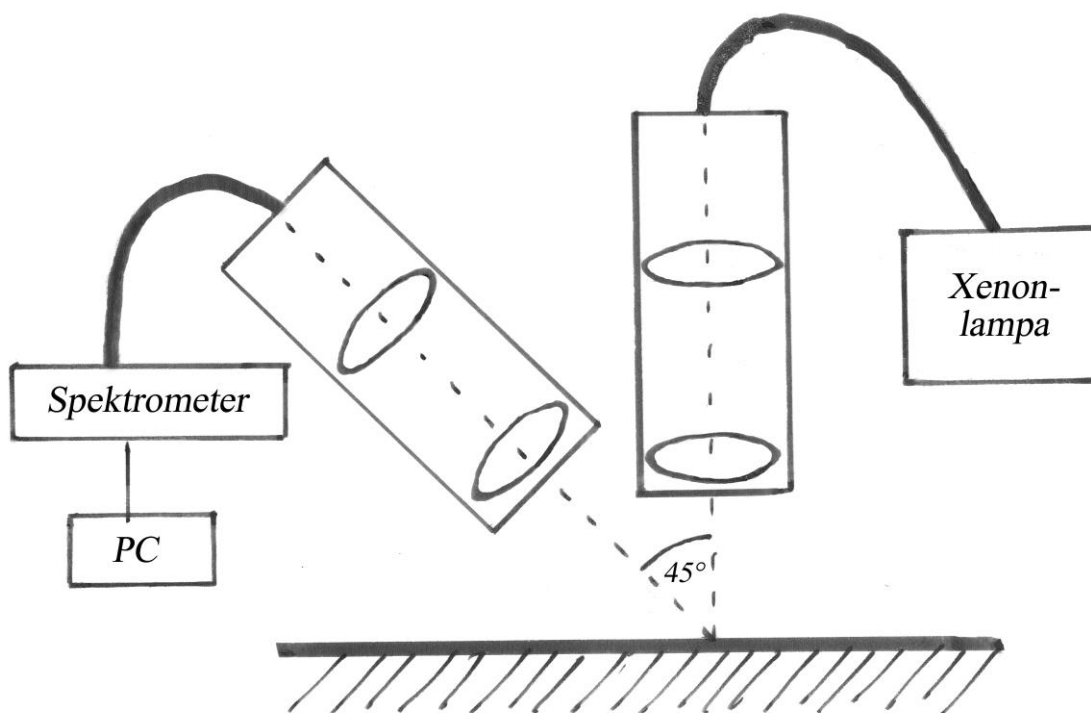
Instrument som är baserade på Whitmores design är uppbyggda på följande sätt (figur 1):

Instrumentet består av två linsrör varav det ena är riktat rakt mot underlaget och är kopplat med fiberoptisk kabel till en ljuskälla, xenonlampa. Denna har filtrerats för UV² och IR³ och belyser en testyta med radien 0,3-0,4 mm. Det andra linsröret är vinklat i 45° mot ytan och fångar upp det reflekterade ljuset. Till denna tub är en spektrometer sammankopplad som läser av våglängderna på spektrumet. Denna data samlas sedan in och analyseras i ett dataprogram.

¹ CIE, Commission Internationale de l'Éclairage (Internationella belysningskommissionen)

² UV, ultraviolett ljus

³ IR, infrarött ljus

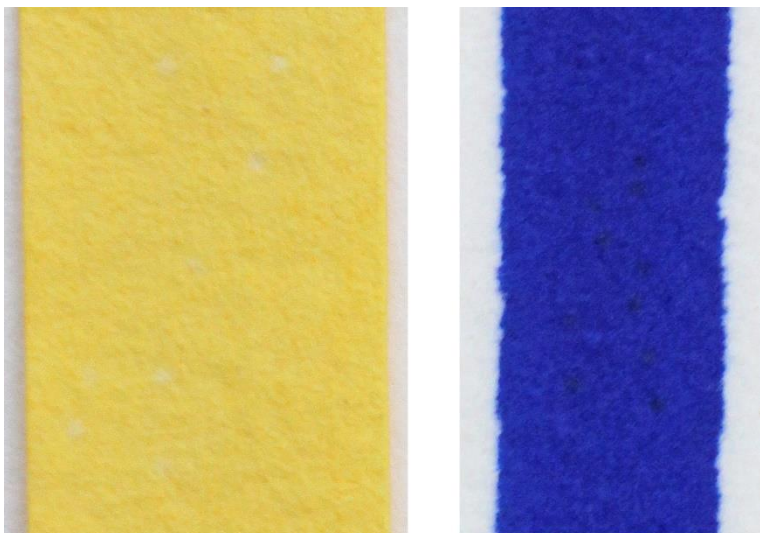


Figur 1. Schematisk bild över hur MFT instrumentet är uppbyggt efter Whitmores design.

Med jämna mellanrum kalibreras ljuskällans spektrum med hjälp av ett vitt referensprov. Efter varje kalibrering ger koordinaterna för CIE $L^*a^*b^*$ en liten skillnad. Eftersom den inte också kalibreras mot en standardbelysning medför det att MFT inte är pålitlig som en absolut färgangivelse. Det ger dock ingen effekt på resultatet för färgförändring (Ford 2011).

2001 fastställer Whitmore att MFT inte bara visar hur mycket något bleks utan också färgförändringens art (Whitmore, Bailie, Connors 2001). Reflekerande spektroskopi används för att identifiera pigment och färgämnen. Även om det synliga spektrumet sällan är helt specifikt, så är det inte omöjligt att det i kombination med annan data, i framtiden går att utvinna den informationen i samband med ett test av ljushärdighet (Ford 2011). Det som kan ge konsekvenser för en sådan funktion är olika blandningar av pigment eller färger. Idag vid microfadetester används det insamlade spektrumet till att avgöra ifall de mätningar som gjorts har utförts på samma sorts pigment (Informant 2). Det bör helst utföras tre mätningar per färg för att få ett pålitligt resultat.

Resultatet presenteras sedan som den färgförändring (ΔE) som uppstått vid en given ljusdos (Mlux-timmar) och kalkyleras enligt CIE $L^*a^*b^*$. Lab-data är inte bara användbar för att förutspå blekning. De talar också om ifall ett färgämne ljusnar eller mörknar (L), ändrar färg i spannet rött/grönt (+a) eller gult/blått (+b). Dosen ljus (lux-timmar.), färgförändring och ljushärdigheten för det belysta materialet korresponderar. ISO Blue Wool Standard (BWS) är en standard för att definiera denna förändring och dess nivå (BWS förklaras längre fram i uppsatsen). Därför jämförs resultatet mot BWS 1-3 som processas i samband med provtagningen.



Figur 2. Exponering av ljus kan både bleka och göra mörkare. I det här fallet har det gula pappret fått ljusa prickar efter MFT-testet, medan det blå fått mörka prickar. I verkligheten är prickarna cirka 0,35 mm i diameter.

2.1.1 Begränsningar hos MFT-tekniken

Standardavvikelsen för BWS 1 ligger på $\pm 10\%$ beräknat i CIE $L^*a^*b^*$ ΔE_{76} (Ford 2011). Emellanåt uppstår extremvärden och detta beror oftast på dålig fokusering av ljusstrålen eller att materialet alternativt optiken rört på sig. För att undvika problem med fokus vore det bra om detta automatiseras (Lerwill, Townsend, Liang, Thomas & Hackney 2008).

Det är känt att ISO Blue Wool Standard är känsliga för redan små skillnader av förändringar i spektralfördelningen och också olika testinstrument. De är också känsliga för lampans åldrande och fokusering. Det finns antydningar om att BWS i sig själv varierar p.g.a. ojämn infärgning eller variation i material som tyg och färgämne (Ford 2011).

Efter genomförd analys med MFT är det nästan omöjligt att lokalisera den fläck som blivit belyst på de flesta material och ytor. En mer ojämn yta döljer förstås en eventuell skada bättre. Därför är det viktigt att arbeta med större försiktighet om området för provtagning är slätt så det inte uppstår synlig blekning. (Lerwill, Townsend, Liang, Thomas & Hackney 2008). Eventuellt skulle det gå att göra testområdet än mindre men det kan inverka menligt på resultatets pålitlighet (Ford 2011). Däremot är det svårare att fokusera på en ojämn yta och risken är därför större för extremvärden.

2.1.2 Jämförelser av instrument

Att den information som produceras är pålitlig är viktigt. Därför har under åren en rad olika granskningar gjorts där tekniken varit i fokus. 2009 gjordes en undersökning där resultatet för fem olika design av MFT-instrument jämfördes (Druzik & Pesme 2010). De flesta, men inte alla, instrumenten vid denna tidpunkt baserades på Whitmores originaldesign med xenonlampa som standard. Både stationära och portabla instrument ingick i undersökningen varav somliga försetts med förbättringar av skilda slag. Alla resultat jämfördes mot BWS och kalkylerades i CIE $L^*a^*b^*$ ΔE_{76} , ΔE_{94} och ΔE_{00} . I 95 % av fallen var skillnaden ingen till upptill 1 steg på BWS skalan och i 70 % var det bara upptill 0,5 stegs skillnad.

Enligt ISO Standard 105 B02 utförs accelererad blekning av BWS i ljusbox med standard ljuskällan D65. Här belyses en större provbit, som placerats i en låda, för att simulera

ljusåldring. För känsliga och värdefulla föremål är denna metod sällan ett möjligt alternativ, eftersom det är en förstörande metod, då en provbit måste avlägsnas från själva föremålet. 2013 gjordes en jämförelse mellan den traditionella ljusboxen och MFT (Lerwill 2013). Där konstaterades det att det inte förelåg någon större skillnad i resultat mellan metoderna när det kommer till att bedöma hur ljuskänsligt ett material är. Däremot var färgförändringen större vid microfadetest. Detta beror troligen på att intensiteten blir större i testpunkten vid MFT.

Sambandet mellan högre intensitet och skillnad i färgförändring kunde också konstateras när xenon, halogen och LED jämfördes (Lojewski, Thomas, Golab, Kawalko & Lojewska 2011). Något som också ligger i linje med vad andra forskare kommit fram till. De olika ljuskällorna jämfördes vid 1 joule. Det tog ungefär 7 gånger så lång tid med LED lampan att uppnå 1 joule jämfört med xenonlampan. Därför gav xenonlampan en lägre färgförändring trots att den har högre intensitet än LED. I förlängningen kan det betyda att den färgförändring som sker i samband med MFT inte överensstämmer med den förändring som sker under verkliga förhållanden.

Mer forskning om tekniken behövs, men som redskap att fastställa ljushärdighet är MFT ett användbart verktyg. I dag finns dessutom portabla MFT så att föremålen inte behöver förflyttas från sin plats. Det finns forskare som framfört att alla evalueringar om ljushärdighet borde dokumenteras noga och användas som referensmaterial (Pesme 2016).

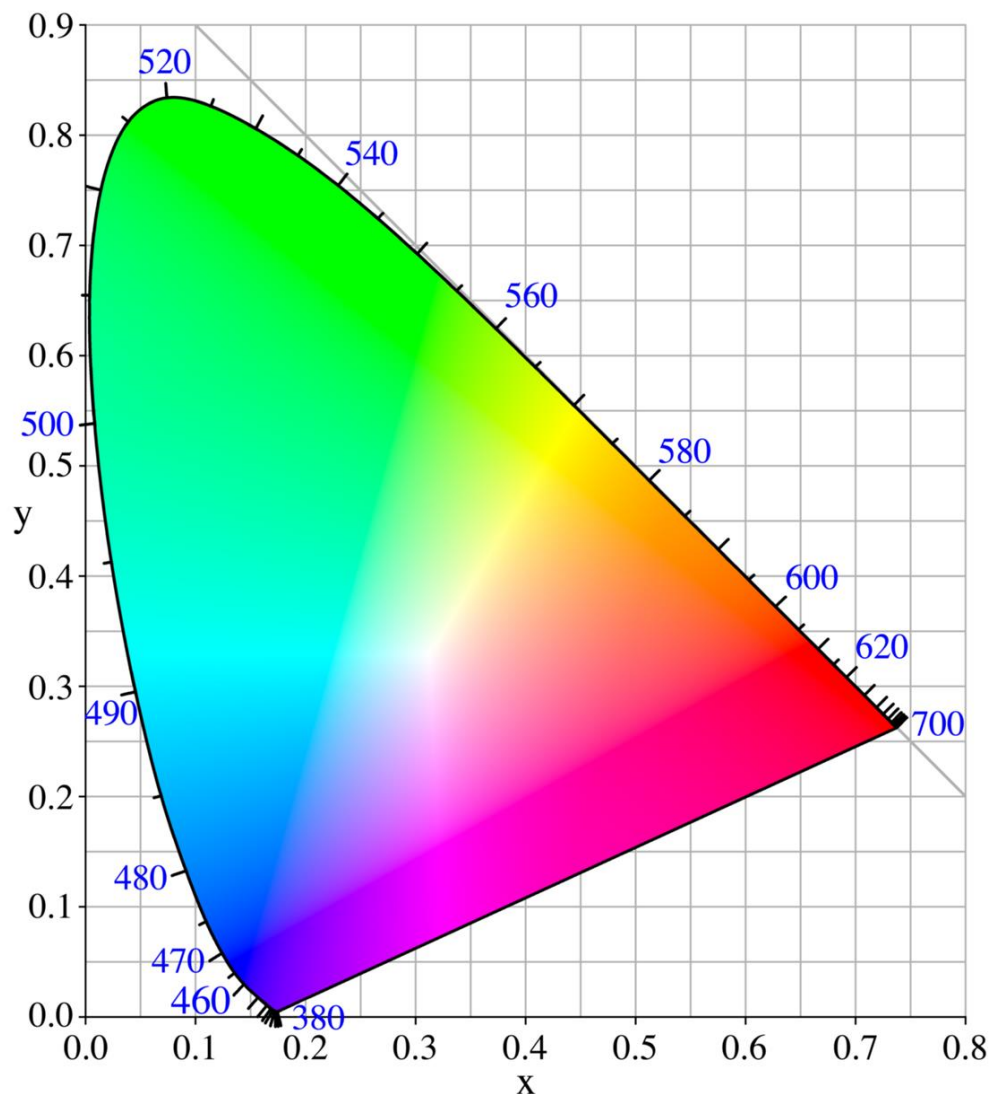
2.2 CIE L*a*b*

I slutet av 1800-talet forskades och experimenterades det inom fältet fotometri⁴ och kolorimetri⁵ (Schanda 2007, s.9). Industrialismen och intresset för vetenskap var drivkraften. Inom flera olika verksamheter ökade behovet av att kunna kommunicera färg och färgat ljus. Ett exempel var de signalljus som används inom tåg, sjöfart och annan trafik men även färgmatchning av den visuella ytfärgen var av vikt. Både industrin och nationella standardiseringsorganisationer utförde egen forskning parallellt och ett antal personer kan betecknas som pionjärer inom området. Runt 1900 var det främst U.S.A. och Storbritannien som låg i framkant. Det blev snart klart att en gemensam internationell standard behövdes där mätvärdena var oavhängigt av vilket instrument som användes (Schanda 2007, s.12). 1913 bildades CIE, Commission Internationale de l'Éclairage, som i Sverige kallas "*Internationella belysningskommissionen*".

Först och främst behövdes en standard definieras (Schanda 2007, s.17). Vid CIE:s möte hösten 1931 antogs fem resolutioner utarbetade av J.Guild (Schanda 2007, s.20). De definierade det primära färgspektret som ett "normalöga" ser det, tre standard ljuskällor samt under vilka villkor mätningar av ytfärg skulle genomföras. Därefter antogs ett referenssystem X,Y,Z med definierade ekvationer för dessa. I figur 3 visas ett färgdiagram över färgrymden X,Y,Z.

⁴ Fotometri handlar om hur det mänskliga ögat upplever ljusstyrka.

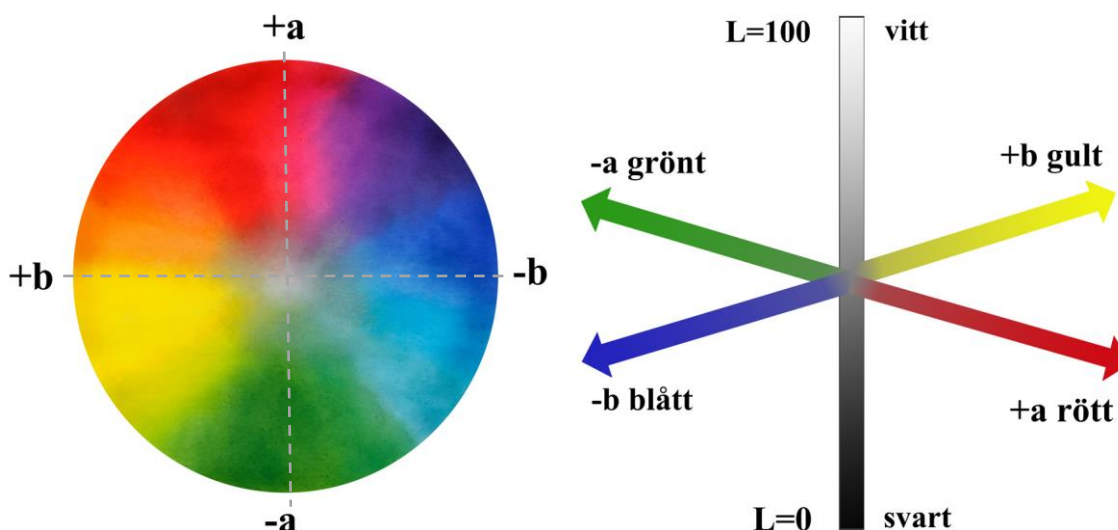
⁵ Kolorimetri är en metod att bestämma färger och färgskillnader genom strålningsmätning.



Figur 3. Färgdiagram XYZ som antogs vid mötet för CIE 1931. Bild: Skapad av signaturen PAR, användare på engelska wikipedia.

Ganska snart upptäcktes att även skillnad i färg behövde definieras. En man vid namn MacAdams utförde en rad experiment för att fastställa färgförändringar. Det behövdes då ytterligare en variabel, den för ljushet (Schanda 2007, s.80). Det diagram som han fick fram gav grunden till en formel för skillnader i färg.

Dessa system för beräkning av färg och färgförändring passade inte alla branscher men 1976 utvecklades CIE $L^*a^*b^*$ (Schanda 2007, s.84). Detta var ett sätt att matematiskt räkna ut alla färger och göra systemet mer homogent. Avstampet togs i CIE XYZ 1931 men med en ny variabel för ljushet. Diagrammet blev tredimensionellt (figur 4). Den lodräta axeln representerar ljushet och betecknas L , där 0 är svart och 100 vitt. De två vågräta axlarna korsar varandra i 90° där $+a/-a$ ger värdet för rött till grönt och $+b/-b$ för gult till blått. De är egentligen inte försedda med något maxvärde men brukar i praktiken numreras från -128 till +127, det vill säga 256 nivåer (Cruse 2018). Färgförändring betecknas med ΔE_{76} . Förbättringar har sedan dess gjorts och den senaste i raden är CIEDE2000, ΔE_{00} (Schanda 2007, s.91). Formeln kommer utvecklas och förfinas ytterligare i framtiden.



Figur 4. CIE Lab färgdiagram.

En annan viktig milstolpe var 1964 när CIE tog fram en ljuskälla att använda som standard för dagsljus. Den fick namnet D65 eftersom dagsljus har en färgtemperatur på ungefär 6500K (Schanda 2007, s.38). En förutsättning för att två prover ska bli jämförbara är att de belyses likartat.

Nämnas bör att flera olika sätt att kommunicera färg har utarbetats genom tiderna. RGB⁶, CMYK⁷ och ncs⁸ är några. Redan i slutet på 1800-talet skapades flera Atlas med visuella färgreferenser som var fullt gångbara (Schanda 2007, s.10). För att bekräfta en förändring kan det krävas något mer även om detta är ett sätt att kontrollera och observera förändringar i en utställningsmiljö. Vid MFT är de färgförändringar som uppmäts så små och den punkt som belyses har så liten area att det vore omöjligt för ögat att med hjälp av referensprover fastställa skillnaden.

2.3 ISO Blue Wool Standard

ISO, Internationella standardiseringsorganisationen, är ett standardiseringsorgan vars verksamhet startade 1947. Den är icke-statlig men där de flesta av världens länders nationella standardiseringsorgan är medlemmar (International Organization for Standardization (ISO) u.å.). Genom de nationella organisationerna kan experter samarbeta i ett globalt nätverk för att utveckla gemensamma standarder. Detta är inte minst till hjälp inom industri och handel men också för kulturvårdssektorn.

ISO Standard 105 handlar om textiliers ljushärdighet. Detta testas genom att belysa ylletyg som färgats blått, s.k. Blue Wool Standard (BWS), med xenon lampa efter givna parametrar (ISO 105 B02:2014). BWS utvecklades från början för textilindustrin men har senare applicerats som referens för färgförändring inom andra områden (Hattori, Yoshizumi & Cox Crews 2011, s.936). Inom kulturvården har den anammats för att utvärdera ljushärdigheten på känsliga föremål och där microfadetest är en av flera metoder.

⁶ RGB (red, green, blue), grundfärger som används i additiv färgblandning

⁷ CMYK (cyan, magenta, yellow, key color), färgmodell för fyrfärgstryck

⁸ ncs (natural color system), är ett internationellt färgbeteckningssystem

BWS består av åtta sektioner ylle i skiftande blå nyans och med olika ljushärdighet (ISO 105 B02:2014, 5.1.2-5.1.3). Den europeiska och amerikanska standarden skiljer sig något åt. I Europa numreras varje sektion från 1 till 8. Där färgas ylletyget med följande färger:

- 1: CI Acid Blue 104
- 2: CI Acid Blue 109
- 3: CI Acid Blue 83
- 4: CI Acid Blue 121
- 5: CI Acid Blue 47
- 6: CI Acid Blue 23
- 7: CI Solubilised Vat Blue 5
- 8: CI Solubilised Vat Blue 8

Den amerikanska standarden numreras L2 till L9. Här blandas varierande proportioner färgad ull tills önskad effekt uppnås. De färgämnen som används är CI Mordant Blue 1 och CI Solubilised Vat Blue 8.

Färgen är vald för att ge en bestämd blekning i förhållande till den totala intensiteten av UV och synligt ljus och tappar därför i färgstyrka efter kända värden. Varje nyans kräver dubbelt så mycket ljusexponering/luxtimmar som den föregående för att blekna till samma grad (ISO 105 B02:2014). BWS 1 är minst stabil medan BWS 8 den mest stabila. Vid tester av ljusbeständigheten för museum används oftast bara BWS 1-3. Detta eftersom belysningen på museer vanligtvis är anpassad för att bleka så lite som möjligt och kommer då inte upp till de ljusnivåer som krävs för att bleka BWS 4-8 (Ford & Druzik 2013, s.55).

Det finns mer än ett sätt att använda BWS för att bevaka färgförändringar. På till exempel museer eller historiska hus kan en karta med BWS användas som dosiometer (National Trust 2011, s.97). Kortet med de olika sektionerna infärgad ylle placeras intill ett föremål för att bevaka ljusdosen det utsätts för under en viss tidsperiod. Halva kortet täcks över, alternativt en tvilling förvaras mörkt och kallt, till att använda som referens för förändringen. Vid microfadetester belyses en yta med diametern 0,3-0,4 mm på det faktiska föremålet för att skapa en accelererad ljusåldring. I samband med provtagningen processas även BWS-referenser att jämföra med. Detta blir en slags kalibrering eftersom förändringen av BWS är känd (Pesme 2016).

Det har under lång tid framförts synpunkter på BWS lämplighet som referensmaterial vid MFT (Informant 2). Ytan i sig är svår att belysa jämt eftersom den är vävd. Dessutom kan resultatet variera beroende av var på den vävda tråden ljuspunkten träffar. Ojämn tillverkning och det faktum att europeiska och amerikanska standarden skiljer sig något från varandra gör också BWS osäkert som referensmaterial (Ford 2011). För övrigt kan material och infärgning skilja mellan producenter (figur 5).



Figur 5. Karta med Blue Wool Standard 1-8 från två olika tillverkare. Den övre från "James Heal" och den undre från Talas. Den senare är en amerikansk leverantör men förser även den europeiska marknaden med material. På bilden syns tydligt att både färg och struktur kan skilja åt.

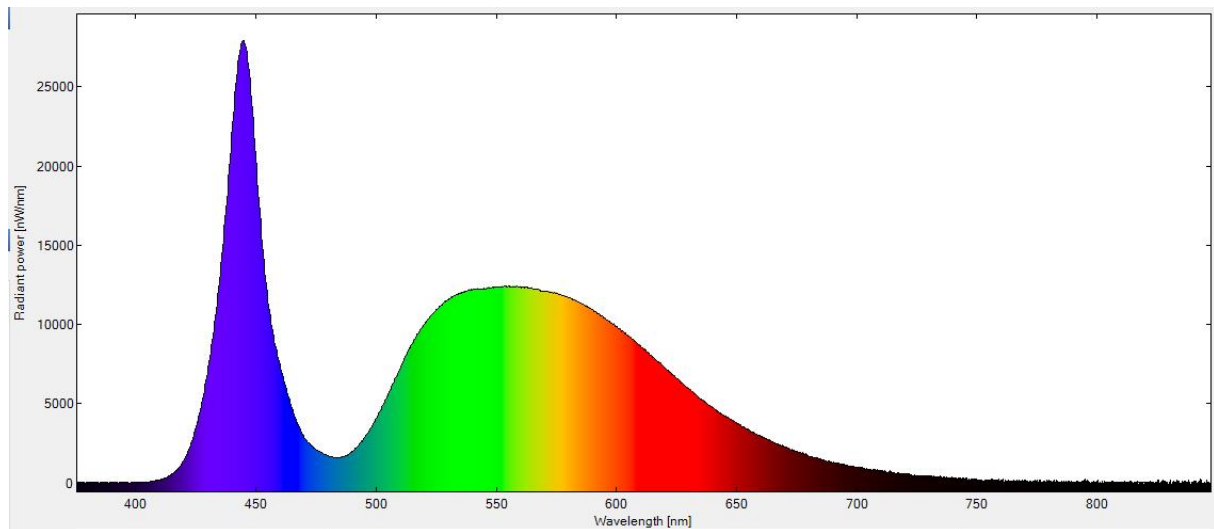
Jacob Thomas, forskarassistent vid Göteborgs universitet, har vid ett par tillfällen undersökt BWS 3 med hjälp av MFT. Han har fått olika resultat beroende på om det är inslag eller varp som blivit belyst. Detta visar på ett problem vid att använda BWS som referensmaterial vid ljushärdighetstester genom microfadetest. Försöken är upprepningsbara (Informant 2).

2011 undersöktes Blue Wool L2 och L4 ur synvinkeln hur känsliga de var med utgångspunkt av våglängd (Hattori, Yoshizumi & Cox Crews 2011). Slutsatsen var att känsligheten för vissa våglängder inte verkade korrespondera till färgens reflekterande spektrum. Detta medför att BWS inte lämpar sig för att evaluera material som både är känsliga för synligt och UV-ljus. Artikeln är intressant trots att den delvis spelat ut sin roll då de färgämnen som användes för den amerikanska BWS vid tidpunkten slutade tillverkas 2014 (AATCC News 2014). Vid undersökningen användes det ljuskänsliga färgämnet Eiro Chrome Azurole BA och den härdiga Indigosol Blue AGG. Standarden reviderades 2014 och de nya färgerna för tillverkningen av de amerikanska Blue Wool referenserna finns angivna i paragraf 5.1.3. (ISO 105 B02:2014) vilket redogjorts för tidigare i avsnittet.

2.4 Ljus orsakar nedbrytning

Allt ljus bleker oavsett våglängd. Hur mycket beror på känsligheten hos färgämnet. Somliga är mer känsliga för ljus medan andra i princip inte förändras överhuvudtaget. Utanför det synliga ljuset finns de korta våglängderna, UV-ljus, som försvagar material och ger gulning. På andra sidan spannet finns IR-ljus som värmer upp och ger uppkomst av högre temperatur, vilket också är en skaderisk. Givetvis överlappar de olika formerna av nedbrytning som orsakas av IR, UV och synligt ljus varandra. Emellanåt är risken större att föremålet skadas termiskt eller av smuts och förorening i sin förvaring än av ljus i en utställning (Michalski 2018). Dessutom kan samma blekning av ett färgämne leda till varierande skada beroende på vilket föremål som färgen sitter på (Pesme 2016).

Det har gjorts studier som visar att skadorna på gula och röda pigment minskar när våglängden ökar (Saunders & Kirby 1994). När det gäller blå pigment är förhållandet mellan våglängd och färgförändring mindre tydligt. Detta innefattar även BWS. De förändringar som sker beror på energin hos strålningen och de spektralabsorberande egenskaperna hos pigmentet. De längre våglängderna är mindre energirika och därför mindre skadliga. Detta sammantaget gör att valet av ljuskällor är viktigt. Det är också en av anledningarna till att BWS lämplighet som standard för att bedöma skador diskuteras (Saunders & Kirby 1994). Nedan en bild av hur spektralfördelningen av en ljuskälla kan se ut (figur 6). Varje typ av ljuskälla har sitt mönster.



Figur 6. Spektrum från den lampa på 6200K som använts i uppsatsens undersökningsdel.

De kortare våglängderna, blå och blålila, har visat sig mer skadliga. En luxmätaren ger ingen information om vilka våglängder som är inblandade utan ger bara information om ljusstyrkan. Alltså kan samma luxtal ge olika stor skada beroende på ljuskällan. Då är kanske inte luxtimmar den bästa måttstocken för bevarandet av ett föremål (Padfield u.å.a). Ett sätt att begränsa det blå ljuset är att sätta ett orange filter framför lampan. Detta har visat sig mer effektivt än att bara blockera UV-strålningen. Är filtret för starkt kan det dock störa betraktarens upplevelse av föremålet (Padfield u.å.b).

2.5 Belysning under förändring

För att värna miljön och minska energiförbrukningen har belysningssektorn varit under granskning både nationellt och internationellt. 2009 började den traditionella glödlampan fasa ut och ersättas av mer energisnåla alternativ. Detta efter ett beslut i EU (Holm 2018). Olika alternativ har genom åren ersatt såsom lågenergilampor, halogenlampor och LED-lampor (Light Emitting Diode). Eftersom LED verkligen är energisnål har den blivit mer och mer populär. I början hade tillverkarna det svårt att hitta en behaglig färgtemperatur på just LED-lampor. Utvecklingen har dock gått framåt och idag finns en uppsjö av olika alternativ.

Även museer ser över sina kostnader och miljöengagemang. Därför tittar denna sektor på alternativ till den traditionella belysningen. Halogenlampan har varit en vanlig ersättare för glödlampan på museer men eftersom de blir ganska varma har även här LED-lampan vunnit mark. LED-lamporna är dessutom ett billigare alternativ och har längre livslängd. Under 2018 skärps dessutom kravet på just halogenlampor (Holm 2018).

En annan fördel med LED är att de kan tillverkas att vara fria från UV-ljus (National Trust 2011, s.741). Dock är det inte bara UV som bryter ner eller ger färgförändringar. Hela spannet i spektrumet påverkar nedbrytningen av färg även om det är störst vid de kortare våglängderna. Ljuset i sig alstrar dessutom betydligt mindre värme än traditionella ljuskällor. Likväl kan värme vara ett problem med just LED lampor. Elektronik som driver dioderna avger en hel del värme. Ska ljuskällan placeras i en monter behöver därför detta övervägas noggrant (Druzik & Michalski 2012, s.22). Det bästa är då om belysningen har extern drivning som kan separeras från själva ljuskällan.

2.6 Ljuspolicy

50 lux har länge varit en rådande måttstock på museer, för högsta ljusnivå, när det gäller känsliga material som till exempel textilier, fotografier och akvarell. För föremål som tål mer ljus har nivåerna satts till mellan 150-300 lux. Regeln för UV har varit att hålla nivån under $75\mu\text{W}/\text{lm}$ (Michalski 2018). 50 lux är den ljusstyrka som för de flesta är den lägsta för att kunna se bra. För detaljer och kontraster krävs oftast mer ljus.

För att skapa en bra ljuspolicy behöver först en nivå för accepterad blekning fastställas. Hur känslig samlingen eller objekten är ska också bedömas. Synligheten för att betraktaren ska få en god upplevelse är givetvis viktigt att ta med i beräkningarna. Dessutom är ljusstyrkan i kombination med belysningstiden en avgörande faktor i strategin för bevarandet av föremålet (Michalski 2018). Bevarandemålet definieras sedan som den maximala färgförändringen som är acceptabel för en given tidsram (Pesme 2016). Det kan också uttryckas som enbart förutsägbar förändring. En vanlig angivelse för godtagbar färgförändring är 1,5 i ΔE_{00} alternativt 1,7 i ΔE_{76} under tidsramen 50 år (Informant 2).

En ljuspolicy kan utarbetas både för ett museum i stort och för enskilda föremål. Som tidigare nämnts har till exempel Nationalmuseum i Stockholm utarbetat en helt ny ljuspolicy i samband med sin renovering (2013-2018). Där har upplevelsen varit central och museet har under arbetsnamnet "Lighting Lab" experimenterat med både ljusstyrka och färgtemperatur. Samtidigt har frågan om bevarandet av ljuskänsliga objekt varit av största vikt och hur belysningen av dessa föremål kan begränsas på bästa sätt (Evans & Kåberg 2013 ss.139-146).

Som tekniskt hjälpmedel när en ljuspolicy ska skrivas är ett MFT-instrument användbart. Eftersom metoden anses vara icke-förstörande kan den användas direkt på föremålet och resultatet blir då konkreta data. Dessutom ger testet en uppfattning om vilken färgförändring som sker över tid med just det testade pigmentet (RAÄ 2017). När The National Museum of Australia modifierade sin ljuspolicy utvärderade de först, med hjälp av denna teknik, en stor mängd föremål av olika slag (Ford & Smith 2011). Undersökningen var inriktad på föremål kopplade till urbefolkningen. Över 200 föremål av olika kategorier och materialslag testades och kunde sedan utifrån BWS grupperas efter ljushärdighet.

Av slentrian har många museer lagt sig på ljusnivån 50 lux och därmed känt sig försäkrade mot all framtida blekning och att risken därmed försvunnit. För att göra bra bedömningar angående föremålen i sin samling krävs kunskap (Michalski 2018).

3. METOD

Denna empiriska studie är kvantitativ och resultaten från de utförda testerna tolkas deduktivt (Patel & Davidsson 2003). För att resultatet ska bli trovärdigt har alla försök upprepats ett flertal gånger och utförts på samma sätt. Dessutom har testerna utformats för att överensstämja med övriga tester i Bettina Sachers större undersökning (se sid.11). De data som samlats har analyserats med ett Excelbaserat verktyg som används vid verkliga MFT tester och beräknas enligt CIE L*a*b*.

3.1 Testutrustning

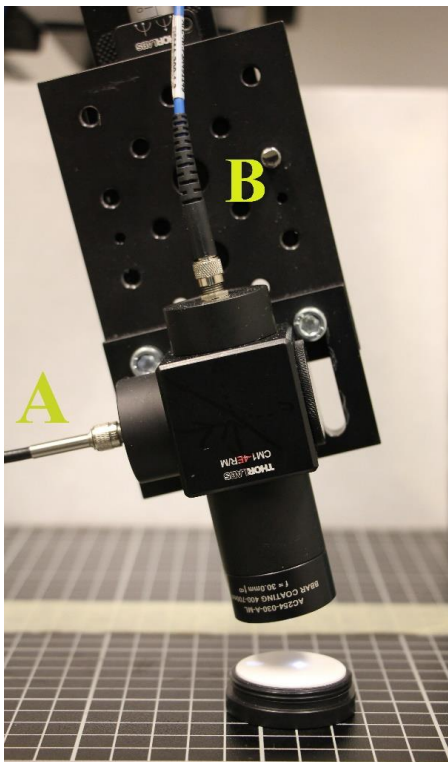
Det instrument som använts under undersökningen tillhör Jacob Thomas, forskarassistent på institutionen för kulturvård vid Göteborgs Universitet, och är utvecklad av den samme. Instrumentet är ett retroreflekterande MFT och består av ett linsrör som i detta fall vinklats med 15° gentemot underlaget. Linsens brännvidd har vid mätningarna varit 30 mm (figur 7 och 8).

Fiberoptisk kabel med \varnothing 600 μm är kopplad från ljuskällan till instrumentet. Det reflekterade ljuset har förts med en fiberoptisk kabel med \varnothing 200 μm från tuben till en spektrometer. Denna läser av våglängden på spektrumet som sedan samlas in och analyseras i programvaran waves. För att de värden som samlas in ska gå att konvertera till CIE L*a*b* har de kolorimetriska inställningarna i wave haft följande inställningar (För fler tekniska detaljer se bilaga 1):

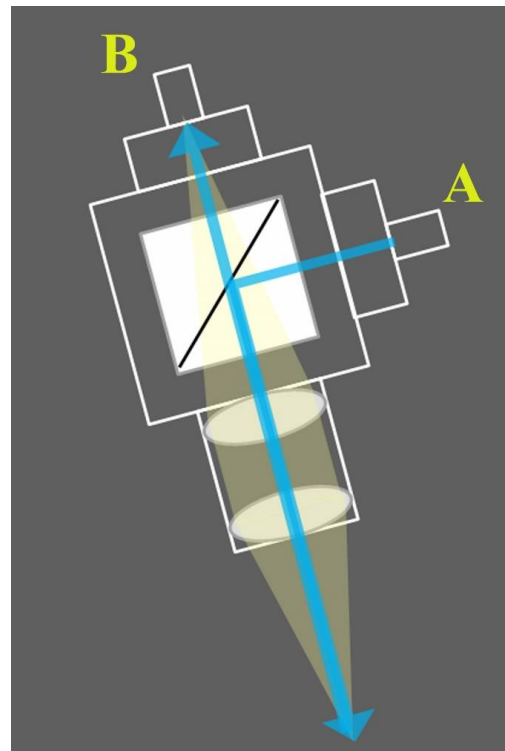
Color matching functions: CIE 2° Standard Observer (1931)

Luminosity function: CIE Physiological Based on Stockman & Sarpe 2° (2008)

Reference Withe: CIE Standard Illuminant D65 – Noon daylight (TV. sRGB)



Figur 7. MFT instrumentet är vinklat i 15°. Här kalibreras mätutrustningen med hjälp av en vit referens av bariumsulfat.



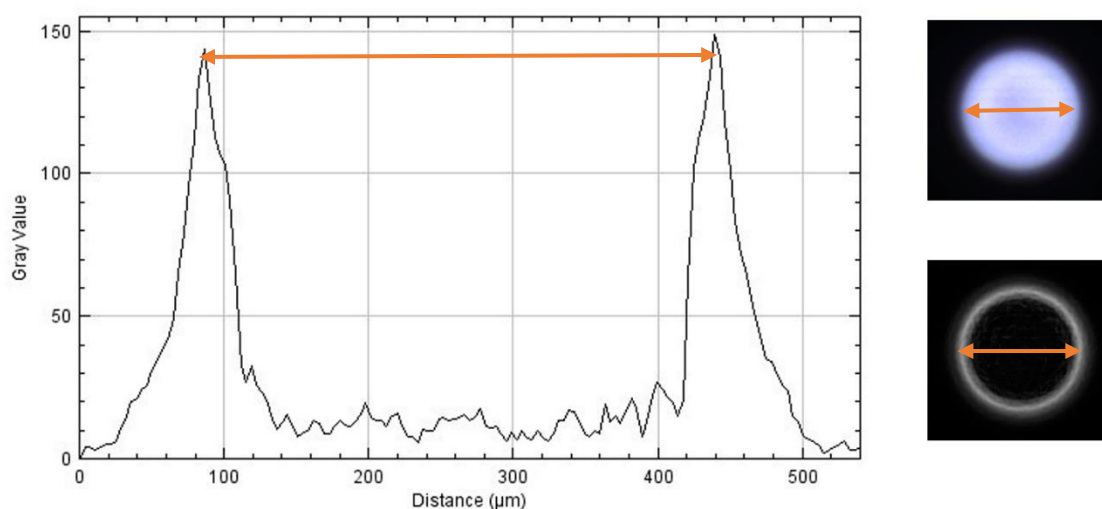
Figur 8. Schematisk bild över MFT instrumentet. Punkt A är kopplad till ljuskällan och punkt B till en spektrometer. Illustration: Jacob Thomas

3.2 Ljuskällor

Två typer av fiberkopplade LED ljuskällor användes vid testerna. Ett varmt ljus på 4000K, samt ett kallt på 6200K. För fler tekniska detaljer se bilaga 1. Ljuskällan med det kalla ljuset är alldeles ny och har tidigare endast använts under upplärningsfasen för testerna som pågick under några veckor.

Effekten på de båda lamporna har försökts göras så likvärdiga som möjligt. Detta för att intensiteten ska bli den samma och därmed få jämförbara resultat.

Belysningspunktens area och intensitet beräknades med hjälp av en digital bildsensor. Då bildsensorns pixelstorlek är känd, $3,6\mu\text{m}$, beräknades diametern med hjälp av bildhanteringsprogrammet imageJ till $357\mu\text{m}$ (figur 9). Arealen blir då $178,5^2 \times \pi \approx 100\,098\mu\text{m}^2 = 0,100098\text{mm}^2$.



Figur 9. Ljuspunktens kontur fastställdes med hjälp av programmet imageJ och därefter beräknades diametern med samma programvara. Bild på ljuspunkten (upptill höger) är tagen av Jacob Thomas.

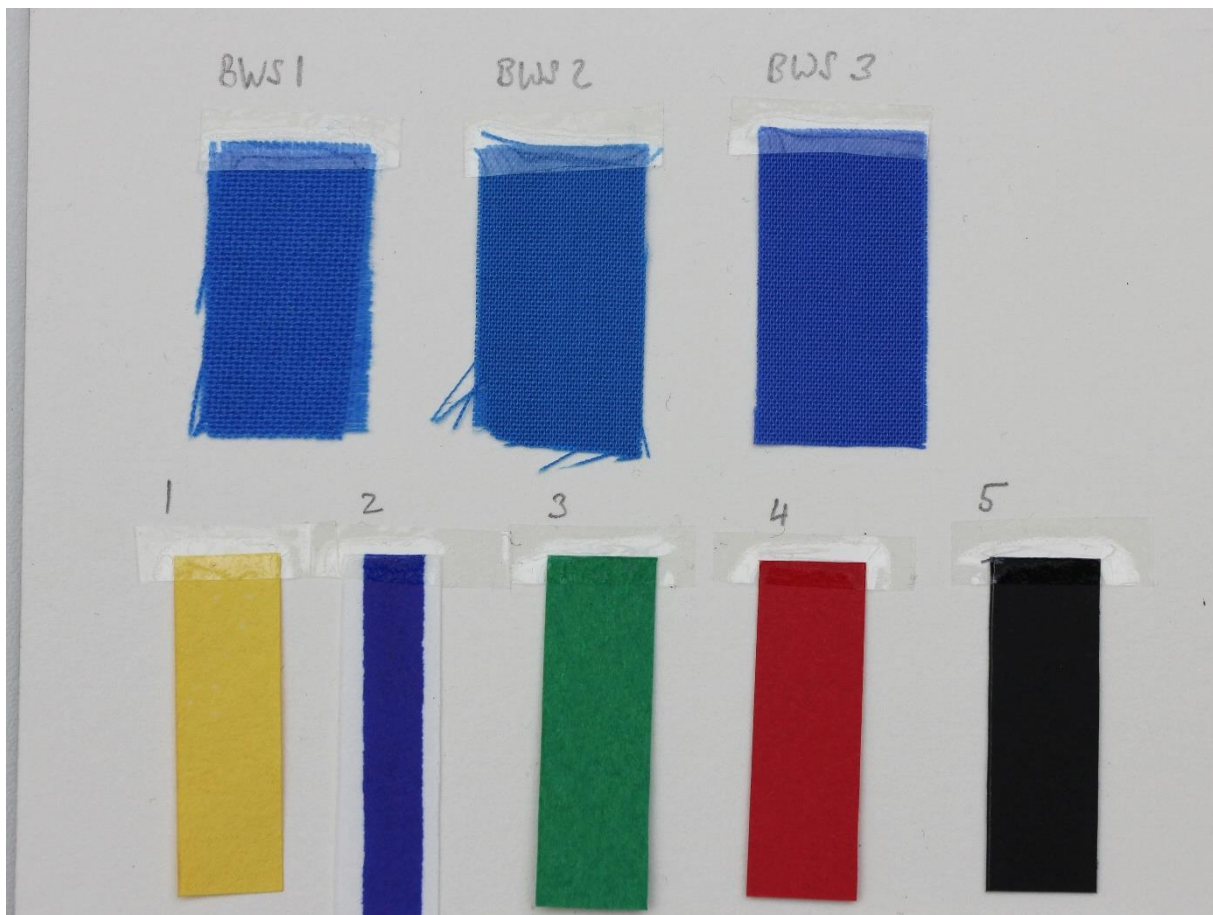
När instrumentet kalibreras mäts också effekt (watt) och ljusflöde (lumens). Med hjälp av arean kan då intensitet (W/m^2) och belysningsstyrka (lm/m^2 d.v.s. lux) beräknas. Efter varje ny kalibrering måste en ny uträkning av intensitet och styrka göras. Alla värden för effekt och ljusflöde vid kalibrering återfinns i bilaga 3. De är beräknade mellan våglängderna 375 nm och 800 nm.

Belysningsstyrkan och tiden används i sin tur för att fastställa mätningens luxtimmar, vilket är det värde som tillsammans med punktens förändring (ΔE_{00}) används i den jämförande grafen mellan ljuskällorna.

3.3 Prover

Analysmaterialet har satts samman av Bettina Sacher, doktorand vid University Collage London. Materialet har sedan sänts brevledes från London till Göteborg. Dessa består av tre yllelappar, BWS 1-3 (Blue Wool Standard), och fem pappersprover i färgerna gult, blått,

grönt, rött och svart (figur 10). Proverna har valts ut för att de enligt Bettina Sacher är "idealiska" för MFT test. Det vill säga, de är jämna, plana och opaka samt deras omfång för ljuskänsligheten spänner mellan BWS 1-3. Dessutom spänner urvalet av färger över det synliga ljusspektrumet. Det svarta pappret ingår för att ge en uppfattning om hur känslig spektrometern är. Pappersproverna är känsliga för förändringar i pH och därför har nitrilhandskar använts vid hanteringen av dem. För specifikation om vilka papper som ingår se bilaga 2. Det bör nämnas att försändelsen fastnade tre veckor på posten vilket skulle kunna påverka resultatet.

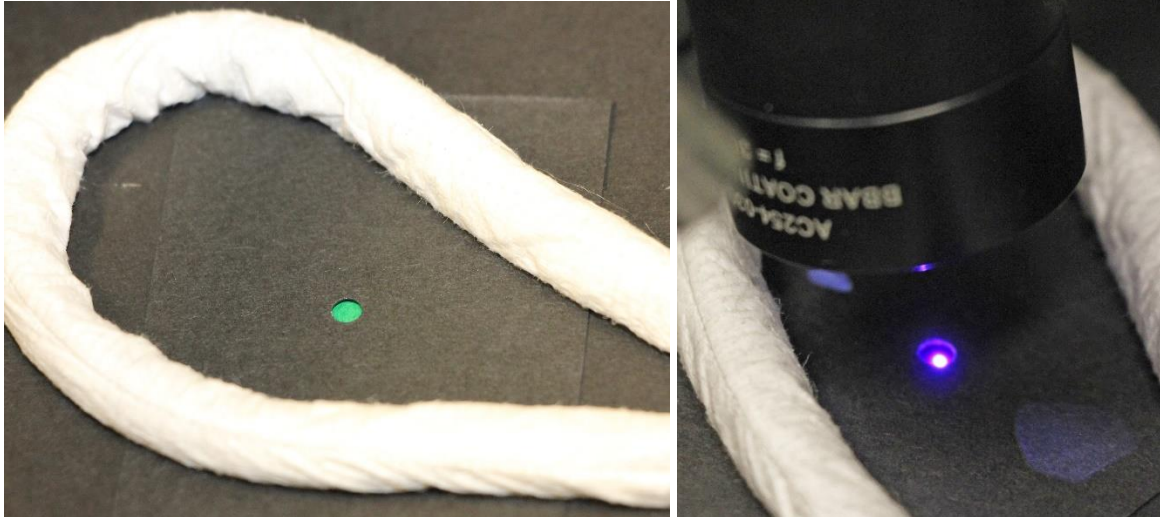


Figur 10. Proverna är fästa på en vit pappskiva. De består Blue Wool Standard 1-3 samt papper i färgerna gult, blått, grönt, rött och svart.

3.4 Genomförandet

Var enhet av provmaterialet belystes minst tre gånger med vardera lampan. Varje belysning pågick under 15 minuter och ny data har samlats in en gång per sekund. Mellan var tredje belysning kalibrerades utrustningen med hjälp av ett vitt referensprov bestående av bariumsulfat. En kamera har varit till hjälp för att placera ljusstrålen på rätt plats. Fokusering har sedan gjorts genom att justera avståndet mellan lins och mätyta. När maxvärde uppnåtts på den reflekterande kurvan är ljuset fokuserat.

För att inte kontaminera provmaterialet bars nitrilhandskar under försöken. Dessa byttes kontinuerligt. För att undvika att kringliggande material exponerades för ljus användes en avmaskningsram med ett 4 mm stort hål (figur 11 och 12). Rummet försänktes dessutom i mörker.



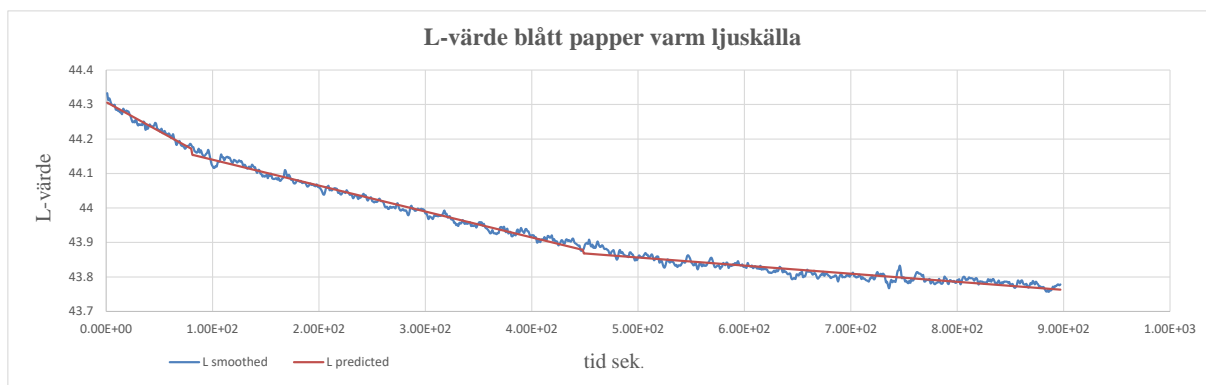
Figur 11 och 12. Som avmaskning användes en bit svart kartong med ett 4 mm stort hål.

3.5 Analytiskt hjälpmedel

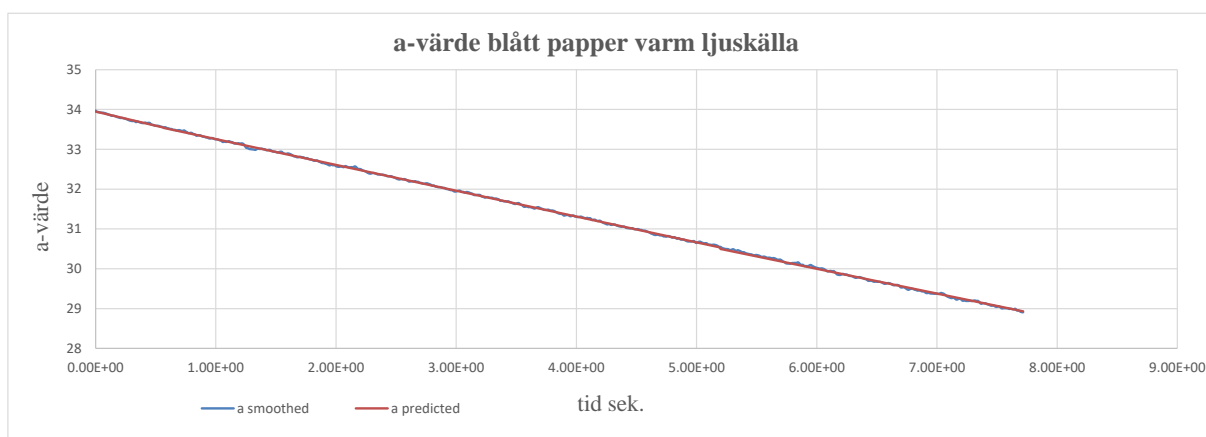
De erhållna värdena har sedan analyserats med hjälp av ett kalkylblad i Excel utvecklat av Jacob Thomas. Excelarket ger resultatet för både CIE $L^*a^*b^*$ ΔE_{76} och ΔE_{00} men endast det senare har använts vid de jämförande graferna. För uträkning av CIE $L^*a^*b^*$ ΔE_{00} se bilaga 4.

Resultat med extremvärden har uteslutits med hjälp av ett kalkylblad i Excel tillhandahållet av Jacob Thomas. Därefter har de kvarvarande mätvärdena lagts samman för att ge ett medelvärde som sedan använts i de slutgiltiga beräkningarna.

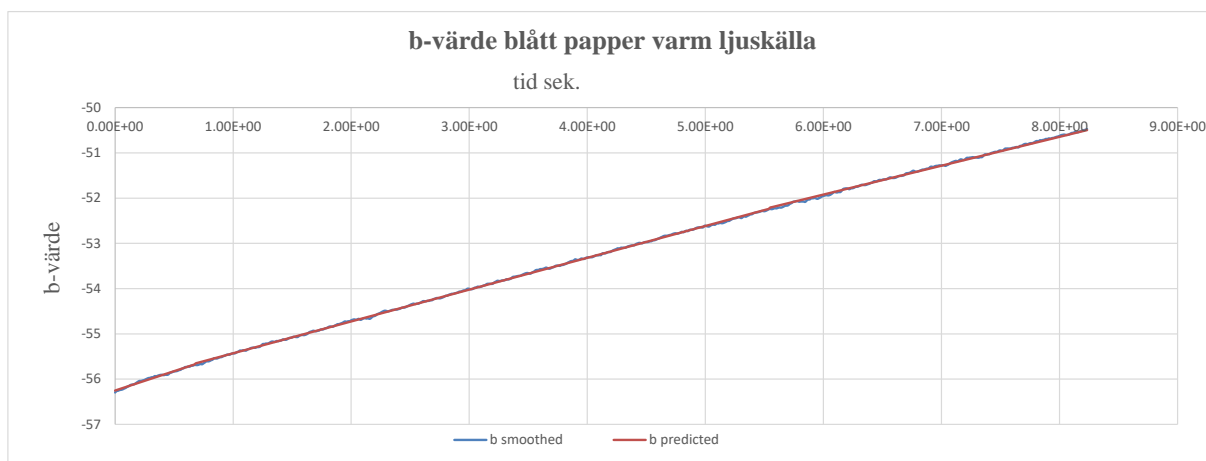
Varje uppmätt spektrum i de enskilda testen omvandlas till ett värde i form av CIE $L^*a^*b^*$. Dessa kan användas som koordinater i en graf där förändringen för vart och ett av variablerna kan studeras. "L" visar om färgen mörknar eller ljusnar. Värdet för "a" pekar ut förändring i rött/grönt och "b" i gult/blått. Nedan visas ett exempel från det blå pappret (figurerna 13, 14 och 15).



Figur 13. Kurvan för "L" sjunker och påvisar att färgen mörknar.

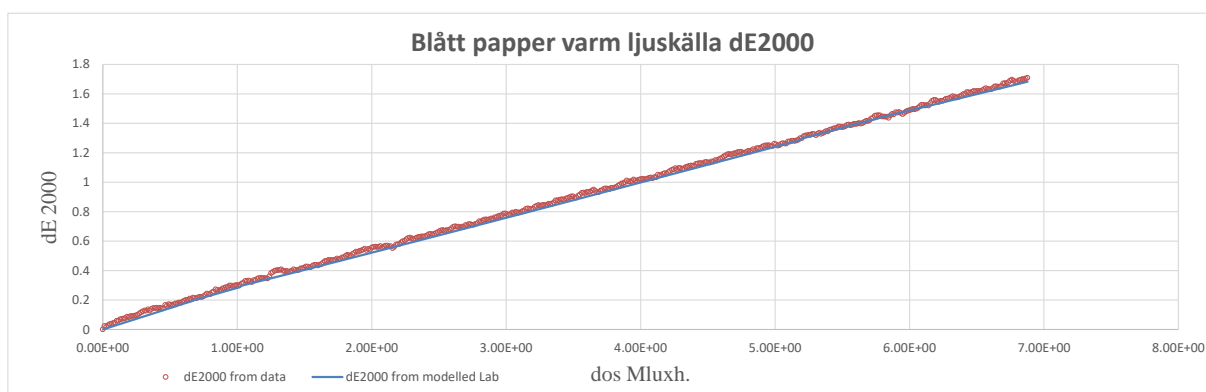


Figur 14. Grafen för "a" pekar nedåt och går då mot grönt.



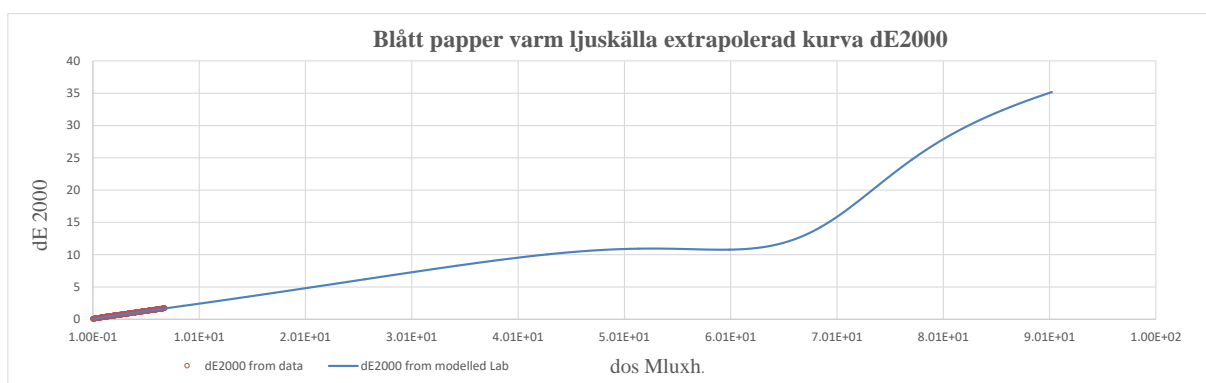
Figur 15. Eftersom värdet för "b" ökar visar det en förändring mot mer gult.

De tre värdena för CIE $L^*a^*b^*$ används för att kalkylera fram den totala färgförändringen. I kalkylbladet läggs också värdet för intensitet (W/m^2) och belysningsstyrka (lm/m^2) in (bilaga 3). Formeln för ΔE_{00} används sedan för att räkna ut färgförändringen (bilaga 4). Nedan visar en graf förhållandet mellan förändringen i förhållande till dosen ljus (figur 16). Informationen kan användas för att avgöra hur många luxtimmar materialet tål att exponeras för. Detta är värdefull kunskap i till exempel utställningssammanhang.



Figur 16. Grafen visar den totala förändringen i förhållande till ljusdosen.

Kalkylen kan ge en mer långtgående prognos och visa en extrapolerad kurva. Baserat på de data som erhållits kan den inlagda formeln förutse svängningar i färgförändringen som sker i förlängningen (figur 17).



Figur 17. Den förlängda kurvan ger en uppfattning om vad som händer bortom de uppmätta värdena.

3.6 Påverkande faktorer

Trots att förhållandena försökts göras så likvärdiga som möjligt finns ändå faktorer som kan påverka resultatet vid de olika microfadetesterna. Till exempel är tyget i BWS 1-3 av olika grovlek vilket är en möjlig påverkan av resultatet (se figur 18). Det är känt att spektralfördelningen i ljuskällan är en orsak till färgförändringar. Eftersom undersökningen syftar på att undersöka huruvida det gör skillnad i de förutsägelser som kan ges av ett microfadetest lämnas detta därhän i detta avsnitt.

Faktorer som skulle kunna påverka resultatet har delats in i två kategorier, den mänskliga faktorn och material/instrument.

Material/instrument:

Fel på lampan

Ojämn strömförsörjning

Brott på kablar

Fel på spektrometern

Spektrometern har fel specifikationer gällande bandvidd, intervall, omfång för våglängder

Brister i optiken

Materialets transparens och underlagets färg/reflektion påverkar mätningen

Testmaterialet/Ullen är ojämnt infärgad

Mänskliga faktorn:

Effekten är för högt eller lågt inställd

Dålig koppling/glapp i kabel mellan lamp och instrument eller instrument och spektrometer

Belysningspunkten dåligt fokuserad

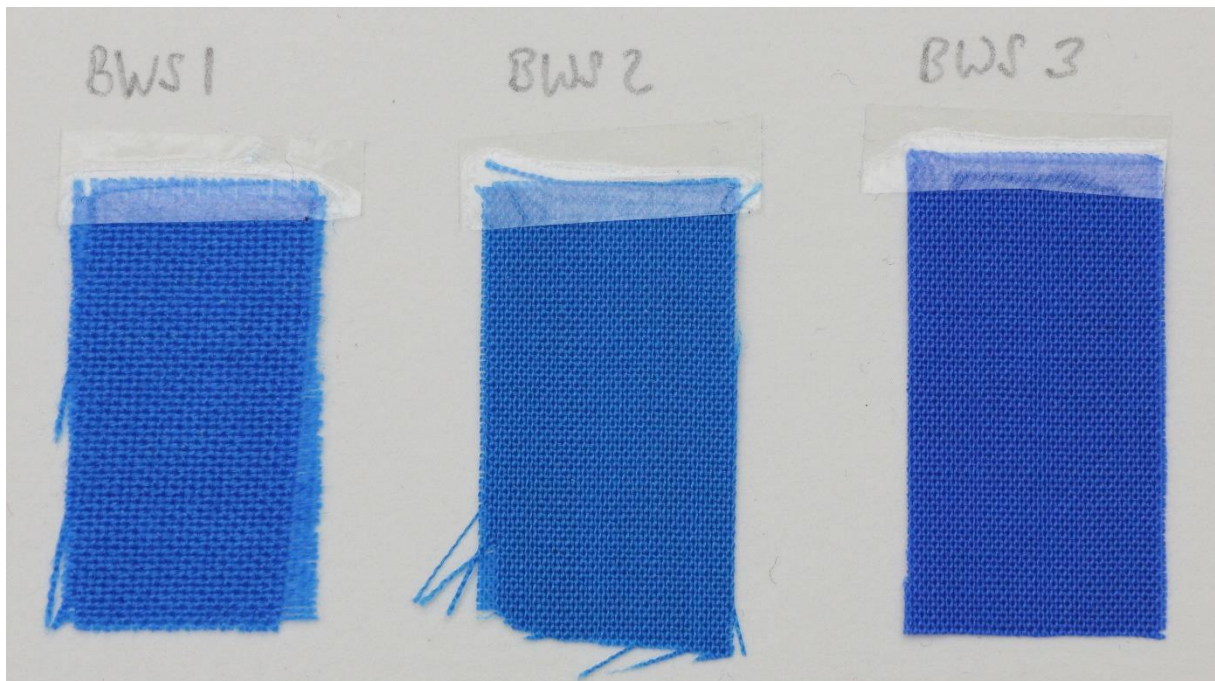
Instrumentet är felaktigt kalibrerat

Optiken alternativt materialet har förflyttat sig under testets gång

Mätpunkten hamnar på en ojämn yta som på sidan av en tråd i väven

Ytstrukturen och vinkeln på instrumentet är inkompatibla

Ströljus



Figur 18. Trådarna i de olika provlapparna för Blue Wool Standard är av skilda grovlek.

4. RESULTAT

Resultatet presenteras med hjälp av bilder och jämförande grafer men också i en lista med översiktsdata från varje specifik mätning. Även uträkningar av t-tester visas i slutet av avsnittet.

Nedan redogörs det för i vilken ordning de olika mätningarna utförts och även för byte av lampa. Detta görs för att det kan ha betydelse för resultatet. Byte av lampa medför en risk för att kopplingar inte sitter som de ska eller att lampan är dåligt uppvärmd. I omgång 1 har det utförts tre mätningar för varje provmaterial och lampa. För att komplettera har en andra omgång mätningar genomförts på vissa prover. Mellan 2-3 mätningar har gjorts på de utvalda proverna i omgång 2. Även en tredje omgång har genomförts men endast för BWS 2 och den kalla ljuskällan med tre mätningar.

Mätningarna har utförts i följande ordning:

8 maj

1. BWS 1 varmt ljus omgång 1
2. BWS 2 varmt ljus omgång 1
3. BWS 3 varmt ljus omgång 1

Byte av lampa

4. BWS 1 kallt ljus omgång 1
5. BWS 2 kallt ljus omgång 1

9 maj

6. BWS 3 kallt ljus omgång 1
7. Gult papper kallt ljus omgång 1

Byte av lampa

8. Gult papper varmt ljus omgång 1
9. Blått papper varmt ljus omgång 1
10. Grönt papper varmt ljus omgång 1
11. Rött papper varmt ljus omgång 1

11 maj

12. svart papper varmt ljus omgång 1

Byte av lampa

13. svart papper kallt ljus omgång 1
14. rött papper kallt ljus omgång 1
15. grönt papper kallt ljus omgång 1
16. blått papper kallt ljus omgång 1

4 juni

Byte av lampa

17. BWS 1 varmt ljus omgång 2
18. BWS 2 varmt ljus omgång 2
19. BWS 3 varmt ljus omgång 2
20. Gult papper varmt ljus omgång 2
21. Svart papper varmt ljus omgång 2

7 juni

Byte av lampa

22. BWS 1 kallt ljus omgång 2
23. BWS 2 kallt ljus omgång 2
24. BWS 3 kallt ljus omgång 2
25. Blått papper kallt ljus omgång 2

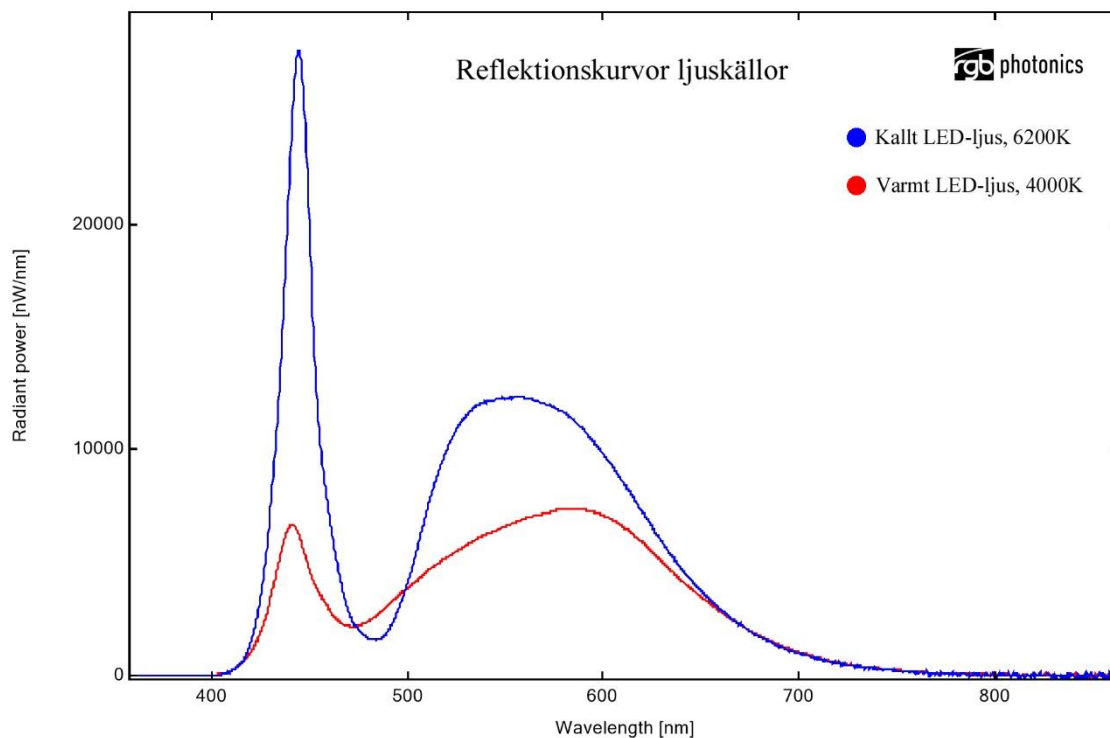
Byte av lampa

26. Blått papper varmt ljus omgång 2

Byte av lampa

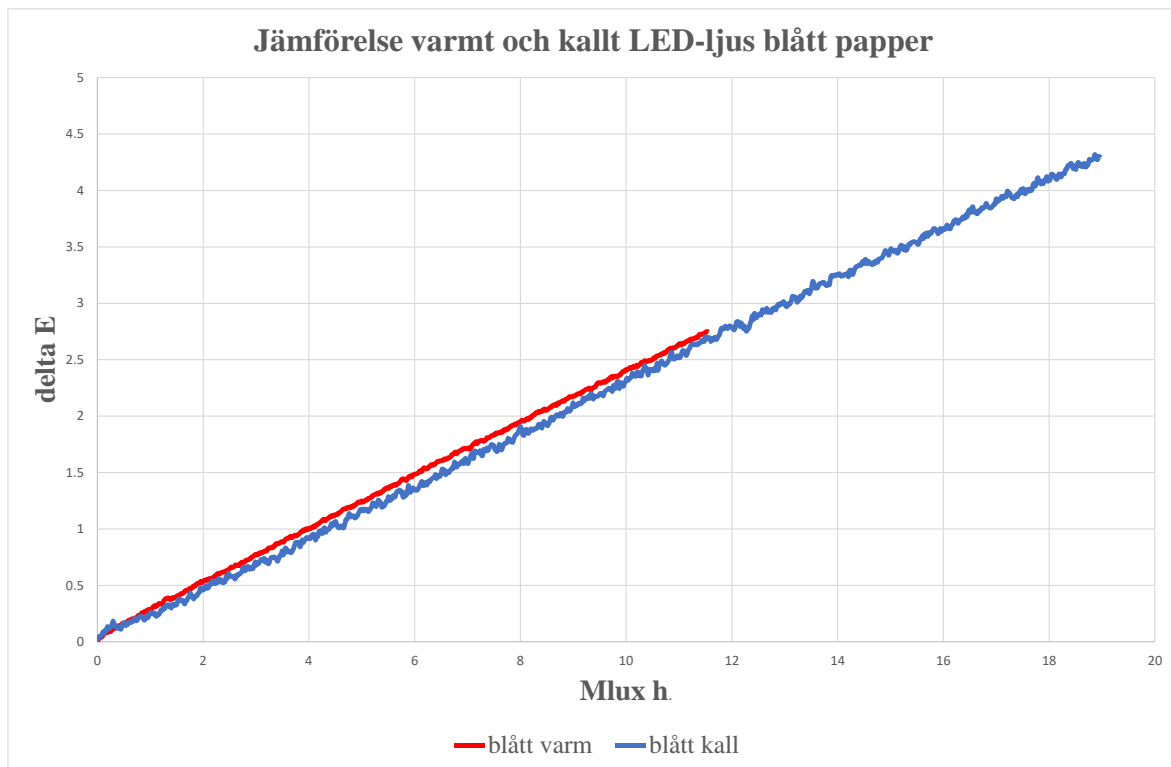
27. BWS 2 kallt ljus omgång 3

En jämförelse mellan reflektionskurvorna för de båda ljuskällorna visar att båda har två toppar. En smalare i den blå regionen och en bredare i den gröngula (och orangea) zonen. Topparna på den varma ljuskällan är jämnhöga. För den kalla ljuskällan visar toppen vid de blå våglängderna ungefär den dubbla höjden vilket indikerar att den är betydligt energirikare (se figur 19). Det synliga färgspektrumets våglängder brukar vanligen delas upp enligt följande: violett 380-435 nm, blått 435-500 nm, cyan 500-520 nm, grönt 520-565 nm, gult 565-590 nm, orange 590-625 nm och rött 625-740 nm.



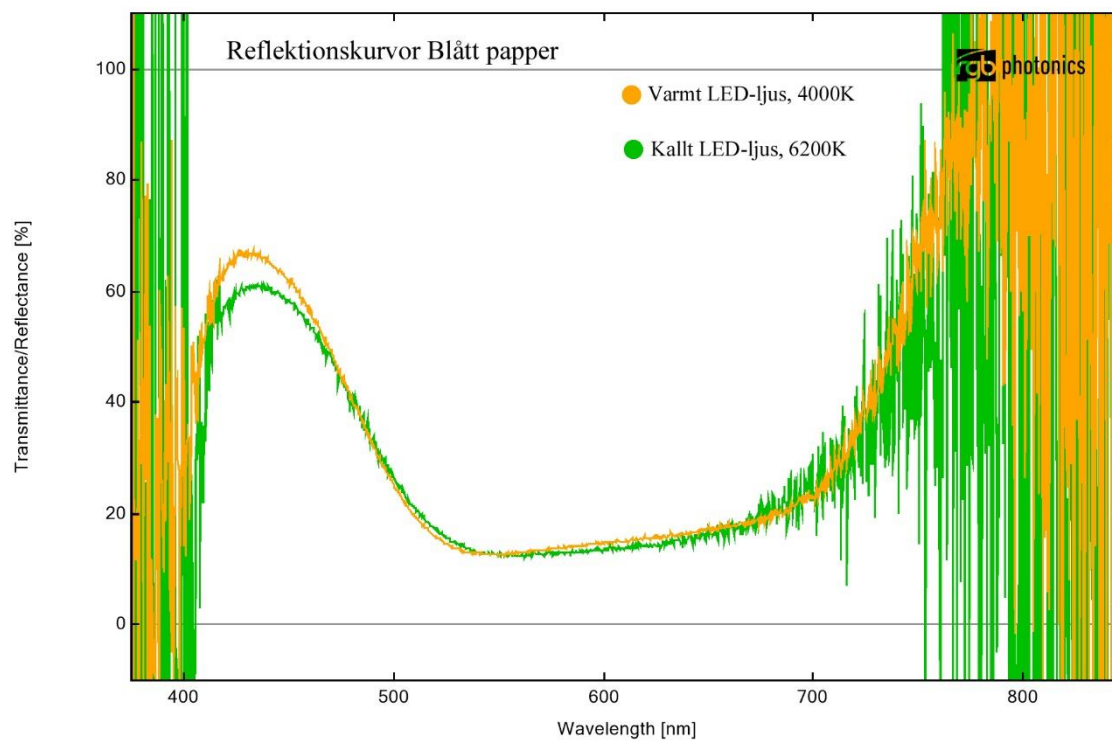
Figur 19. En jämförelse av reflektionskurvorna för det kalla och det varma ljuset visar att de båda har toppar inom samma våglängdsområde. Det kalla ljuset har dock en mycket högre topp i den blå regionen (435-500 nm) jämfört med den gröna/gula/orangea regionen (520-625 nm).

De båda ljuskällorna har gjorts så likvärdiga som möjligt genom att justera strömstyrkan för att påverka effekten. Trots det visar den kalla ljuskällan en högre intensitet (Se bilaga 3). Därför uppnår den ett större antal luxtimmar i förhållande till den tid som mätningarna pågår vilket kan ses nedan i figur 20. Jämförelsen mellan de båda ljuskällorna sker således mellan 0 och 10 Mlux timmar.



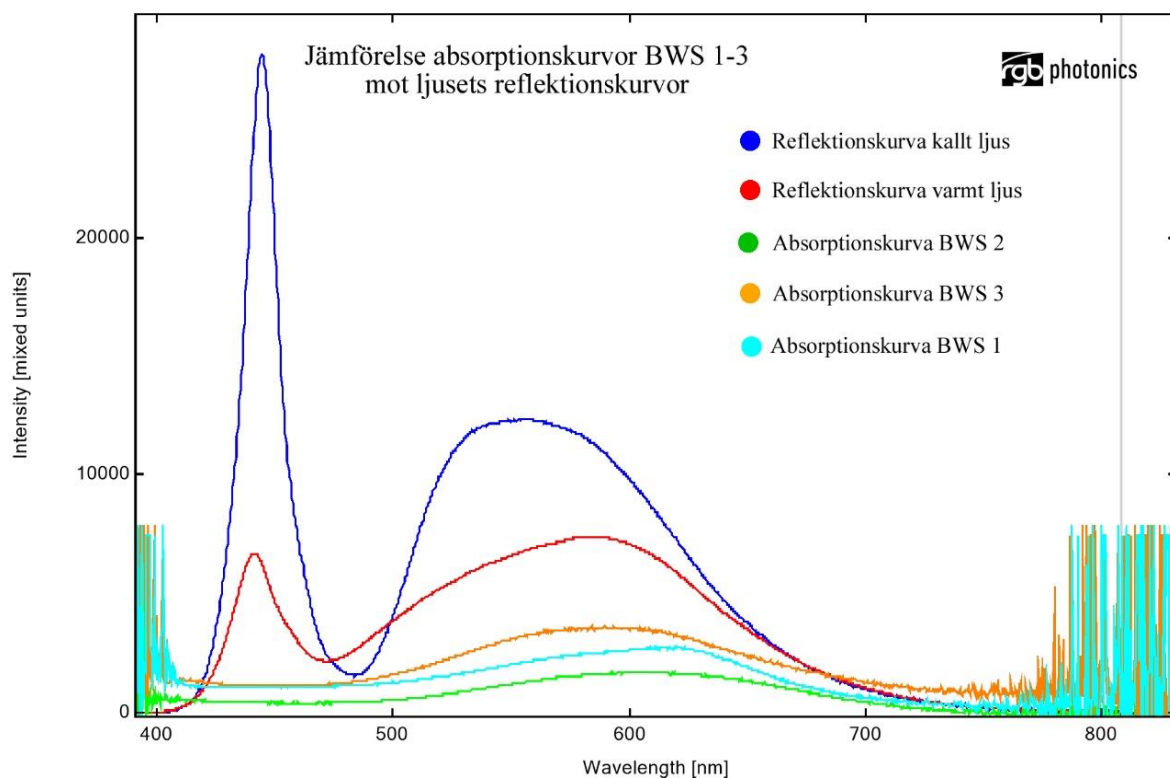
Figur 20. Eftersom intensiteten är högre för den kalla ljuskällan ger det fler luxtimmar under de 15 minuter mätningen pågår.

Reflektionskurvan är den samma för proven oavsett ljuskälla. Nedan visas en bild av kurvorna för båda ljuskällorna av det blå pappret (figur 21). Därför har bara kurvorna för det varma ljuset använts i figurer som visualiserar reflektions- eller absorptionskurvor för proverna.



Figur 21. En jämförelse av det blå papprets reflektionskurvor för båda det varma och kalla ljuset visar att de liknar varandra.

Absorptionskurvan visar vilka våglängder som absorberas av provet. De är intressanta för att de absorberade våglängderna kan ge upphov till färgförändring. I figur 22 visas absorptionskurvorna för BWS 1-3. Bilden visar att den blå färgen absorberar i den grön/gul/orange delen av spektrumet där båda ljuskällorna har en topp. Det går inte att säga från bilden ifall någon av dem är högre än någon annan då de är modifierade för att synas ihop med ljuskällornas reflektionskurvor.



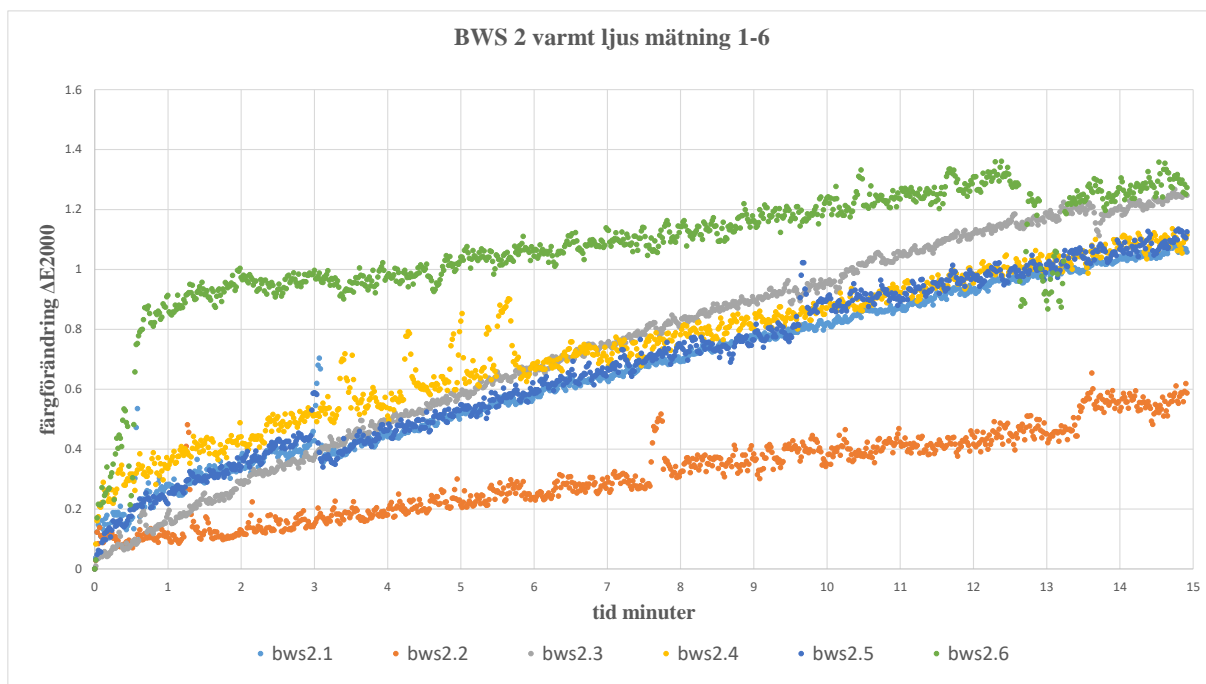
Figur 22. Absorptionskurvorna för BWS 1-3 i jämförelse med ljuskällornas reflektionskurvor. Samtliga absorberar i spektrumets område för grön/gul/orange. Här har också båda ljuskällorna en topp.

Nedan presenteras en lista med översiktsdata från samtliga mätningarna (tabell 1). Tabellen visar $L^*a^*b^*$ -värdena både vid start och slut samt en uträkning av ΔE_{00} . Här har också de mätningar som gett extremvärden markerats i rött. Dessa har sedan uteslutits ur medelvärdet som använts för de jämförande graferna. Data går inte att jämföra rakt av eftersom de olika ljuskällornas intensitet ger skillnad i luxtimmar och därmed färgförändring i förhållande till tid. Däremot går det att se tendenser inom varje gruppering. Å andra sidan krävs all data för att kunna sortera ut extremvärden.

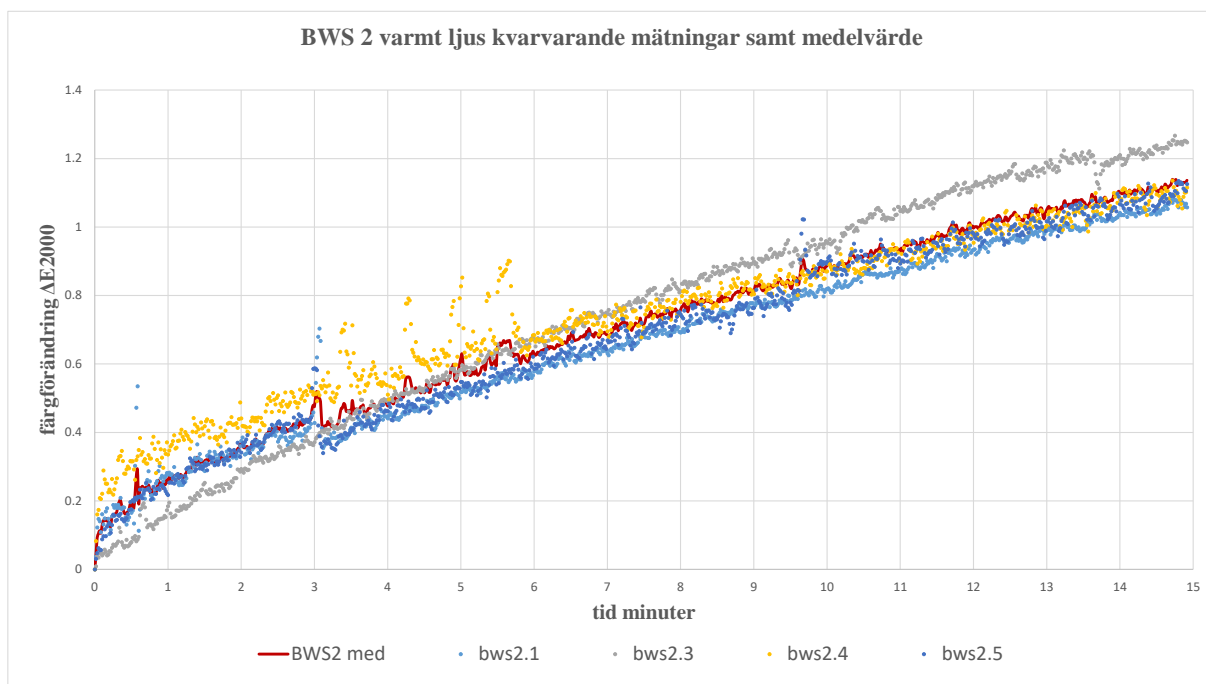
Tabell 1. Översikt insamlad data. De värden som uteslutits för de jämförande graferna är rödmarkerade.

		varmt ljus							kallt ljus						
		L start	a start	b start	L final	a final	b final	de00	L start	a start	b start	L final	a final	b final	de00
BWS1	1	50.47165	-2.58506	-31.0021	52.49363	-5.33342	-23.3874	3.502234	55.99564	-5.16147	-33.2059	59.38082	-7.27995	-24.2717	4.455584
	2	66.96035	-4.08796	-33.5996	69.31943	-5.64284	-26.3347	2.991924	62.69557	-5.96593	-29.4594	66.20038	-7.07344	-20.5162	4.7223
	3	48.06303	-1.55362	-25.9899	48.8863	-2.9123	-22.7497	1.634361	62.49932	-5.98499	-30.1603	66.53091	-7.57267	-21.687	4.821026
	4	49.95145	-2.00985	-37.9743	51.02941	-5.09365	-31.7488	2.10775	67.76408	-7.43009	-28.9398	71.01218	-8.83008	-19.5916	4.93783
	5	57.88389	-4.08278	-34.8689	60.86304	-6.1914	-28.2946	3.351988	45.56939	0.458045	-32.6856	48.97474	-3.9163	-24.3146	4.486854
	6	50.30819	-3.86994	-30.0882	52.59857	-5.08864	-24.6732	2.9824	56.38651	-4.22214	-34.0756	59.09236	-6.8807	-25.6927	3.799714
BWS2	1	63.06052	-6.0833	-35.4205	62.99747	-5.71019	-32.5678	1.07892	32.60778	-215.73	308.0761	33.67566	-86.0014	107.1513	19.2121
	2	33.50159	4.206355	-42.6054	33.34387	4.018833	-40.9425	0.578379	64.91737	-2.39251	-38.7494	66.48619	-9.85735	-26.4982	5.404501
	3	66.72739	-5.27728	-37.5734	67.58173	-4.99369	-34.7337	1.233589	56.97192	-17.6884	-18.0401	57.07774	-24.6399	-3.43576	11.38237
	4	62.0193	-7.53098	-36.2114	62.43306	-6.48346	-34.343	1.144923	40.19126	1.649763	-40.5295	40.65822	-2.45032	-34.3664	1.790866
	5	60.7743	-5.10854	-38.5724	60.5662	-4.19903	-36.6065	1.130509	36.60822	4.15246	-41.28	36.76925	-1.18855	-34.9292	2.183566
	6	45.78516	-4.95658	-30.9057	44.95792	-4.23646	-29.1838	1.273432	42.77782	-0.12665	-39.3821	45.61511	-3.08414	-34.6319	2.981769
	7								47.26698	-2.09424	-37.286	52.82925	-1.6688	-32.1001	5.94895
	8								48.29653	-1.3378	-37.7039	50.76951	-1.1412	-33.6849	2.93088
	9								62.88634	-7.36958	-33.7467	64.13255	-6.62185	-29.8268	1.893907
BWS3	1	31.94732	15.76114	-48.8521	32.28626	15.55172	-48.3297	0.307883	36.63089	11.23032	-45.6598	40.93085	7.792719	-43.3063	4.022331
	2	34.10841	16.14902	-50.3289	34.34494	16.09028	-49.988	0.233107	48.59407	7.00415	-43.1408	48.19101	6.954067	-42.8547	0.411123
	3	49.55463	10.22355	-48.0838	50.15777	10.07189	-47.588	0.617898	61.48562	3.368821	-40.7672	63.33906	2.25462	-38.9488	1.624514
	4	30.63401	16.06863	-47.9891	30.75742	16.3943	-48.1664	0.179669	49.2352	8.311433	-42.1864	47.19228	9.23027	-41.9636	2.185157
	5	51.70462	7.864561	-44.4452	50.56673	8.333453	-44.177	1.216315	55.95637	7.788992	-44.6939	53.81373	7.334208	-42.8116	2.109829
	6	38.25692	13.24794	-48.6335	38.27782	13.23923	-48.5751	0.028676	53.65476	9.77073	-47.7611	57.4967	6.3507	-45.487	3.932645
Gult pap.	1	96.29546	-5.19606	55.43179	96.25661	-3.66732	38.77579	5.345564	99.06482	-6.05318	56.5575	100.0793	-4.91272	39.09953	5.579684
	2	94.89149	-2.92651	56.94675	95.59911	-2.63671	44.03233	3.974444	97.5966	-6.31662	53.82153	98.68972	-4.54685	35.41935	6.155597
	3	95.8368	-5.18494	59.95203	96.49464	-4.43569	42.04417	5.465534	98.05456	-5.51914	53.13248	99.33652	-3.9565	34.68104	6.248605
	4	99.1774	-5.74505	56.87365	99.91597	-3.80808	37.65561	6.1705							
	5	101.1503	-5.47218	52.97741	102.1442	-3.51253	34.60637	6.223354							
Blått pap.	1	47.63113	31.92169	-54.0848	46.97622	24.98421	-46.6082	2.687813	47.38156	26.37002	-51.0407	48.15124	16.51864	-38.9056	4.10847
	2	40.03025	37.30065	-58.2647	39.20396	29.55108	-50.4056	2.826658	47.09161	29.00667	-52.3744	47.32492	18.2048	-39.8272	4.334432
	3	45.33722	32.69527	-56.5363	45.15484	25.20429	-48.2339	2.768045	43.61287	33.30769	-53.8895	42.72223	23.22888	-43.5869	3.904745
	4	40.71569	35.19465	-58.4666	40.2301	26.45102	-48.9592	3.190865	46.96047	28.76667	-52.9962	47.83353	16.97657	-39.539	4.702153
	5	47.03114	28.71862	-51.9647	46.83614	21.92167	-43.9599	2.709472	46.9934	29.49108	-51.1157	46.45495	18.55886	-38.9913	4.43739
Rött pap.	1	60.92791	60.20912	28.60663	60.62433	56.82614	26.15474	1.163719	61.77957	60.47114	27.15759	61.37278	55.2187	23.29523	1.863394
	2	59.51963	60.00917	26.74752	59.21405	56.11122	24.19776	1.291388	61.97598	58.74699	29.20406	61.62339	54.09786	26.88699	1.387861
	3	59.46431	60.95848	28.91293	59.22795	57.05427	26.56419	1.197655	64.17999	57.27705	26.56302	64.90357	52.89553	23.5885	1.602867
Grönt pap.	1	70.30132	-47.931	23.70132	69.88564	-45.3685	21.3106	1.171769	67.81222	-46.046	25.16333	66.69949	-42.2323	21.04788	2.079094
	2	69.48163	-42.6794	22.82996	69.11385	-40.2451	20.98263	1.042786	63.81956	-47.9568	23.97593	63.04527	-44.5261	20.83192	1.632702
	3	65.31565	-48.0667	24.6913	64.63157	-45.8768	22.98234	1.018797	68.88815	-43.1427	26.53648	68.54774	-40.4971	23.63154	1.332741
Svart pap.	1	36.40328	1.258826	0.243624	36.64086	1.693155	-0.13308	0.724888	37.2556	1.265934	0.810881	37.40047	1.233921	1.40372	0.585469
	2	36.19354	0.64763	0.501091	36.53281	1.172429	-0.00645	0.9428	36.70244	1.180258	1.194929	37.06286	1.767764	0.758646	0.975047
	3	38.69538	1.884775	-0.19264	38.90408	1.977383	-0.02813	0.268362	36.9311	0.751263	1.318964	37.3363	1.267295	1.023129	0.869297
	4	38.79529	1.540184	2.414458	39.63279	2.077433	1.526131	1.364998							
	5	39.47673	0.450564	2.010286	39.97469	0.992813	1.848994	0.917481							

Extremvärden har uteslutits genom att matematiskt räkna ut standardavvikelse och kvartilavstånd för spridningsmättet vid varje tidpunkt (sekund) av mätningen. Detta har gjorts med hjälp av kalkylprogrammet Excel. Det går inte alltid att se visuellt men när en kurva sticker ut exceptionellt går det också att utesluta ett extremvärde utifrån en graf. I exemplet nedan för BWS 2 och den varma ljuskällan (figur 23) syns det tydligt att mätning två och sex avviker från de andra. De utesluts därför i det medelvärde som används för de jämförande graferna för varje material (figur 24).



Figur 23. Grafen visar samtliga mätningar för BWS 2. Mätning 2(orange) och 6(grön) avviker och betraktas som extremvärde. Dessa utesluts därför vid de slutliga beräkningarna.

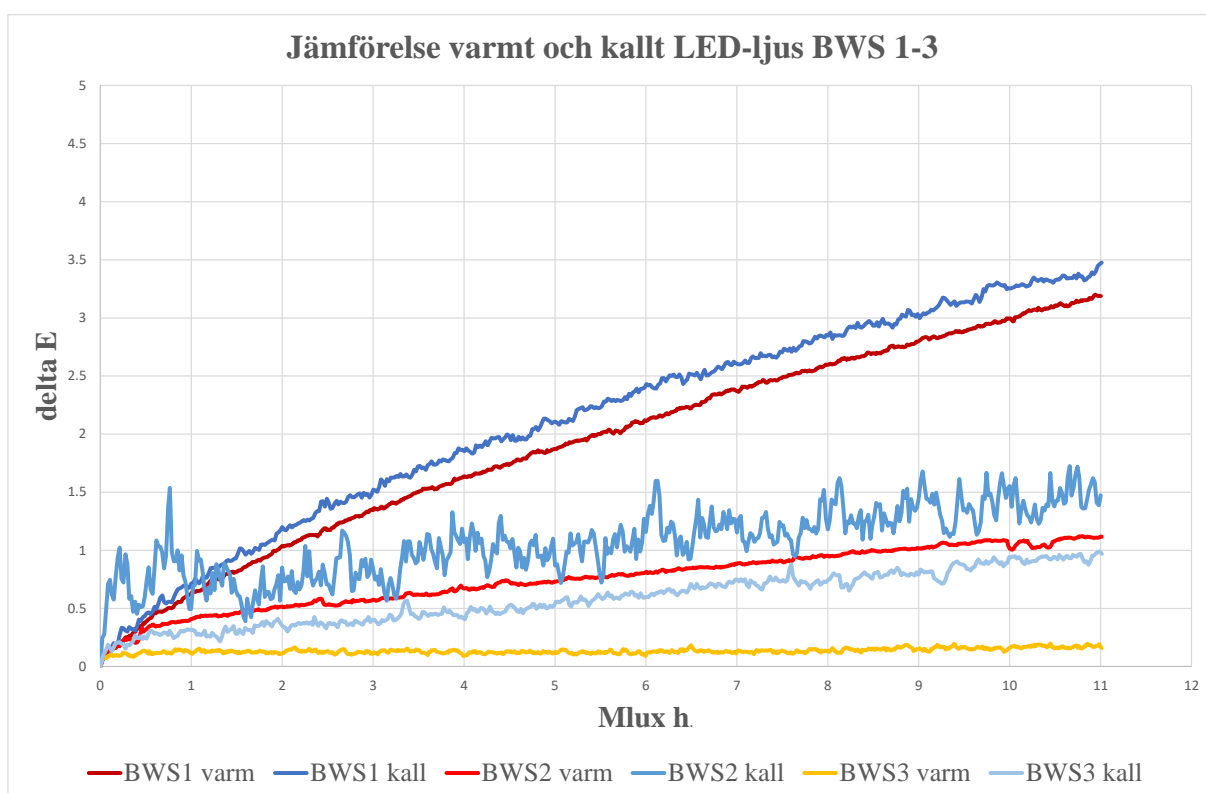


Figur 24. Graf med de värden som använts för beräkningarna av ett medelvärde. Medelvärdet visas i rött. Detta har sedan använts i de jämförande graferna för varje material.

I följande grafer görs en jämförelse av det kalla och det varma ljuset för varje provmaterial. X-axeln visar Mlux timmar och y-axeln färgförändringen i ΔE_{00} . Mlux timmar har valts istället för tid för att resultaten från de båda ljuskällorna ska bli jämförbara. Resultaten för

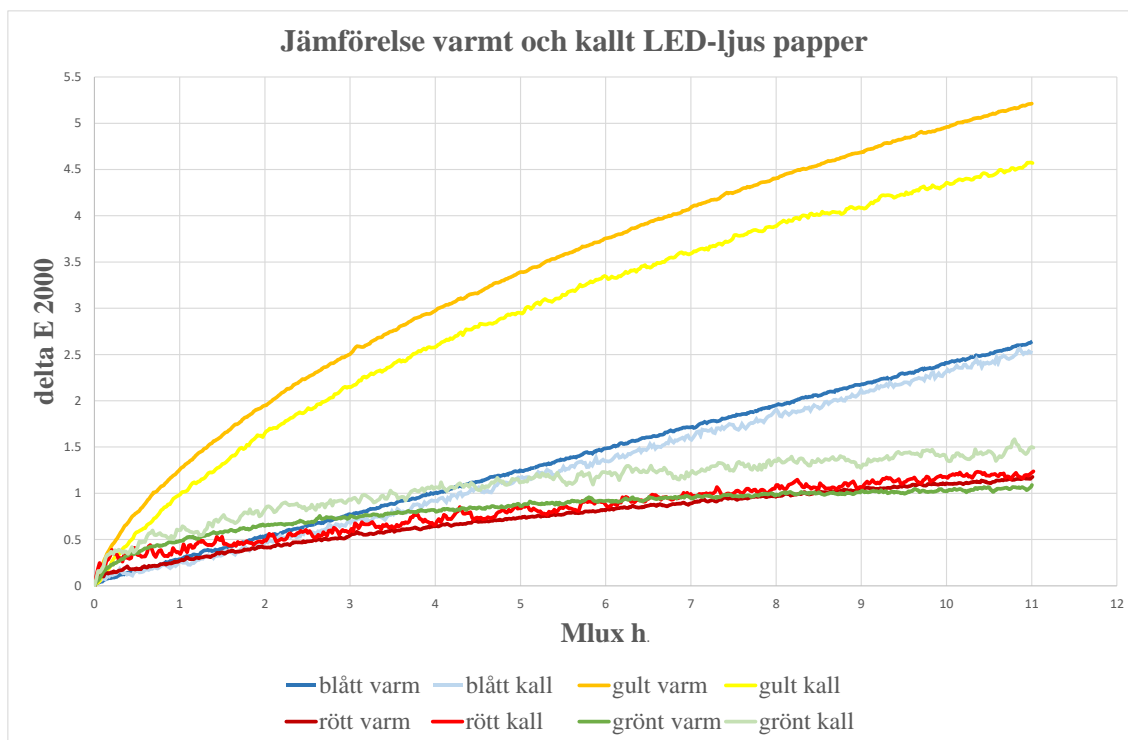
Blue Wool Standard har lagts samman i en graf (figur 25) liksom pappren i en annan graf (figur 26). Det svarta pappret ligger i en separat graf (figur 27).

I samtliga jämförelser för BWS 1-3 ligger kurvan för den kalla ljuskällan högre än kurvan för den varma ljuskällan. Trots åtskillnaden för ljuskällorna följs kurvorna för kallt och varmt ljus åt för BWS 1 och 2. Det gäller däremot inte för BWS 3 utan här skiljer sig vinkeln mellan ljuskällorna åt i större grad. Eftersom varje sektion av Blue Wool Standard kräver dubbelt så stor exponering som den föregående betyder det att BWS 3 inte uppträder som förväntat. Den kalla ljuskällan ger ett för högt värde medan den varma ett för lågt. Förändringstakten är dock fortfarande låg beträffande de båda ljuskällorna för BWS 3.



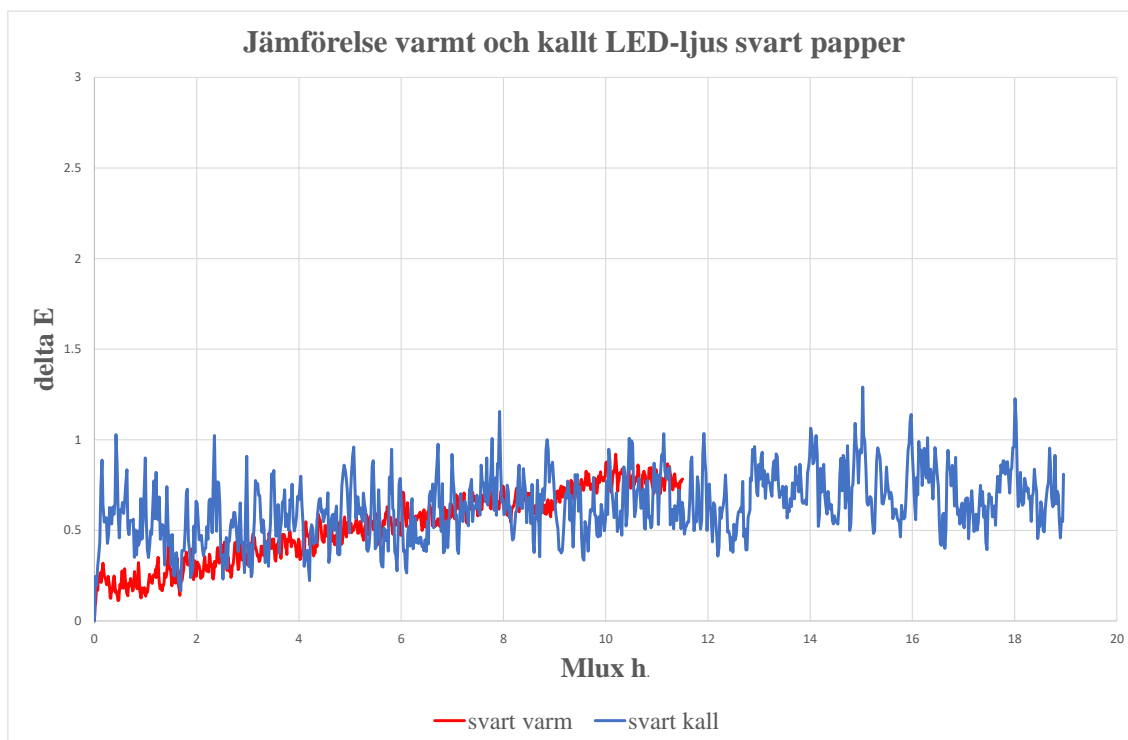
Figur 25. Grafen visa kurvorna för BWS 1-3 där resultatet från båda ljuskällorna jämförs.

När det gäller pappren skiljer sig utseendet på kurvorna mer än de gör för BWS. De olika ljuskällorna för det röda och det blå pappret ligger i det närmaste i linje med varandra (figur 26). De ger alltså samma resultat vid mätningen oavsett ljuskälla. Det blå pappret är dock ljuskänsligare än det röda eftersom kurvan har en brantare lutning. Ljushårdigheten för det gröna pappret ligger på ungefär samma nivå som det röda. Här delar sig kurvorna något men följer i princip samma form. Liksom vid BWS ger det kalla ljuset en något högre kurva. För det gula pappret är det tvärtom och den varma ljuskällan ger den högre kurvan. Den gula färgen är betydligt mer ljuskänslig, än de andra färgämnen, och kurvorna sticker i höjden väldigt snart efter start men planar ut något efter hand. Dessa linjer följer också varandra i formen, liksom de andra kurvorna gör, men avståndet dem emellan ökar kontinuerligt mer markant än för övriga jämförelser.



Figur 26. Grafen visar båda ljuskällornas jämförande kurvor för de gula, blå, gröna och röda pappren.

Den kalla ljuskällan uppvisar samma tendenser för det svarta pappret som i BWS 2, det vill säga att värdena studsar upp och ner (figur 25 och 27). Fler mätningar kunde ge ett jämnare resultat och en mer lättläst kurva. Eftersom det svarta pappret var utvalt endast för att få en uppfattning om hur känslig spektrometern är (Informant 1) kommer resultatet lämnas därhän.



Figur 27. Jämförande graf för det svarta pappret. Värdena för den kalla ljuskällan studsar upp och ner.

T-tester har utförts för att fastställa om skillnaderna mellan ljuskällorna är signifikanta eller inte. De har utförts som ett tvåsidigt test för att utröna om de båda populationerna av mätvärden har lika fördelning med hjälp av Excel. T-testet har utförts som en nollhypotes med ett P-värde på 5 %. T- värdet är förhållandet mellan skillnaden för två grupper och skillnaden inom gruppen. P-värdet är sannolikheten för att provdata inträffade av en slump. För att nollhypotesen ska förkastas gäller att det negativa kritiska t-värdet är större än t-kvoten eller att det positiva kritiska t-värdet är mindre än t-kvoten (Statistics How To 2018).

För varje material har minst fyra t-test utförts utom för det blå och röda pappret där bara två tester gjorts. Mätdata har valts efter Mlux timmar och för varje separat mätning. Medelvärdet har inte använts då T-testet i sig beräknar ett medelvärde. Eftersom det finns ett begränsat antal mätningar för varje material är t-testerna uträknade på mellan 3 till 5 värden. Punkter som valts är 0.5, 1, 5 och 10 Mlux timmar. I exemplet nedan för det gröna pappret (tabell 2) visar uträkningarna att skillnaderna mellan de båda populationerna är slumpmässig. Värdet för t-kvoten är större än det negativa t-kritiska värdet och mindre än det positiva i samtliga beräkningar.

Tabell 2. T-test för det gröna pappret. Uträkningarna visar att det inte är någon signifikativ skillnad mellan de båda ljuskällorna då t-kvoten ligger mellan det negativa och positiva t-kritiska värdet. Dessa båda värden har markerats med ljusgrönt i tabellen.

grönt papper t-test

0.5 Mlux	1	2	3
varm	0.436773	0.318713	0.306469
kall	0.589444	0.296946	0.35745

10 Mluxh	1	2	3
varm	1.084772	0.975282	0.999882
kall	1.663058	1.270504	1.14685

5 Mluxh	1	2	3
varm	0.9429	0.797478	0.847405
kall	1.430894	1.112712	0.825206

1 Mluxh	1	2	3
varm	0.556247	0.433682	0.46954
kall	0.838823	0.44501	0.524284

t-test: Två sampel antar lika varians

0.5 Mlux h.	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	0.353985	0.414613
Varians	0.005178	0.02384
Observationer	3	3
Parad varians	0.014509	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	4	
t-kvot	-0.61646	
P(T<=t) ensidig	0.285473	
t-kritisk ensidig	2.131847	
P(T<=t) tvåsidig	0.570946	
t-kritisk tvåsidig	2.776445	

t-test: Två sampel antar lika varians

10 Mlux h.	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	1.019979	1.360137
Varians	0.0033	0.072643
Observationer	3	3
Parad varians	0.037972	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	4	
t-kvot	-2.13795	
P(T<=t) ensidig	0.049658	
t-kritisk ensidig	2.131847	
P(T<=t) tvåsidig	0.099316	
t-kritisk tvåsidig	2.776445	

t-test: Två sampel antar lika varians

5 Mlux h.	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	0.862594	1.122937
Varians	0.00546	0.091793
Observationer	3	3
Parad varians	0.048626	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	4	
t-kvot	-1.44596	
P(T<=t) ensidig	0.11086	
t-kritisk ensidig	2.131847	
P(T<=t) tvåsidig	0.221721	
t-kritisk tvåsidig	2.776445	

t-test: Två sampel antar lika varians

1 Mlux h.	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	0.486489	0.602706
Varians	0.003971	0.043385
Observationer	3	3
Parad varians	0.023678	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	4	
t-kvot	-0.925	
P(T<=t) ensidig	0.20366	
t-kritisk ensidig	2.131847	
P(T<=t) tvåsidig	0.407319	
t-kritisk tvåsidig	2.776445	

För samtliga material utom det gula pappret gav t-testerna att skillnaden mellan ljuskällorna var försumbar. En brytpunkt, för var det gör skillnad eller inte, räknades ut. Den ligger redan så lågt som mellan 0,6 och 0,7 Mlux timmar (tabell 3). BWS 1 som också är ljuskänsligt visade ingen signifikativ skillnad mellan ljuskällorna (tabell 4).

Tabell 3. T-testerna för det gula pappret visar att brytpunkten ligger mellan 0,6 och 0,7 Mlux timmar. Värdet för t-kvot och t-kritiska värdet har markerats med ljusgrönt i tabellen.

gult papper t-test

0.5 Mluxh	1	2	3	4
varm	0.663769	1.206345	0.984788	0.728077
kall	0.546062	0.589034	0.597371	

10 Mluxh	1	2	3	4
varm	4.884005	5.059478	5.834239	5.893396
kall	4.088886	4.441071	4.54333	

5 Mluxh	1	2	3	4
varm	3.236302	3.703205	4.055155	3.925304
kall	2.751584	2.969778	3.127324	

1 Mluxh	1	2	3	4
varm	1.115625	1.689651	1.537845	1.298288
kall	0.94967	0.975252	1.0406	

0.6 Mluxh	1	2	3	4
varm	0.741451	1.366262	1.131008	0.863605
kall	0.578138	0.662024	0.727	

0.7 Mluxh	1	2	3	4
varm	0.917546	1.399956	1.236259	0.971712
kall	0.723816	0.715796	0.770188	

t-test: Två sampel antar lika varians

0.5 Mluxh	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	0.895745	0.577489
Varians	0.062109	0.000758
Observationer	4	3
Parad varians	0.037568	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	5	
t-kvot	2.149842	
P(T<=t) ensidig	0.042131	
t-kritisk ensidig	2.015048	
P(T<=t) tvåsidig	0.084262	
t-kritisk tvåsidig	2.570582	

t-test: Två sampel antar lika varians

10 Mluxh	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	5.41778	4.357762
Varians	0.270982	0.056835
Observationer	4	3
Parad varians	0.185323	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	5	
t-kvot	3.223961	
P(T<=t) ensidig	0.011681	
t-kritisk ensidig	2.015048	
P(T<=t) tvåsidig	0.023362	
t-kritisk tvåsidig	2.570582	

t-test: Två sampel antar lika varians

5 Mluxh	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	3.729992	2.949562
Varians	0.129442	0.035602
Observationer	4	3
Parad varians	0.091906	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	5	
t-kvot	3.370578	
P(T<=t) ensidig	0.009939	
t-kritisk ensidig	2.015048	
P(T<=t) tvåsidig	0.019877	
t-kritisk tvåsidig	2.570582	

t-test: Två sampel antar lika varians

1 Mluxh	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	1.410352	0.988507
Varians	0.064562	0.002199
Observationer	4	3
Parad varians	0.039617	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	5	
t-kvot	2.774955	
P(T<=t) ensidig	0.019568	
t-kritisk ensidig	2.015048	
P(T<=t) tvåsidig	0.039135	
t-kritisk tvåsidig	2.570582	

t-test: Två sampel antar lika varians

0.6 Mluxh	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	1.025582	0.655721
Varians	0.078048	0.00557
Observationer	4	3
Parad varians	0.049057	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	5	
t-kvot	2.186403	
P(T<=t) ensidig	0.04023	
t-kritisk ensidig	2.015048	
P(T<=t) tvåsidig	0.080461	
t-kritisk tvåsidig	2.570582	

t-test: Två sampel antar lika varians

0.7 Mluxh	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	1.131368	0.7366
Varians	0.05145	0.000862
Observationer	4	3
Parad varians	0.031215	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	5	
t-kvot	2.925506	
P(T<=t) ensidig	0.016402	
t-kritisk ensidig	2.015048	
P(T<=t) tvåsidig	0.032803	
t-kritisk tvåsidig	2.570582	

Tabell 4. T-testerna för BWS 1 visar att skillnaden inte är signifikativ mellan ljuskällorna. Värdet för t-kvot och t-kritiska värdet har markerats med ljusgrönt i tabellen.

BWS 1 t-test

0.5 Mluxh	1	2	3	4	5	6
varm	0.720971	0.289082	0.215436	0.407029	0.296616	0.19652
kall	0.351577	0.409313	0.353452	0.60709	0.608648	0.207304

10 Mluxh	1	2	3	4	5	6
varm	3.295086	2.741843	1.448786	1.839656	3.147382	2.56747
kall	2.996996	3.34431	3.404427	3.503797	3.342303	2.502109

5 Mluxh	1	2	3	4	5	6
varm	2.290621	1.735016	0.925861	1.221616	1.796608	1.5711
kall	1.910758	2.125612	2.223152	2.331454	2.176768	1.57456

1 Mluxh	1	2	3	4	5	6
varm	1.015142	0.564224	0.238782	0.558497	0.526726	0.404447
kall	0.592901	0.671637	0.715297	0.757646	0.876068	0.457393

t-test: Två sampel antar lika varians

0.5 Mluxh	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	0.354275	0.422897
Varians	0.037797	0.025001
Observationer	6	6
Parad varians	0.031399	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	10	
t-kvot	-0.67076	
P(T<=t) ensidig	0.258784	
t-kritisk ensidig	1.812461	
P(T<=t) tvåsidig	0.517568	
t-kritisk tvåsidig	2.228139	

t-test: Två sampel antar lika varians

10 Mluxh	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	2.506704	3.182324
Varians	0.531029	0.140309
Observationer	6	6
Parad varians	0.335669	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	10	
t-kvot	-2.0198	
P(T<=t) ensidig	0.035502	
t-kritisk ensidig	1.812461	
P(T<=t) tvåsidig	0.071004	
t-kritisk tvåsidig	2.228139	

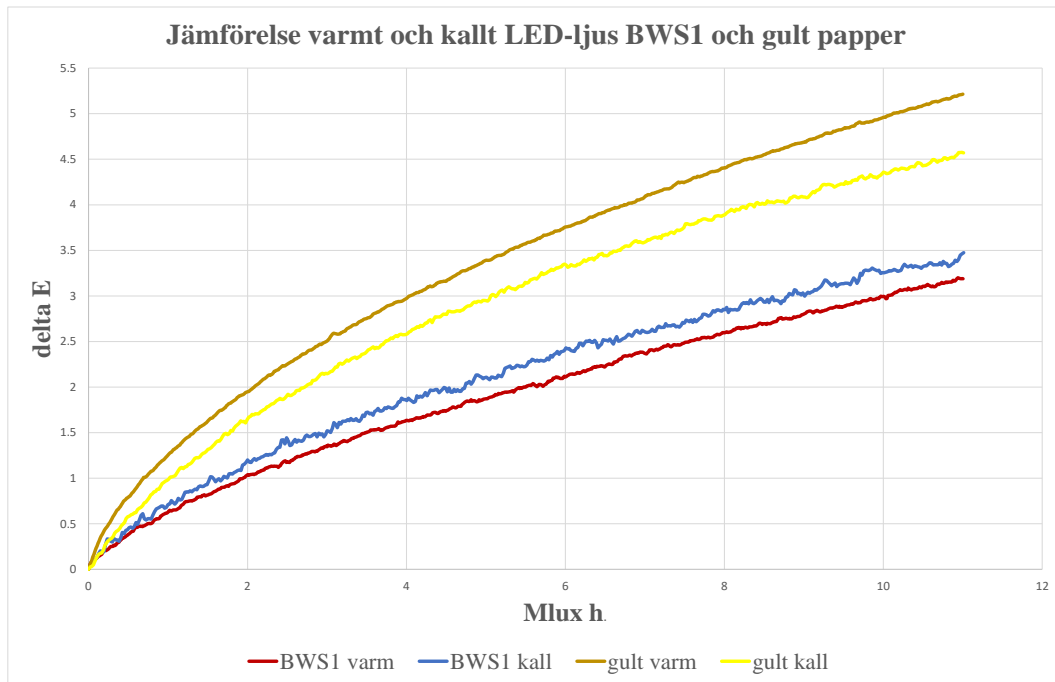
t-test: Två sampel antar lika varians

5 Mluxh	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	1.590137	2.057051
Varians	0.226346	0.075224
Observationer	6	6
Parad varians	0.150785	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	10	
t-kvot	-2.08266	
P(T<=t) ensidig	0.031956	
t-kritisk ensidig	1.812461	
P(T<=t) tvåsidig	0.063912	
t-kritisk tvåsidig	2.228139	

t-test: Två sampel antar lika varians

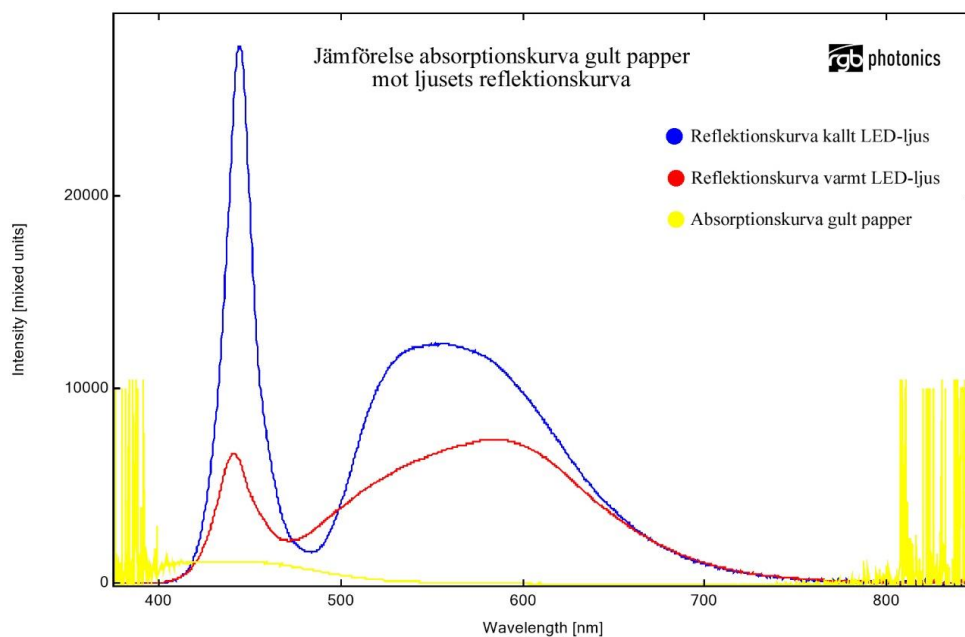
1 Mluxh	Variabel 1	Variabel 2
Medelvärde	0.551303	0.67849
Varians	0.067041	0.020583
Observationer	6	6
Parad varians	0.043812	
Antagen medelvärdesskillnad	0	
fg	10	
t-kvot	-1.05247	
P(T<=t) ensidig	0.158676	
t-kritisk ensidig	1.812461	
P(T<=t) tvåsidig	0.317352	
t-kritisk tvåsidig	2.228139	

En jämförelse av kurvorna mellan BWS 1 och det gula pappret visar att det gula pappret är känsligare än BWS 1 och har en brantare kurva (figur 28). Det gula papprets kurvor för varmt och kallt ljus delar sig också i en snabbare takt och fortsätter växa. För BWS 1 löper de båda ljuskällorna i princip parallellt efter 4 Mlux timmar.



Figur 28. Jämförande graf för BWS 1 och gult papper. Det gula pappret har en brantare kurva och det båda linjerna för kallt och varmt ljus delar sig i en snabbare takt.

Absorptionskurvan för det gula pappret kan ses i figur 29. Den visar att absorption sker i området violett/blått/cyan, 380-520 nm. Figur 22 visar absorptionskurvan för BWS1. Den absorberar som tidigare nämnts i området grönt/gult/orange med en topp mot det orange.



Figur 29. Bilden visar absorptionskurvan för det gula pappret. Färgämnet absorberar i området för violett/blått/cyan.

5. DISKUSSION OCH SLUTSATS

I detta kapitel kommer jag resonera kring utfallet av de genomförda testerna och hur resultatet har betydelse för konservatorn. Orsaker till extremvärden kommer också att diskuteras och varför vissa mätningarna ändå har validitet. Dessutom belyses några för och nackdelar med metoden MFT som kan ha samband min undersökning. I ett avsnitt kommer jag också dra paralleller till Muñoz Viñas resonemang angående glappet mellan forskningen och den praktiska konserveringen. Slutligen presenteras mina slutsatser och förslag till framtida forskning

5.1 Vad säger kurvor och t-tester?

I de flesta av uppsatsens jämförande grafer har någon av ljuskällorna en något högre kurva. Oftast är det den kalla ljuskällan som ger den större färgförändringen i förhållande till dos. För att kunna lita på de prognoser som produceras av MFT-instrumentet är det viktigt att veta om denna skillnad har någon avgörande inverkan på resultatet. Ett sätt att utvärdera detta är att utföra ett t-test. T-tester jämför om det finns någon betydelsefull skillnad mellan två grupper, i detta fall varmt eller kallt LED-ljus. I viss mån går det också att studera kurvorna i sig eller räkna på en fiktiv prognos och jämföra resultaten.

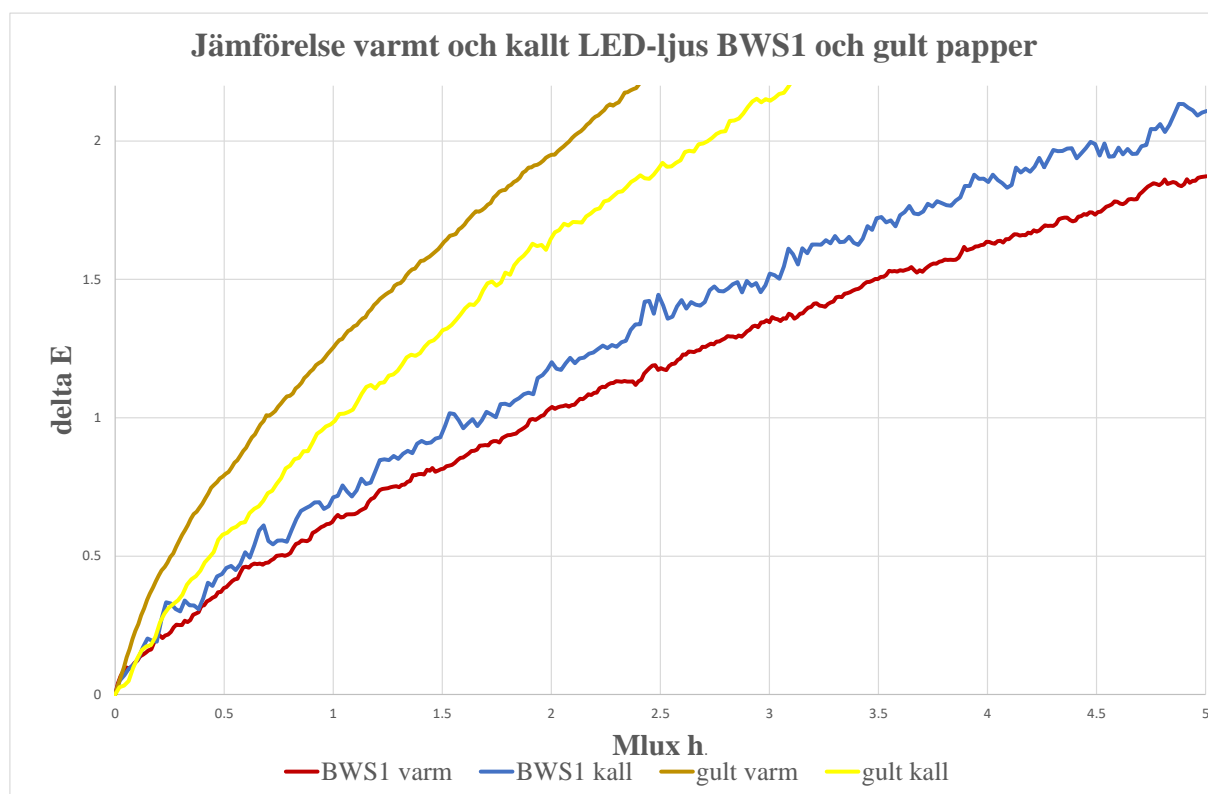
Generellt följer kurvorna för varje provmaterial varandra och ger samtliga en tydlig indikation på hur ljushärdigt provet är i förhållande till Blue Wool Standard. Det är endast BWS 3 som avviker när det gäller följsamheten mellan kurvorna och har dessutom markant skilda riktningar på förändringskurvorna för det kalla och det varma ljuset. Båda har mycket låg förändringstakt men det kalla ljusets kurva har en brantare vinkel (figur 25). Vinkeln korresponderar mer med kurvan för BWS 2 än det varma ljuset för BWS 3. En brantare vinkel betyder en snabbare förändringstakt i förhållande till dosen ljus. Det varma ljuset ger en näst intill plan kurva där förändringstakten kan räknas som obefintlig. Hade förändringen skett efter givna parametrar hade det varma ljusets kurva varit något högre och det kalla något lägre i förhållande till BWS 1 och 2. Efter att ha studerat absorptionskurvan för BWS 3 så finns det inget i den som indikerar att den skulle bete sig annorlunda än BWS 1 och 2 i förhållandet mot ljuskällorna. (Se absorptionskurvorna, figur 22, för BWS 1-3 i resultatdelen). Alla tre visar att de absorberar ljus i samma område av spektrumet, det vill säga gult till rött. Här är reflektionskurvorna för det varma och kalla ljuset också ganska likvärdiga. Därför borde kurvorna ha visat ett förväntat resultat vilket de oförklarligt inte gör.

Enligt utförda t-tester spelar det ingen roll vilken av de jämförda ljuskällorna som används i instrumentet för att få ett pålitligt resultat i något av fallen, förutom för det gula pappret. Alla övriga faller inom ramen för det som klassas som godtagbar skillnad för två grupper av mätvärden, även BWS 3. Det är väldigt få mätvärden, mellan 3-5 stycken, som använts vid t-testerna. För att prognosen ska bli mer tillförlitlig krävs fler mätvärden. Det går också att spekulera i om t-testet skulle gett ett annat resultat ifall mätvärdena normaliserats på något annat sätt. Exempelvis genom division med effekten och som sedan jämförts över tid istället för med luxtimmar.

Både BWS 1 och det gula pappret är ljuskänsliga. Trots det ger t-testet bara utslag för att ljuskällans art har betydelse för det gula pappret. Brytpunkten är dessutom så låg som 0,6 Mlux timmar. Eftersom ljus från den blå delen av spektrumet är mer energirik än de längre våglängderna i gröngula området, borde påverkan bli mer omfattande för det kalla ljuset.

Toppen i det blå området är högre här än den är för de varma ljuset (figur 29). Varför den varma ljuskällan ger en större färgförändring för just det gula pappret är oklart. En möjlig förklaring kan vara att färgförändringen beror mindre på hur många fotoner som absorberas och mer på grund av nedbrytning genom andra kemiska reaktioner som ljuset skapar.

Ska en prognos sättas för hur länge något kan belysas i en utställning måste det gå att lita på resultatet. Som exempel går det att räkna på antal luxtimmar och göra en jämförelse. Som tidigare nämnts räknas en färgförändring på $1,5 \Delta E_{00}$ på 50 år som godtagbar. Undersökningen har jämfört förändringskurvorna upp till 10 Mlux timmar. Om ett föremål belyses med 50 lux 8 timmar per dag och 300 dagar per år ger det att det tar drygt 83 år att förbruka 10 Mlux timmar. Mina mätningar har gett att endast tre material kommer upp till $1,5 \Delta E_{00}$ i färgförändring inom denna dos och det är resultatet för BWS 1, det blå pappret och det gula pappret. Det blå papprets kurvor ligger för det första i linje med varandra och når ΔE 1,5 vid 6 Mlux timmar (figur 26), det vill säga efter 50 år enligt tidigare förutsättningar. Således blir det blå pappret irrelevant och vi lämnar det därhän. Kvar att jämföra är BWS1 och det gula pappret (figur 30).



Figur 30. Jämförelse mellan BWS 1 och det gula pappret vid en färgförändring på $1,5 \Delta E$.

Följande värden har plockats ut ur resultaten för de aktuella provmaterialen och testerna:

Färgförändring ΔE 1,5	Mluxh.	År
BWS 1 varm ljuskälla	3,5	29,2
BWS 2 kall ljuskälla	3	25
Gult papper varm ljuskälla	1,3	10,8
Gult papper kall ljuskälla	1,8	15

Skillnaden mellan den kalla och den varma ljuskällan är 0,5 Mlux timmar eller 4,2 år för både BWS 1 och det gula pappret. Däremot i en inbördes jämförelse mellan den kortare och den längre tiden ger att för BWS 1 är det ungefär 17 % längre exponeringstid och för det gula pappret ungefär 38 %. (Beräkningen är baserad på tabellens siffror: $0,5/3 \approx 0,17$ eller $4,2/25 \approx 0,17$ och $0,5/1,3 \approx 0,38$ eller $4,2/10,8 \approx 0,39$). Detta innebär att för det känsligare materialet, det gula pappret, kan det bli en felberäkning på en tredjedel av tiden. Här kan konsekvensen bli ödesdiger när det ger en så pass stor felkalkylering. Här behöver alltså instrumentet anpassas efter den ljuskälla som föremålet ska belysas med i utställningsmiljön för att prognosen ska bli korrekt.

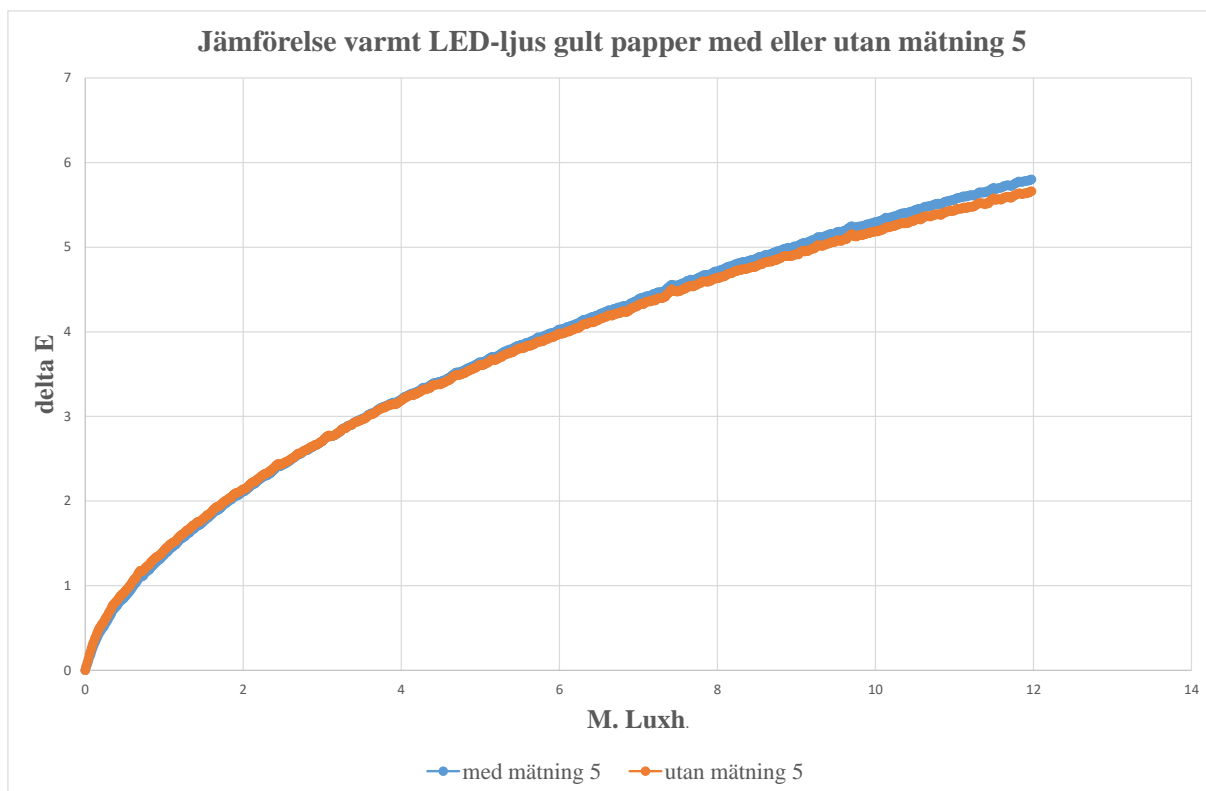
Denna undersökning har koncentrerat sig på att jämföra två olika LED-lampor och eventuella skillnader de påvisar i ett microfadetest. Xenonlampan har under en lång tid varit standard i MFT-instrumentet. Den har sina begränsningar både vad gäller färgtemperatur, spektralfördelning och intensitet. Trots det hade det varit en fördel att även kunnat jämföra resultaten från LED-lamporna med xenonlampan för att då få en referens mot gängse norm.

5.2 Extremvärden och felorsaker

Ett antal mätningar har definierats som extremvärden och uteslutits från de jämförande graferna. Det kan finnas flera orsaker till att extremvärden uppstår. Dåligt fokuserad optik kan vara en orsak. Ytan för BWS är betydligt svårare att fokusera ljuset mot trots hjälp av en kamera för att hitta en bra mätpunkt. Textilens ojämna yta ställer till problem. Det är svårt att se om ljusstrålen träffar mitt på tråden eller vid sidan. Materialet i sig är också mer lätttröligt på grund av sin struktur. Detta har försökt avhjälpas med att hålla fast avmaskningsramen med hjälp av en tyngd. För att eliminera risken för dåligt fokuserad optik vore en lösning att automatisera den funktionen. De släta pappren är å sin sida valda för att minimera risken för fokuseringsproblem.

Byte av lampa kan medföra både att lampan är dåligt uppvärmd och att kopplingen för fiberkabeln inte sitter fast ordentligt. Hela omgång 1 för mätningarna av BWS 2 visar extremvärde. Det är varken byte av lampa i samband med detta eller första mätomgång för dagen. Att lampan varit dåligt fokuserad är inte omöjligt men sannolikheten är liten att det gäller för alla tre mätningarna. Även mätomgång 2 av BWS 2 gav ett fluktuerande värde men inte lika extremt som vid omgång 1. Inte heller här är det första mätomgång för dagen eller lampbyte innan mätningarna som är orsaken. Dessa mätvärden följer ändå en linje vars riktning överensstämmer med mätning 8 och 9 i omgång 3. Därför har dessa värden inte sållats bort som extremvärden.

L-värdet har ett maximum på 100, ändå ger $L^*a^*b^*$ data för det gula pappret ett värde som i mätning 5 övergår detta. Det beror troligen på att papprets färg är så ljus att det vid belysning blir illuminerande. Eventuellt borde denna mätning uteslutits som ett extremvärde. Skillnaden är dock marginell vilket kan ses i figur 31.



Figur 31. Skillnaden ifall mätning 5 utgår eller är inkluderad är marginell.

Det kalla ljuset uppvisar mycket mera brus än det varma, med andra ord studsar värdena upp och ner och bildar ingen rak linje. Lampan är ny och bruset skulle kunna bero på att den inte hunnit stabilisera sig utan brunnit för få timmar totalt. Dessutom har lampan ingen extra fläkt för kylning, som den varma ljuskällan, utan är istället försedd med öppningar i höljet. Dessa faktorer skulle kunna vara upphov till extremvärden. Trots det har bara extremvärden uteslutits vid mätningar på BWS med den kalla ljuskällan medan extremvärden exkluderats för alla material utom rött och grönt papper för den varma ljuskällan. Den är varma ljuskällan är å andra sidan gammal och kan därför vara sliten.

Det förekom konstruktionsarbeten i byggnaden under hela mätperioden. Även detta skulle kunna ge upphov till extremvärden genom vibrationer eller spänningsbortfall i strömförsörjningen. Däremot finns det inget i kurvorna som direkt pekar på att detta är orsaken, eftersom det i så fall bara borde visa sig som enstaka toppar i mätresultaten.

5.3 Fördelar och nackdelar med MFT

Microfadetester har många fördelar, förutsatt att resultatet går att lita på. Metoden räknas som icke-förstörande och det är därför möjligt att testa särskilt känsliga material och föremål. Att utrustningen är portabel innebär också att ömtåliga föremål slipper förflyttas vilket är ett riskmoment i sig. Bevarandemål som baseras på data istället för gissningar är till stor nytta och kan betyda att något kan beses av fler intresserade istället för att stivas undan i ett magasin. Ett microfadetest är dessutom relativt billigt och enkelt att utföra. För alla moment som kan förenklas i hanteringen av ett föremål betyder det sparade pengar och längre livslängd för objektet.

Trots de positiva sidorna av MFT så finns det frågetecken. Idag används inte bara metoden för att utröna om något är ljushärdigt eller inte. Ett mål är att kunna förutspå hur länge ett föremål kan vara placerat i en utställning under givna ljusbetingelser. Då är det extra viktigt att alla parametrar stämmer så att prognosen blir korrekt. För ljuskänsliga föremål och material är frågan vital. Ifall ljuskällan i testinstrumentet säger att något kan ställas ut en viss tid men det istället bara tar halva den förutspådda tiden beroende på att belysningen är av ett annat slag, då kan följderna bli katastrofala. Frågan blir då om liknande felkällor kan avhjälpas med att korrespondera instrumentets ljuskälla med ordinarie belysning av föremålet. Att utföra en accelererad ljusåldring innebär att något belyses med högre intensitet men under kort period. Det är inte självklart att utfallet helt stämmer överens med den färgförändring som skulle skett under normala omständigheter.

Ytterligare en faktor som spelar roll i sammanhanget är att hela belysningssektorn är under omdaning. Samhället blir allt mer miljömedvetet. Lagar tillkommer för att skydda miljön och minska energiförbrukningen. Museer måste anpassa sig både till de nya förutsättningarna men också för att spara pengar. Under de senaste 10 åren har det skett en enorm utveckling inom framförallt LED-belysningen. Även om ett museum försöker tänka långsiktigt vid val av belysning och ljuskällor är det svårt att förutspå vad som händer 10 år framåt i tiden. En fråga som då uppstår är ifall ett test anpassat efter befintlig belysning fortfarande har validitet om lokalens ljuskällor byts ut. Krävs det i så fall att testet görs om? Går det att kompensera för detta i efterhand genom att till exempel jämföra absorptionskurvan med den nya belysningens reflektionskurva?

När allt fokus hamnar på färgförändring är det lätt att glömma bort att ljus även kan vara orsak till nedbrytning av det övriga materialet i föremålet. Så även om färgämnet är ljushärdigt kan själva föremålet brytas ner.

En annan aspekt att fundera över är att det inte bara Blue Wool Standard som har en ojämn yta. Föremål i samlingar kan givetvis också ha skrovlig yta eller bestå av textil. Orsakar det fler extremvärden på grund av svårigheter att fokusera, eller att ojämna ytor ger ett opålitligt resultat, är tekniken kanske inte lämplig på dessa material eller ytskikt.

5.4 Konservatorn och forskningen

Forskningen knyter an till konservering på en mängd olika sätt. Den kan vara till hjälp för att utvärdera ett föremåls kondition, avslöja ålder och historia eller förse konservatorer med teknik, metoder eller material som är till gagn vid det praktiska arbetet. Trots det känner många konservatorer att forskningen antingen är för generell eller för specifik för att ha relevans i det dagliga arbetet. Muñoz Viñas har kategoriserat orsakerna till främst tre skäl: brist på kommunikation, oförmåga för forskare att ta sig an verkliga problem inom konserveringen och brist på tekniskt kunnande hos konservatorerna (2005, s.117).

Forskning utgår ofta från generella regler medan verkligheten oftast är mer komplex (Muñoz Viñas 2005, s.130). Det gäller inte minst vid undersökande tester för MFT och denna undersökning är inget undantag. För tydligast möjliga resultat har testet gjorts kvantifierbar genom att renodla provmaterialet med kända färger på ett slätt papper och med förväntat utfall i ljushärdighet. Verkliga föremål däremot kan bestå av flera olika färgfält och material i kombination. För att en metod eller teknik ska bli riktigt bra behöver användaren, i detta fall konservatorn, vara en del under utvecklingsprocessen. Behov och problematik är något som är

viktigt att kommunicera mellan de inblandade parterna, konservatorn och forskaren. Därför behöver vi bli bättre på att utnyttja de forum som finns för att utbyta erfarenheter och observationer varav Riksantikvarieämbetet är ett.

Användaren behöver också i viss mån förstå den teknik som används och varför den ska användas även om någon annan utför jobbet. Många konservatorer anses vara dåligt utbildade inom det tekniska området och skälen kan vara flera som brist på pengar, tid eller ovilja (Muñoz Viñas 2005, s.144). Chansen ökar att en teknik används om en person känner sig trygg med den. För att bli känd med tekniken krävs övning. Det är främst under utbildningstiden det ges tillfällen att pröva på under handledning. Att få möjligheten att genomföra en undersökning av det här slaget är en värdefull erfarenhet och fler behöver uppmuntras att göra det samma. Oavsett egna erfarenheter eller inte så finns det inga skäl för konservatorn att ignorera den del av forskningen som verkligen kan vara till hjälp i de arbetsuppgifter som utförs.

5.5 Slutsats

Min undersökning visar att val av lampa i MFT instrumentet har mindre betydelse när det bara gäller att utröna om ett färgämne är ljushärdigt eller inte. För att kunna ge en trovärdig prognos om hur många luxtimmar ett föremål kan ställas ut ger resultatet inget entydigt svar, men indikerar att för särskilt ljuskänsliga färger kan det spela stor roll. Visserligen följer de flesta kurvor varandra och t-testet gav att val av ljuskälla endast hade betydelse för det gula pappret. Här visar resultatet att det skulle kunna göra så stor skillnad som en tredjedel av tiden för en färgförändring på 1,5 i ΔE_{00} , vilket räknas som en godtagbar förändring på 50 år. I så fall behöver instrumentet anpassas efter belysningen i lokalen eller montern.

Fler mätvärden från samtliga provmaterial hade varit till fördel för att kunna ge en mer finjusterad kurva, inte minst för BWS 2. Ett medelvärde av flera mätningar är också önskvärt eftersom risken annars är stor att välja det värde som är fördelaktigt och tjänar underökningens syfte bäst. En utökad undersökning där fler ljuskänsliga färgämnen ingår kan också ge en mer nyanserad bild i fråga om val av ljuskälla både i instrumentet och lokalen. Det skulle också kunna besvara om en prognos för exponeringsdos generellt är beroende av lampans färgtemperatur för ljuskänsliga färgämnen, eller om det gula pappret kan räknas som ett undantag.

Två troliga orsaker till uppkomsten av extremvärden under mätningarna är dåligt fokuserad ljuspunkt och ojämn distribution av ljus på grund av lamporna. En automatiserad fokus hade eliminerat risken för extremvärde orsakade av ojämnt underlag. En orsak till att det kalla ljuset ger ojämma mätvärden kan vara att den kalla LED-lampan är ny och inte brunnit tillräckligt många timmar. Det kan också bero på att den inte har någon kylfläkt utan förväntas klara kylningen själv genom flänsar i höljet. Om lampan skadar mer när den är ny är detta också något att beakta när lampor och belysningssystem byts ut i museer och gallerier.

Att BWS är problematisk som referensmaterial i samband med MFT är konstaterat sedan tidigare (Ford 2011). Materialet gav upphov till fler extremvärden än de färgade pappren. Orsaken till varför är oklar men kan ha att göra med textilens ojämna yta.

Om resultaten från underökningen speglar verkligheten indikerar testerna att det varma ljuset generellt är snällare och ger en långsammare färgförändring. En varmare belysning borde då vara att föredra på museer och gallerier.

Slutligen, min studie visar att lampans färgtemperatur i MFT-instrumentet verkar ha marginell effekt på resultatet av ett färghärdighetstest, utom möjligen för de mest känsliga färgämnen. Ett MFT test ger inte alla svar när en ljuspolicy ska utformas eftersom den bara berättar om färgförändring och ljushärdighet men inte om annan nedbrytning av material som orsakats av ljus. Däremot kan MFT vara ett bra verktyg som en del av evalueringsprocessen.

5.6 Förslag till framtida forskning

På basis av resultatet har jag identifierat ett antal ytterligare aspekter som vore intressanta att fortsätta utforska inom området. Ett perspektiv som med fördel kan vara grund till fortsatt forskning är att utöka undersökningen med fler ljuskänsliga färgämnen som spänner över hela spektrumet och inte bara gult och blått (BWS 1). Detta skulle ge mer utförliga resultat där man kan utröna om ljuskällans färgtemperatur vid microfadetest generellt har betydelse för ljuskänsliga färgämnen eller bara i specifika fall.

Ett ytterligare perspektiv som enligt min bedömning skulle ligga till grund för relevant forskning är att undersöka olika alternativ till Blue Wool Standard, för att använda som referens vid MFT. Detta skulle vara värdefullt att granska då BWS redan tidigare identifierats som problematisk att använda för detta ändamål, vilket också påvisats vid mätningar vid denna undersökning.

Slutligen skulle det vara av relevans att undersöka om skrovliga och ojämna ytor eller textil ger upphov till fler extremvärden än släta. Detta skulle vara intressant att problematisera för att utröna om skillnaderna skapar problem vid tester på verkliga föremål.

6. SAMMANFATTNING

Ljusets olika former, UV, IR och synliga våglängder orsakar nedbrytning, blekning och andra färgförändringar. När en utställning ska produceras läggs därför stor vikt vid ljuset. Dels för att föremålet ska bevaras på bästa sätt, men också för att upplevelsen för besökaren ska bli bra. En ljuspolicy utformas därför för att bestämma en lämplig ljusnivå i förhållande till exponeringstiden för föremålen, och som också tar betraktarens perspektiv i beräkningarna. Ett verktyg som kan vara till hjälp för att utröna hur stor ljusdos ett föremål tål för att inte överskrida bevaringsmålet är ett microfadetest.

Microfadetest är en relativt ny metod och introducerades 1999 av Dr. Paul Whitmore och hans medarbetare. De hade utvecklat ett instrument för accelererad ljusåldrande som kan räknas som icke-förstörande. Eftersom testet utförs på en yta som endast är 0,4 mm i diameter går det att använda på även mycket känsliga föremål. Här fyller metoden ett tomrum mot tidigare metoder då dessa gör åverkan på själva föremålet.

CIE L*a*b* är den färgrymd som används vid MFT eftersom det definierar ”normalögats” upplevelse av färger och ljusstyrka. Resultatet presenteras sedan i färgförändringen ΔE varav CIEDE2000, ΔE_{00} , är den senaste versionen. Som referensmaterial för ljushårdighet vid mätningarna används ISO Blue Wool Standard 1-3. Den är ursprungligen framtagen för textilindustrin och tappar i färgstyrka efter kända värden. För att förändras till samma grad kräver varje nyans dubbelt så stor ljusdos som den föregående. Det finns dock uttalad kritik mot BWS som referensmaterial då den uppvisat ojämna mätresultat.

Det måste gå att lita på resultatet vid ett MFT test. Därför krävs mer forskning kring metoden. Min studie söker svaret på om ett kallt eller varmt LED-ljus i instrumentet ger samma prognos vid ett microfadetest. Två ljuskällor har testats i undersökningen, ett kallt med färgtemperaturen 6200K och ett varmt på 4000K. Analysmaterialet har satts samman av Bettina Sacher, doktorand vid University Collage London, och består av BWS 1-3 jämte färgade papper i grundfärgerna gult, blått, rött och grönt samt svart. De har valts för att de spänner över hela ljushårdighetsskalan, är släta och opaka.

Varje provmaterial har belysts minst tre gånger med vardera lampan och varje mätomgång pågick 15 minuter. För varje sekund under mätomgången samlades ett nytt spektrum in. Insamlad data har sedan omvandlats till värden i CIE L*a*b*. Med hjälp av dessa värden har en färgförändring i ΔE_{00} , räknats fram för varje mätpunkt och som därefter lagts samman till ett medelvärde för varje provmaterial. Därefter går det att jämföra de båda ljuskällorna i en graf.

Graferna visar att den kalla ljuskällan överlag ger ett något högre värde för färgförändring än den varma ljuskällan. För det gula pappret är det tvärtom. Det gula färgämnet förefaller också vara väldigt ljuskänsligt. För att ta reda på om skillnaderna i förändring har signifikativ betydelse för en prognos har t-tester utförts. Dessa visar att avvikelsen mellan kurvorna inte har någon relevans för samtliga material utom för det gula pappret. Här skulle det kunna ge en felprognos med en tredjedel av ljusdosen.

Extremvärden har förekommit under mätningarna. Troliga orsaker kan vara dåligt fokuserad ljusstråle eller att den kalla ljuskällan är alldeles ny. Dessa har uteslutits ur medelvärdena för de jämförande graferna.

Slutsatsen i denna underökning är att för de flesta material har val av lampa i testinstrumentet ingen betydelse för att ge en pålitlig prognos angående ljusdos. Däremot kan det ha stor betydelse för de mest ljuskänsliga materialen. Att ha i åtanke är att MFT bara ger besked om färgförändring inte om annan nedbrytning av materialet.

7. KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING

7.1 Muntliga källor

Informant 1: Sacher, B., doktorand, University Collage London.
Mejlkonversation 23 juni - 4 juli 2018.

Informant 2: Thomas, J., forskarassistent, Göteborgs Universitet.
Samtal under handledning samt mejlkonversationer april-augusti 2018.

7.2 Tryckta källor

AATCC News (2014). *Blue Wool Now Available*.

<https://www.aatcc.org/media/Read/Newsletter/documents/SeptB.pdf> [2018-08-12]

Cruse, P. (2018). *Introduction to Colour Spaces*. Colourphil, UK.

https://www.colourphil.co.uk/lab_lch_colour_space.shtml [2018-07-26]

Druzik, J. & Michalski, S. (2012). *Guidelines for Selecting Solid-State Lightning for Museums*. Paul Getty Trust and Canadian Conservation Institute.
doi:10.13140/RG.2.1.3347.2080

Druzik, J. & Pesme, C. (2010). Comparison of Five Microfading Tester (MFT) Designs. I: *RATS Postprints Volume 2, 2010*. ss.14-29. [http://www.conservation-us.org/docs/default-source/periodicals/rats-postprints-vol-2-\(2010\).pdf?sfvrsn=6](http://www.conservation-us.org/docs/default-source/periodicals/rats-postprints-vol-2-(2010).pdf?sfvrsn=6) [2018-08-27]

Evans, H. & Kåberg, H. (2013). The Nationalmuseum Lighting Lab. I: *Art Bulletin of Nationalmuseum Volume 20*. ss.139-143.

<http://nationalmuseum.diva-portal.org/smash/get/diva2:724767/FULLTEXT02.pdf>
[2018-07-23]

Ford, B. (2011). Non-destructive Microfade Testing at the National Museum of Australia. I: *AICCM Bulletin Volume 32*. ss.54-64.

http://www.microfading.com/uploads/1/1/7/3/11737845/ford_aiccm_bulletin_32_54-64.pdf
[2018-04-22]

Ford, B. & Druzik, J. (2013). Microfading: The state of the Art for Natural History Collections. I: *Collection Forum 27*. s.55.

http://www.microfading.com/uploads/1/1/7/3/11737845/ford_druzic_natural_history_mft_2013.pdf [2018-08-05]

Ford, B. & Smith, N. (2011). Lighting Guidelines and the Lightfastness of Australian Indigenous Objects at the National Museum of Australia. I: *Proceedings of the 16th Triennial Conference ICOM-CC, Lisbon*. ss.1-13.

https://www.microfading.com/uploads/1/1/7/3/11737845/0409_339_ford_paper_en.pdf
[2018-04-22]

Hattori, H., Yoshizumi, K. & Cox Crews, P. (2011). Wavelength Sensitivity of AATCC Blue Wool Lightfastness Standards Under Light Radiation. I: *Dyes and Pigments 92*. ss. 936-941.
doi:10.1016/j.dyepig.2011.05.015

- Holm, H. (2018). *Varför försvann glödlampan?* Energimyndigheten. <http://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/jag-vill-energieffektivisera-hemma/inkop-av-produkter/belysning/varfor-forsvann-glodlampan/> [2018-06-08]
- International Organization for Standardization (ISO) (u.å.). *About ISO*. <https://www.iso.org/about-us.html> [2018-07-04]
- ISO 105 B02:2014. *Colour Fastness to Artificial Light: Xenon Arc Fading Lamp Test*. Genève: International Organization for Standardization, (ISO).
- Lerwill, A. (2013). *Microfading: Questioning the Basics*. Image Permanence Institute, IPI. <https://www.imagepermanenceinstitute.org/resources/newsletter-archive/v24/microfading-questioning-basics> [2018-04-22]
- Lerwill, A., Townsend, J.H., Liang, H., Thomas, J. & Hackney, S. (2008). A Portable Microfading Spectrometer for Versatile Lightfastness Testing. I: *e-Preservation Science 5*. Morana RTD. ss. 17- 28. <http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2008/Lerwill-22-01-2008.pdf> [2018-04-02]
- Lojewski, T., Thomas, J., Golab, R., Kawalko, J. & Lojewska, J. (2011). Note: Light Ageing With Simultaneous Colorimetry via Fibre Optics Reflection Spectrometry. I: *Review of Scientific Instruments, volum 82*. doi:10.1063/1.3606645
- Michalski, S. (2018). *Agent of Deterioration: Light, Ultraviolet and Infrared*. Canadian Conservation Institute, Government of Canada. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/light.html> [2018-07-14]
- Muñoz Viñas, S. (2005). *Contemporary Theory of Conservation*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann. ss. 115-146, 188.
- National Trust (2011). *National Trust Manual of Housekeeping*. Anova Books. ss.97, 741.
- Padfield, T. (u.å.a). *The Lux is a Poor Predictor of Photochemical Damage*. <http://www.conservationphysics.org/lightmtr/luxerror.php> [2018-05-14]
- Padfield, T. (u.å.b). *The Effect of Light on Museum Objects*. http://www.conservationphysics.org/fading/light_i.php [2018-05-14]
- Patel, R. & Davidson, B. (2003). *Forskningsmetodikens grunder: att planera, genomföra och rapportera en undersökning*. 3., [uppdaterade] uppl. Lund: Studentlitteratur
- Pesme, C. (2016). *Presentation of Tools Helping to Set a Preservation Target for Displaying Light Sensitive Collection Items*. Nuevo Mundo Mundos Nuevos. doi:10.4000/nuevomundo.69241
- Riksantikvarieämbetet (RAÄ) (2017). *Microfading*. <https://www.raa.se/om-riksantikvarieambetet/kulturarvslaboratoriet/analys-och-dokumentation/microfading/> [2018-07-20]

Saunders, D. & Kirby, J. (1994). Wavelength-dependent Fading of Artist' Pigments. I: *Preventive conservation: practice, theory and research: preprints of the contributions to the Ottawa Congress, 12-16 September 1994*. ss.190-194.

Schanda, J. (red.) (2007). *Colorimetry: Understanding The CIE System*. John Wiley & Sons.

Statistics How To (2018). *T Test (Student's T-Test): Definition and Examples*.

<https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/probability-and-statistics/t-test/> [2018-09-08]

Whitemore, P., Bailie, C. & Connors, S. (2001). Micro-fading Tests to Predict the Result of Exhibition: Progress and Prospects. I: *Tradition and Innovation: Advances in Conservation*, Roy, A. & Smith, P. (red.). London: IIC. ss. 200-205.

Whitemore, P., Pan, X. & Bailie, C. (1999). Predicting the Fading of Objects: Identification of Fugitive Colorants Through Direct Nondestructive Lightfastness Measurements. I: *Journal of the American Institute for Conservation*, Vol. 38, No. 3. ss. 395-409.

https://www-jstor-org.ezproxy.ub.gu.se/stable/3179999?seq%3D1%26cid%3Dpdf-reference#page_scan_tab_contents [2018-08-04]

7.3 Förteckning över bilder och illustrationer

Figur 3. Skapad av signaturen PAR, användare på engelska wikipeddia.

https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space#/media/File:CIE1931xy_blank.svg

Figur 8. Jacob Thomas

Figur 9. Jacob Thomas

Övriga bilder och illustrationer Stina Svantesson

8. BILAGOR

Bilaga 1. Tekniska specifikationer

Teknisk utrustning/instrument:

Retroreflekterande MFT som är utvecklat och byggt av Jacob Thomas, forskarassistent, Göteborgs Universitet

Lins: $f/30.0$ mm $\uparrow\infty$

En 30 eller 50 mm lins i instrumentet ger vid ett 1:0.6 konjugat förhållandet en belysningspunkt med $\varnothing 0,36$ mm från en optisk fiberkabel på 600 μ m

Varm ljuskälla:

Tillverkare: Mightex systems, Canada

Modell: FSS-0380-0780-000, Multi Wavelength Fiber-coupled LED

Färg temperatur: 4000K (endast kanal 1 har använts)

Kall ljuskälla:

Tillverkare: THORLABS GmbH

Modell: MCWHF2

Färg temperatur: 6200K

Fiberoptisk kabel:

Fused silica fibre optic patch cable

600 μ m från ljus till tub

200 μ m från tub till spektrometer

Spektrometer:

Tillverkare: RGB Photonics GmbH

Modell: Qmini, Miniature spectrometer

Omfång för våglängd: 225-1000 nm

Programvara:

Waves, version 2.1.7.0

Utgivare och copyright: RGB Photonics GmbH

Kolorimetriska specifikationer som använts i programmet;

Color matching functions: CIE 2" Standard Observer (1931)

Luminosity function: CIE Physiological Based on Stockman & Sarpe 2" (2008)

Reference Withe: CIE Standard Illuminant D65 – Noon daylight (TV. sRGB)

Bilaga 2. Färgämnen för provmaterialen

BWS 1: CI Acid Blue 104

BWS 2: CI Acid Blue 109

BWS 3: CI Acid Blue 83

S1: Curcuma-dyed rag papper (handgjort)

S2: Mörkblått Sharpie ink på Whatman papper (handgjort)

S3: Prato Tiziano från Fabriano

S4: Rosso Colore från Fabriano

S5: Nero Colore från Fabriano

Bilaga 3. Översikt effekt och ljusflöde vid kalibrering

Översikt mätvärden för effekt (mW) och ljusflöde (lm) tagna vid kalibrering med vitt referensprov.

vit ref. för mätning	varmt ljus		kallt ljus	
	Effekt (mW)	Lumens (lm)	Effekt (mW)	Lumens (lm)
BWS1.123	1.31	0.4599	2.23	0.7675
BWS1.456	1.39	0.4844	2.13	0.7256
BWS2.123	1.36	0.4747	2.2	0.7616
BWS2.456	1.33	0.4666	2.11	0.7173
BWS2.789			2.23	0.7668
BWS3.123	1.33	0.466	2.13	0.7308
BWS3.456	1.36	0.4718	2.22	0.7648
Gult pap.123	1.37	0.4811	2.16	0.7416
Gult pap.45	1.28	0.4445		
Blått pap.123	1.32	0.465	2.21	0.7629
Blått pap.45	1.4	0.4892	2.2	0.7545
Rött pap.123	1.37	0.4803	2.16	0.7395
Grönt pap.123	1.32	0.4627	2.29	0.7926
Svart pap.123	1.35	0.4733	2.21	0.7616
Svart pap.45	1.28	0.4445		

Bilaga 4. Uträkning för färgförändring i CIE L*a*b* ΔE_{00}

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}}$$

$$\Delta L' = L_2^* - L_1^*$$

$$\bar{L} = \frac{L_1^* + L_2^*}{2} \quad \bar{C} = \frac{C_1^* + C_2^*}{2}$$

$$a_1' = a_1^* + \frac{a_1^*}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right) \quad a_2' = a_2^* + \frac{a_2^*}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right)$$

$$\bar{C}' = \frac{C_1' + C_2'}{2} \quad \text{and} \quad \Delta C' = C_2' - C_1' \quad \text{where} \quad C_1' = \sqrt{a_1'^2 + b_1'^2} \quad C_2' = \sqrt{a_2'^2 + b_2'^2}$$

$$h_1' = \text{atan2}(b_1^*, a_1') \quad \text{mod} \quad 360^\circ, \quad h_2' = \text{atan2}(b_2^*, a_2') \quad \text{mod} \quad 360^\circ$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h_2' - h_1' & |h_1' - h_2'| \leq 180^\circ \\ h_2' - h_1' + 360^\circ & |h_1' - h_2'| > 180^\circ, h_2' \leq h_1' \\ h_2' - h_1' - 360^\circ & |h_1' - h_2'| > 180^\circ, h_2' > h_1' \end{cases}$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C_1' C_2'} \sin(\Delta h'/2), \quad \bar{H}' = \begin{cases} (h_1' + h_2' + 360^\circ)/2 & |h_1' - h_2'| > 180^\circ \\ (h_1' + h_2')/2 & |h_1' - h_2'| \leq 180^\circ \end{cases}$$

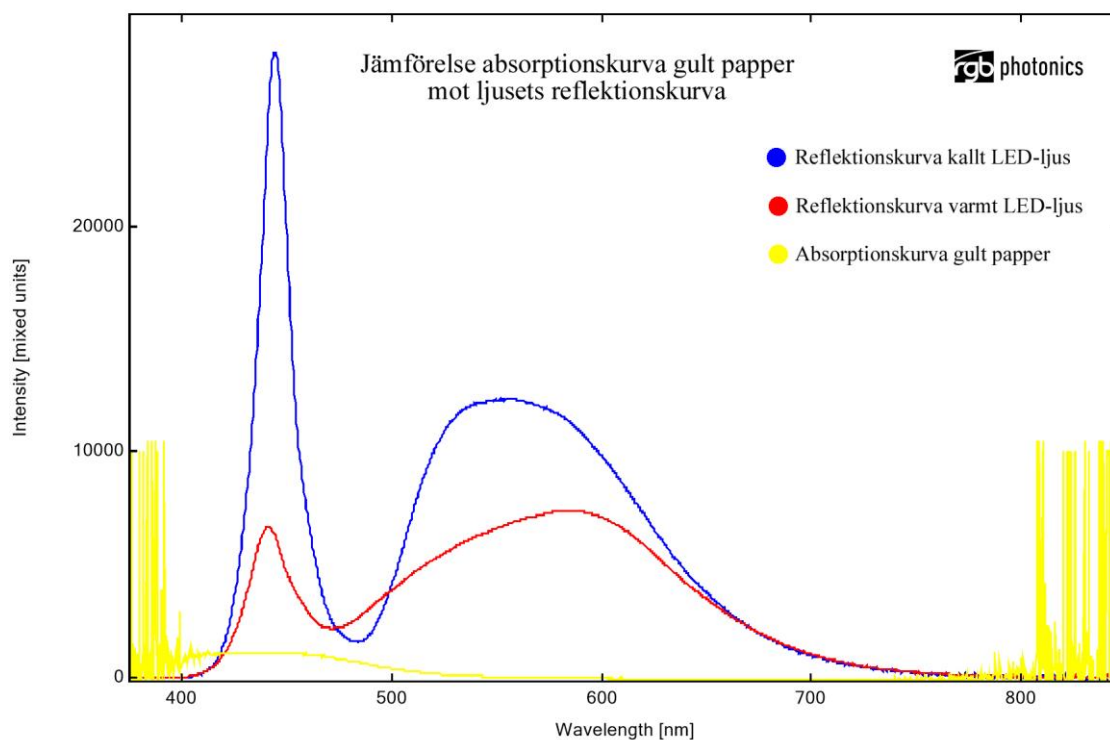
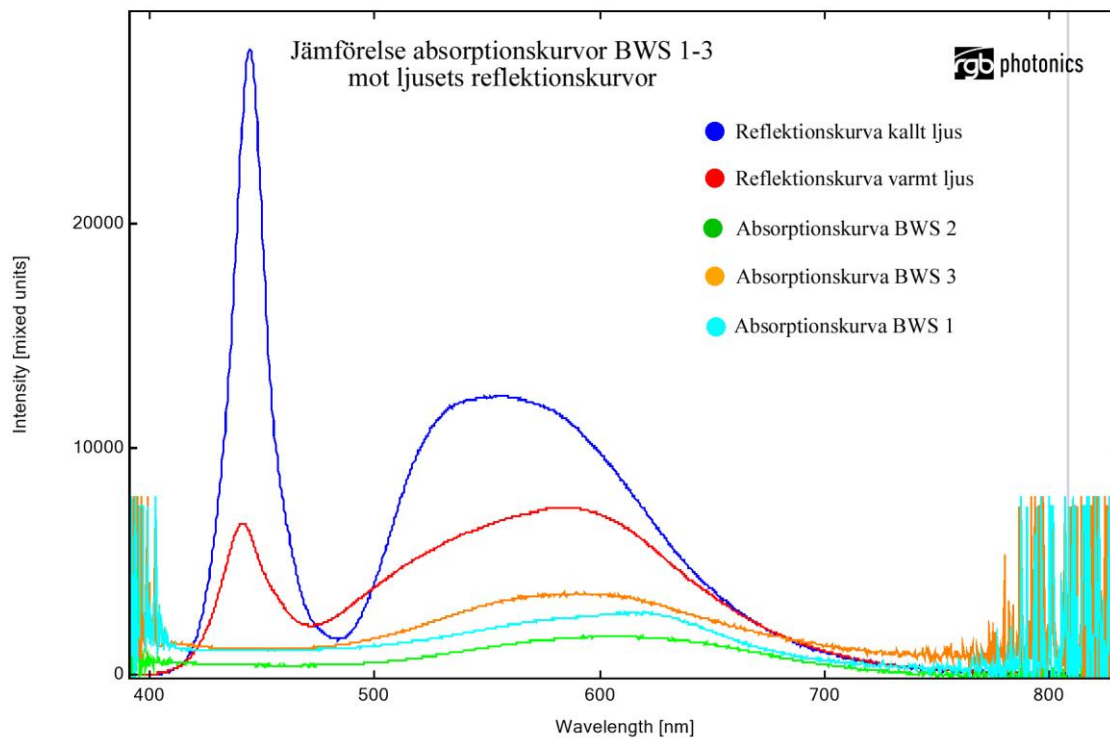
$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{H}' - 30^\circ) + 0.24 \cos(2\bar{H}') + 0.32 \cos(3\bar{H}' + 6^\circ) - 0.20 \cos(4\bar{H}' - 63^\circ)$$

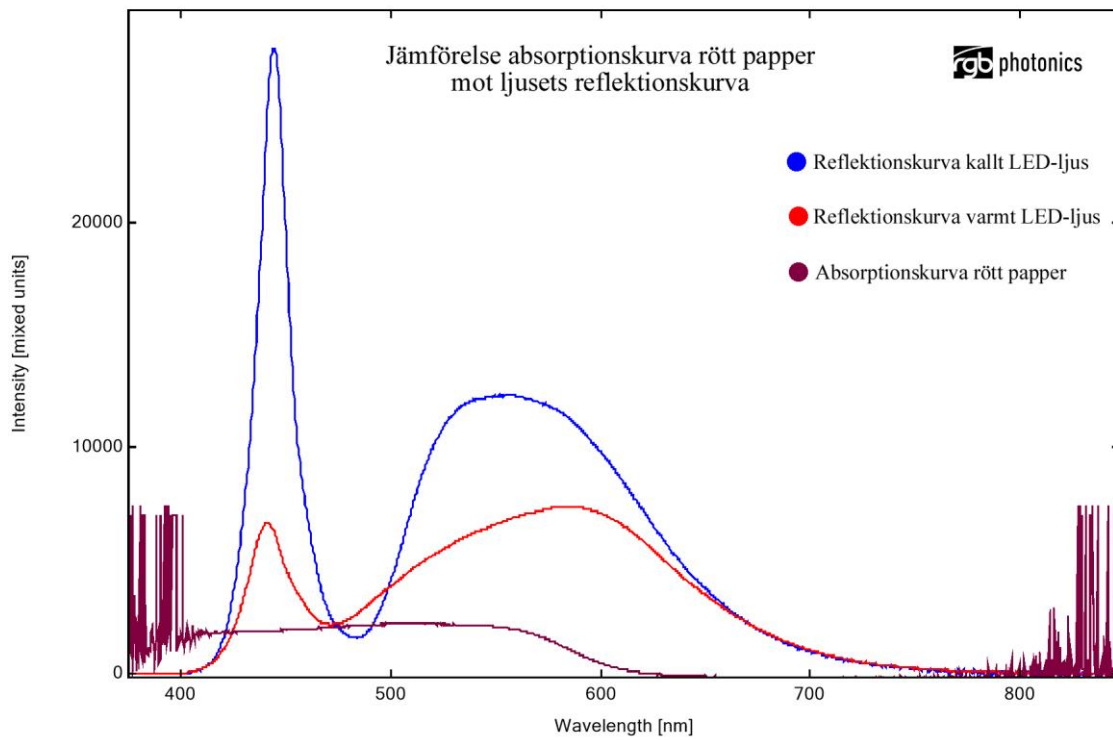
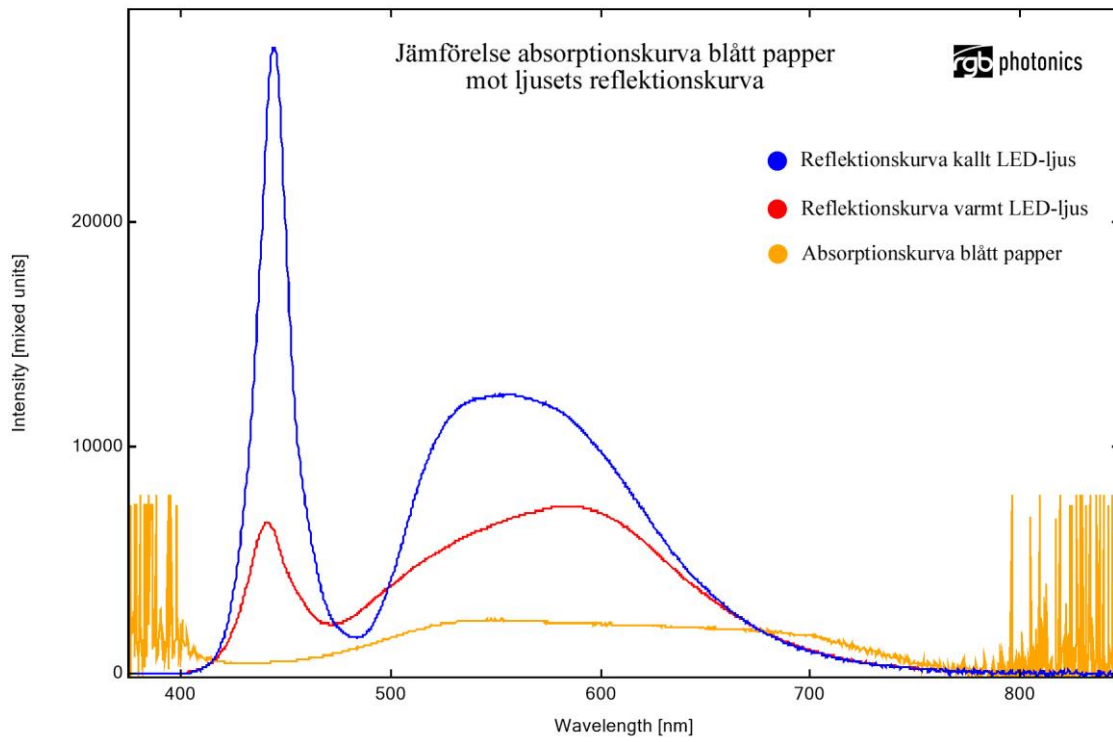
$$S_L = 1 + \frac{0.015 (\bar{L} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L} - 50)^2}} \quad S_C = 1 + 0.045 \bar{C}' \quad S_H = 1 + 0.015 \bar{C}' T$$

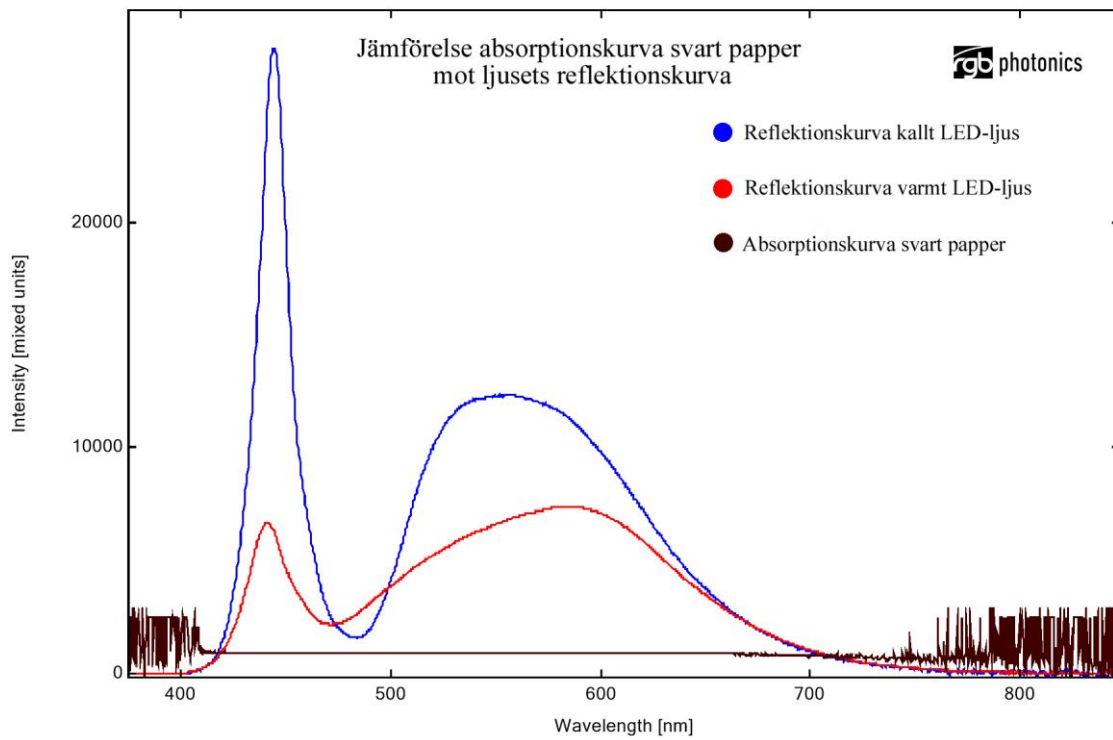
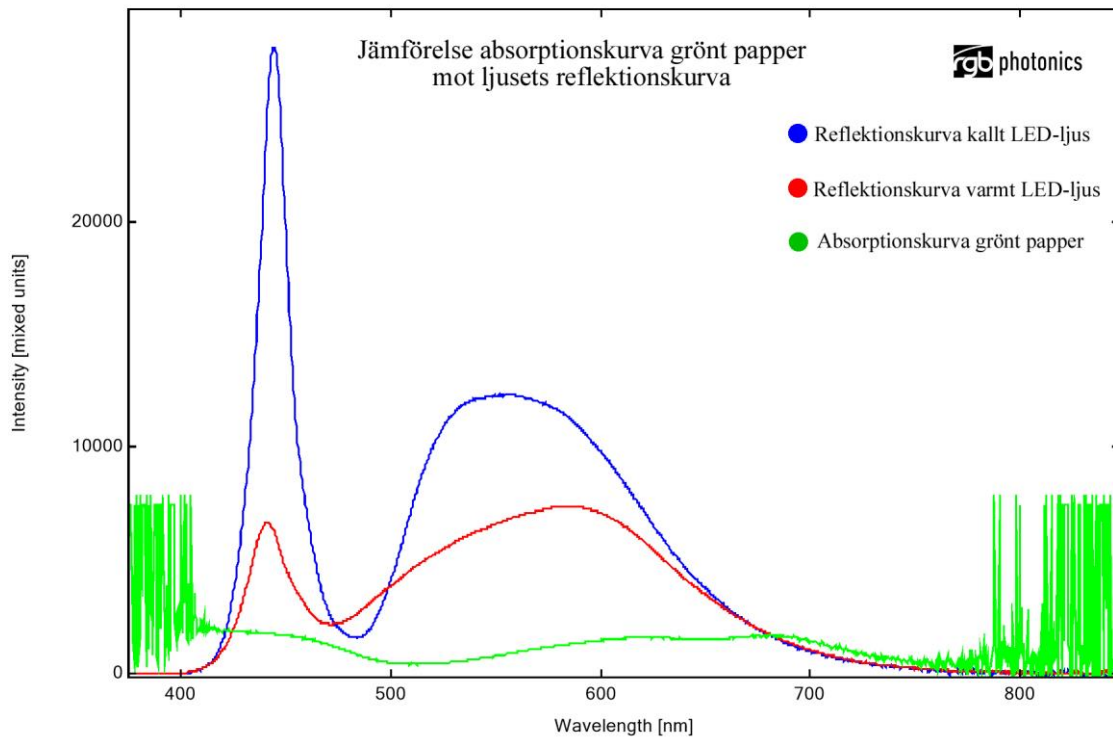
$$R_T = -2 \sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}} \sin \left[60^\circ \cdot \exp \left(- \left[\frac{\bar{H}' - 275^\circ}{25^\circ} \right]^2 \right) \right]$$

Bilaga 5. Absorptionskurvor

Absorptionskurvor för alla materialen tillsammans med de varma och kalla ljuskällornas reflektionskurvor.

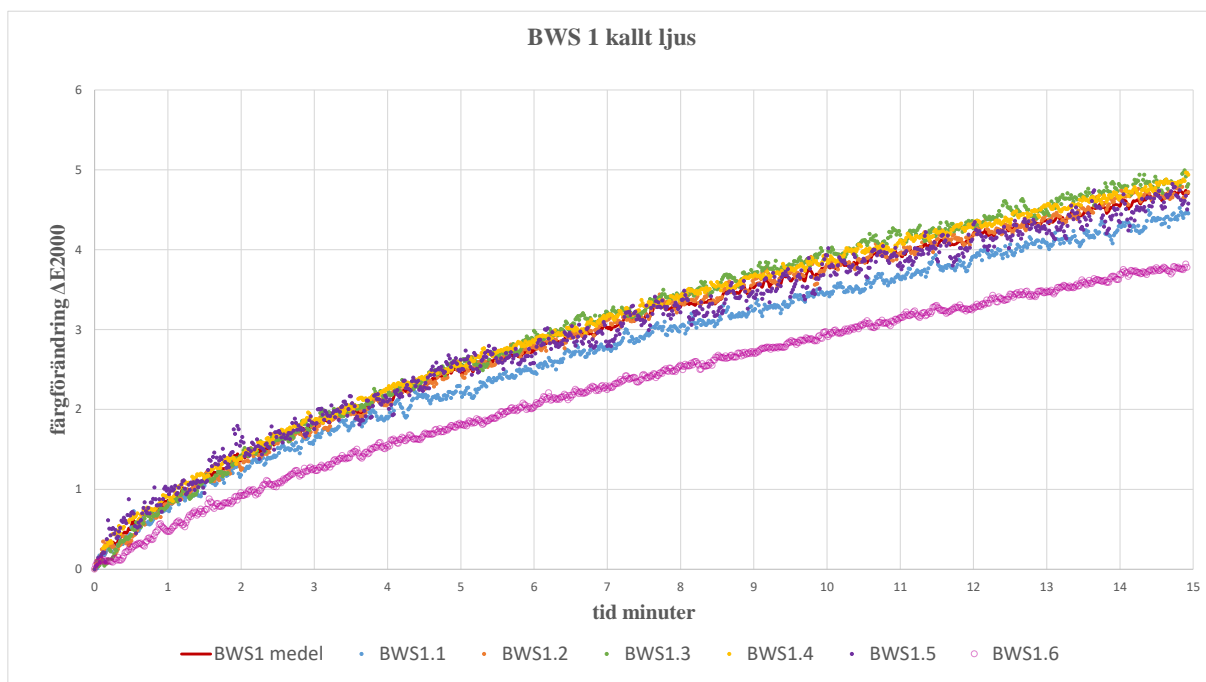
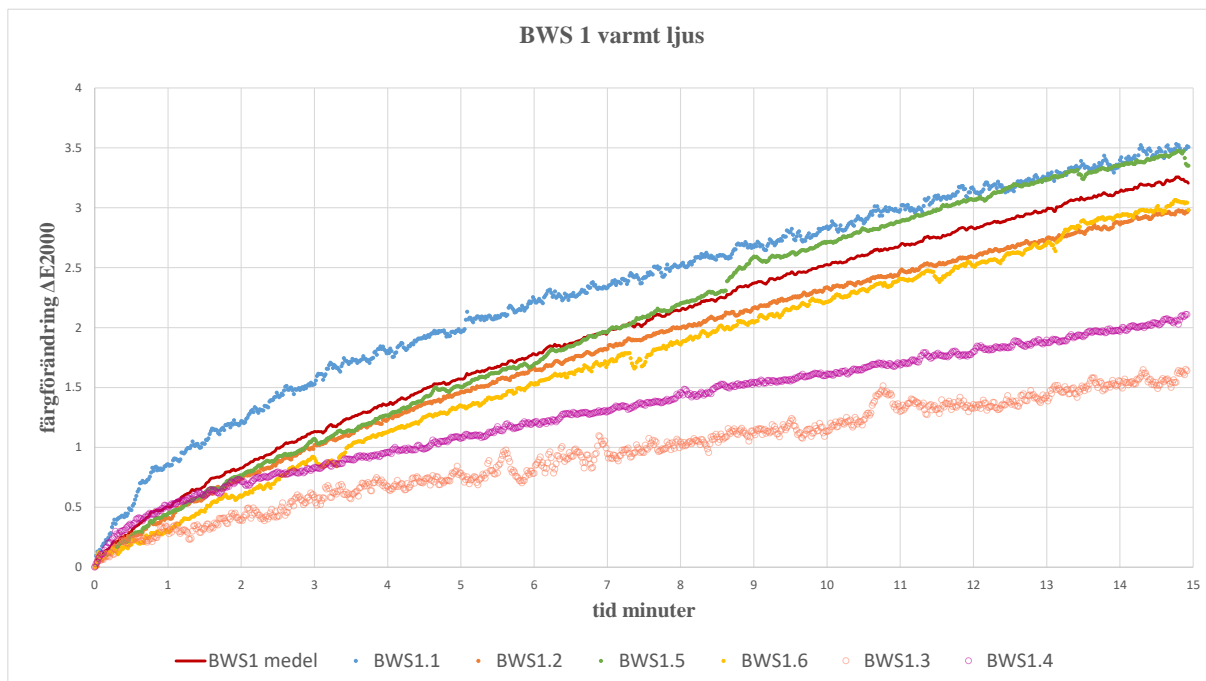




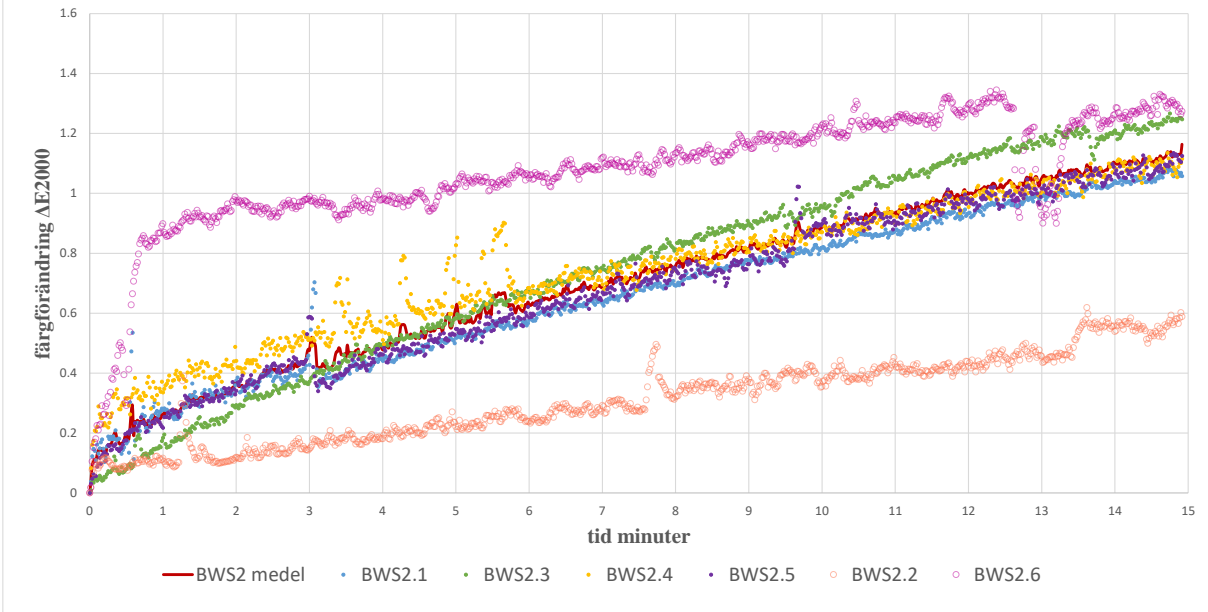


Bilaga 6. Grafer över samtliga mätningar

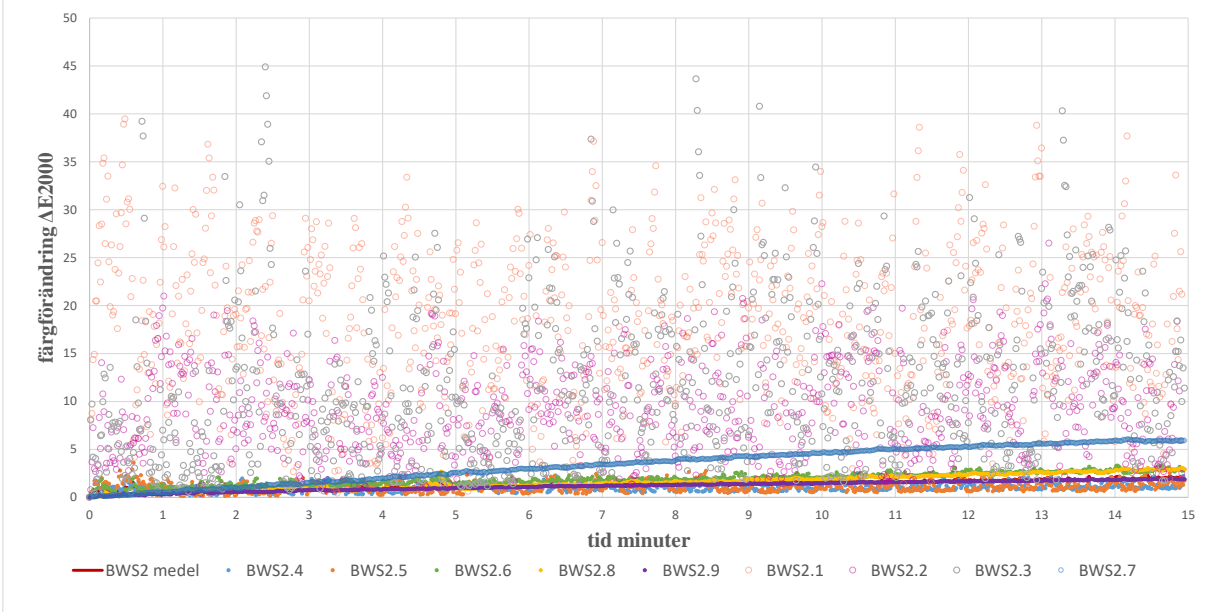
Samtliga mätningar presenterade som punktdiagram. Medelvärdet visas som en röd linje. De mätningar som definierats som extremvärden har fått en ring (°) istället för punkt som markör och ingår inte i medelvärdet.

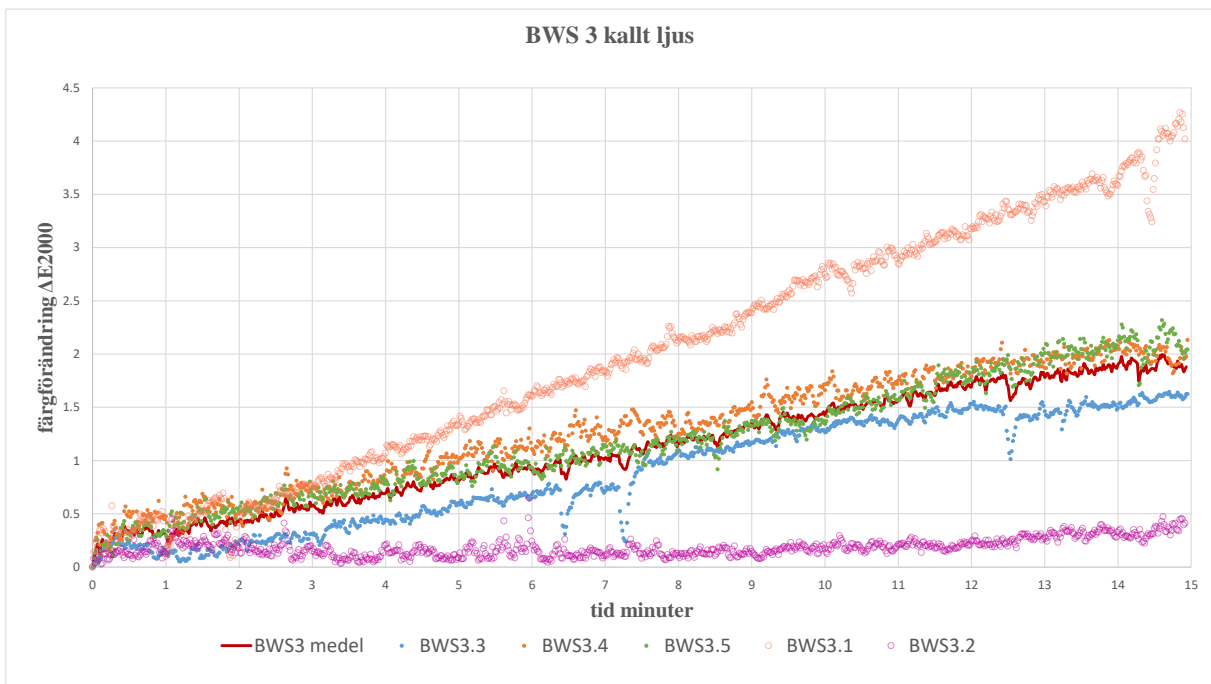
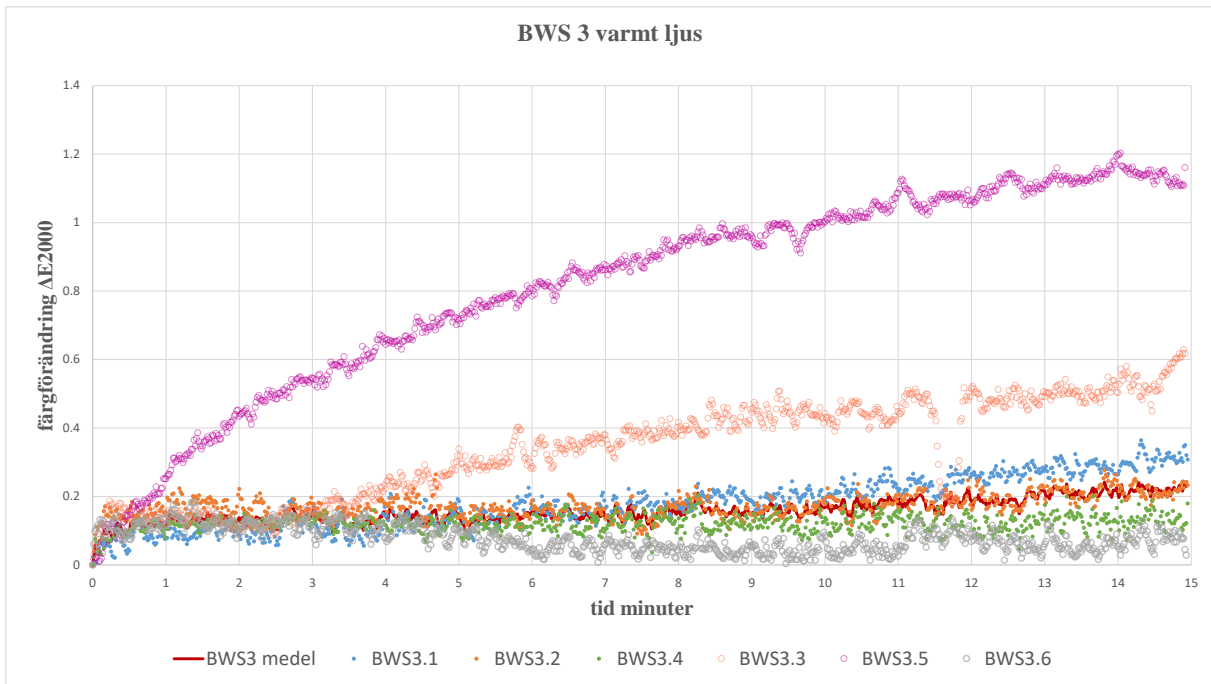


BWS 2 varmt ljus

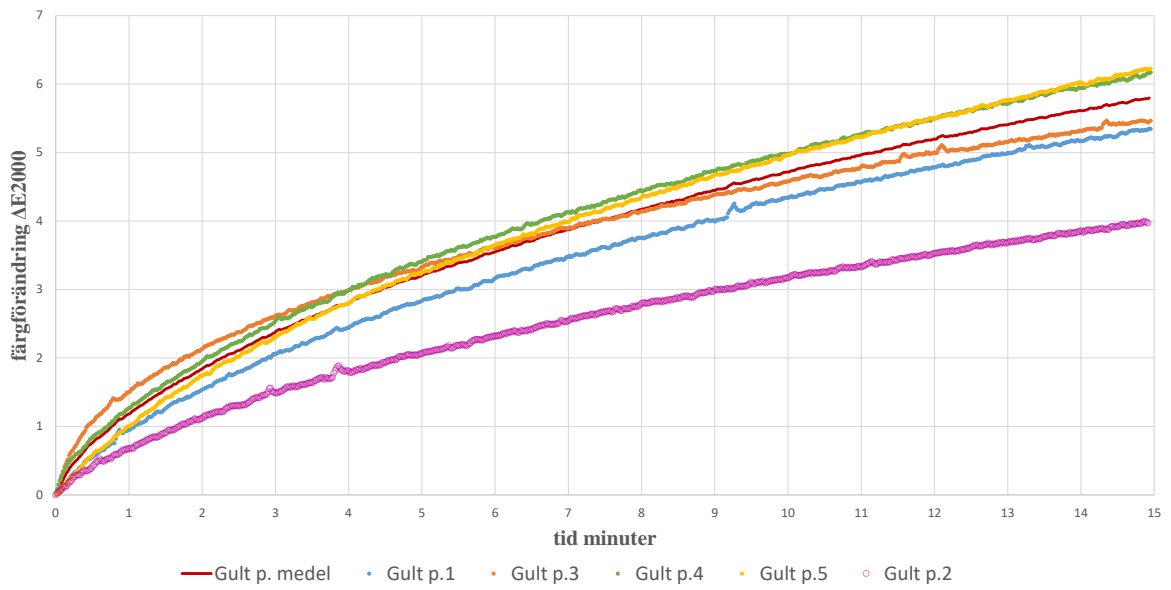


BWS 2 kallt ljus

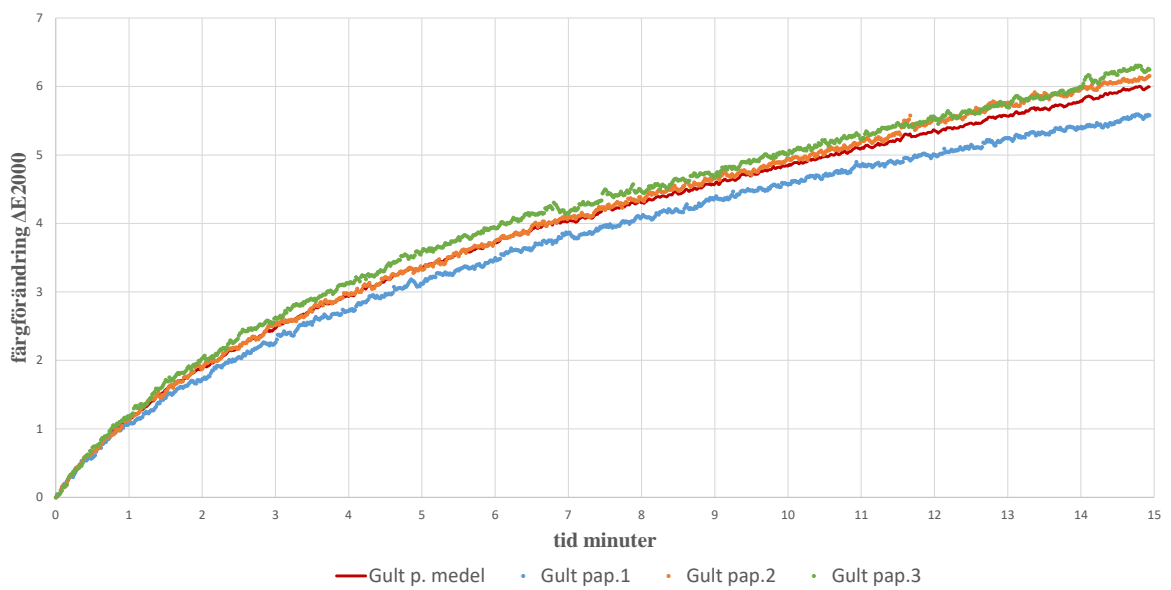


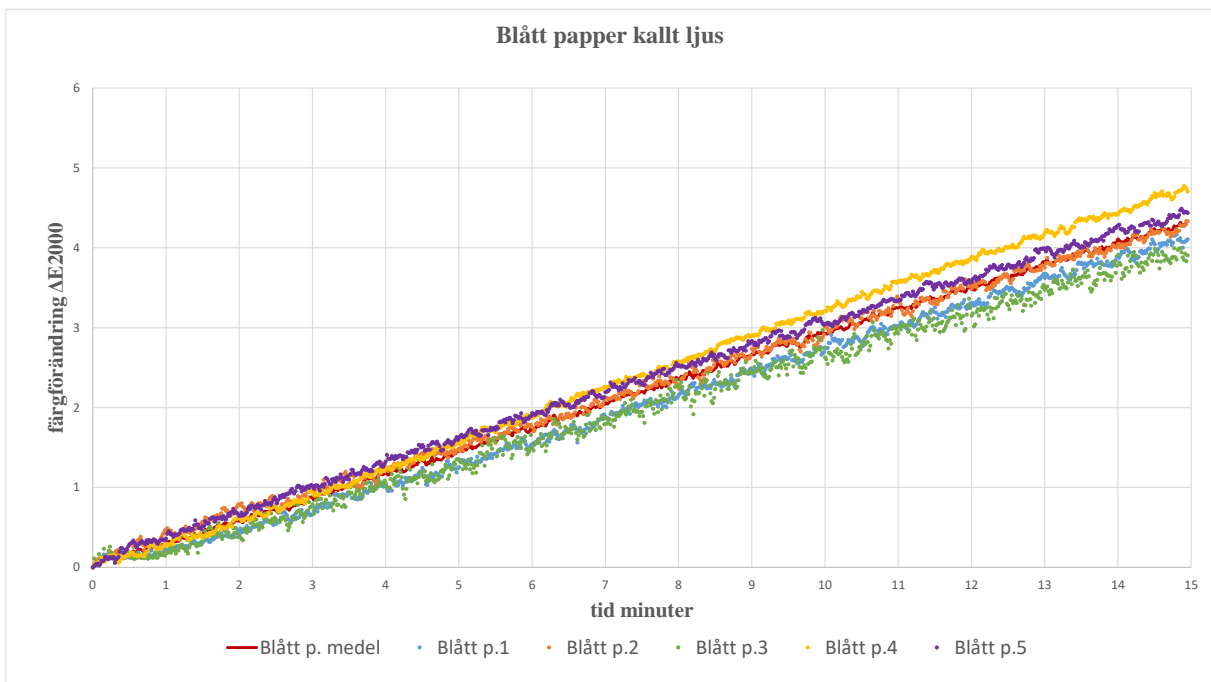
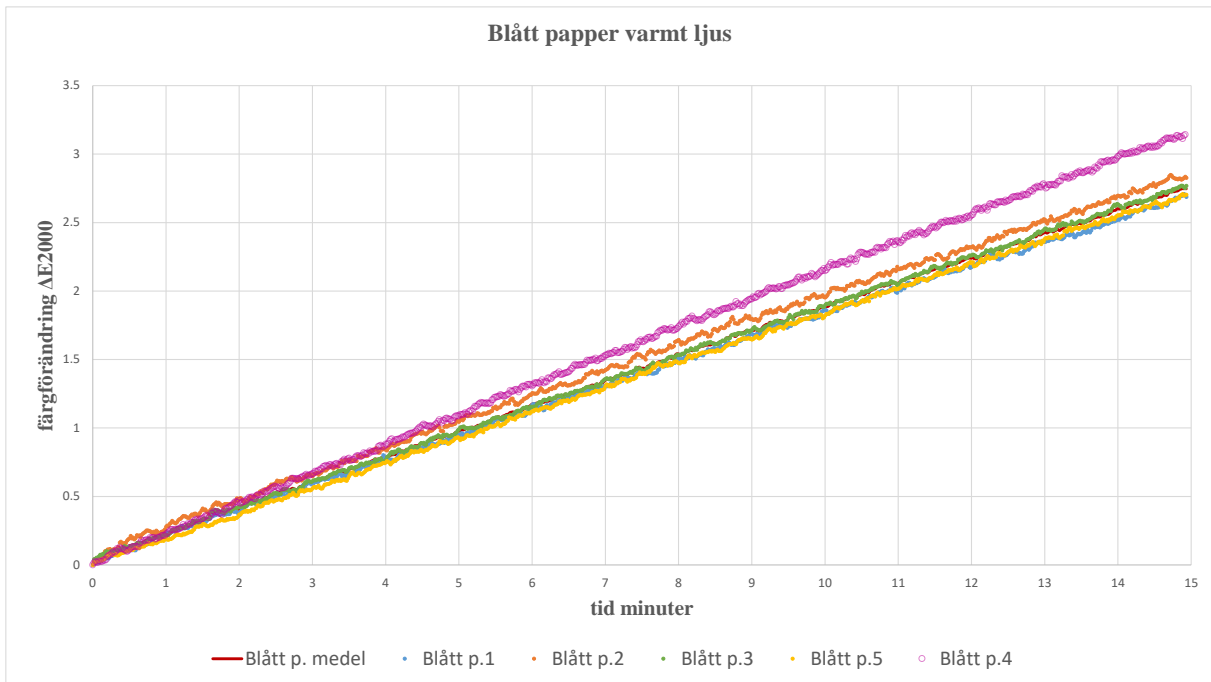


Gult papper varmt ljus

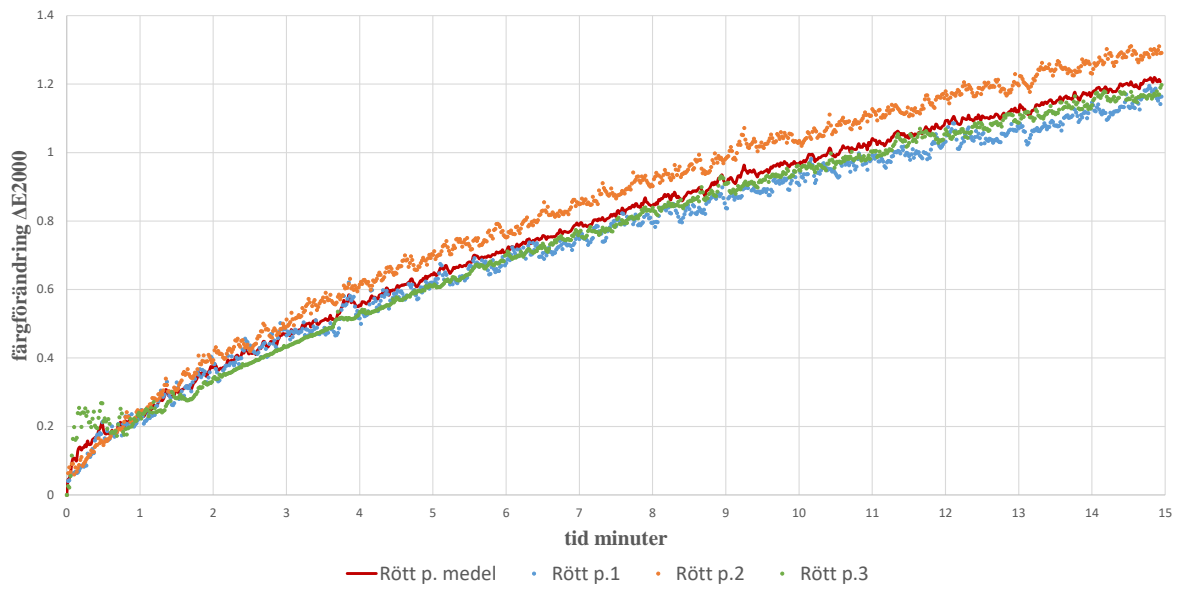


Gult papper kallt ljus

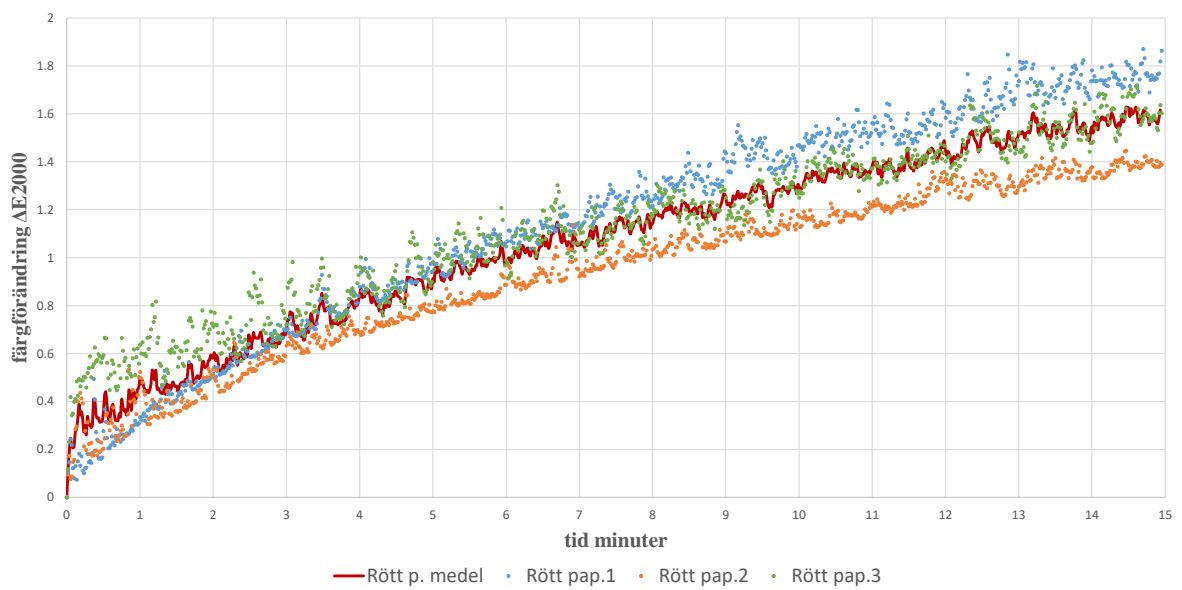


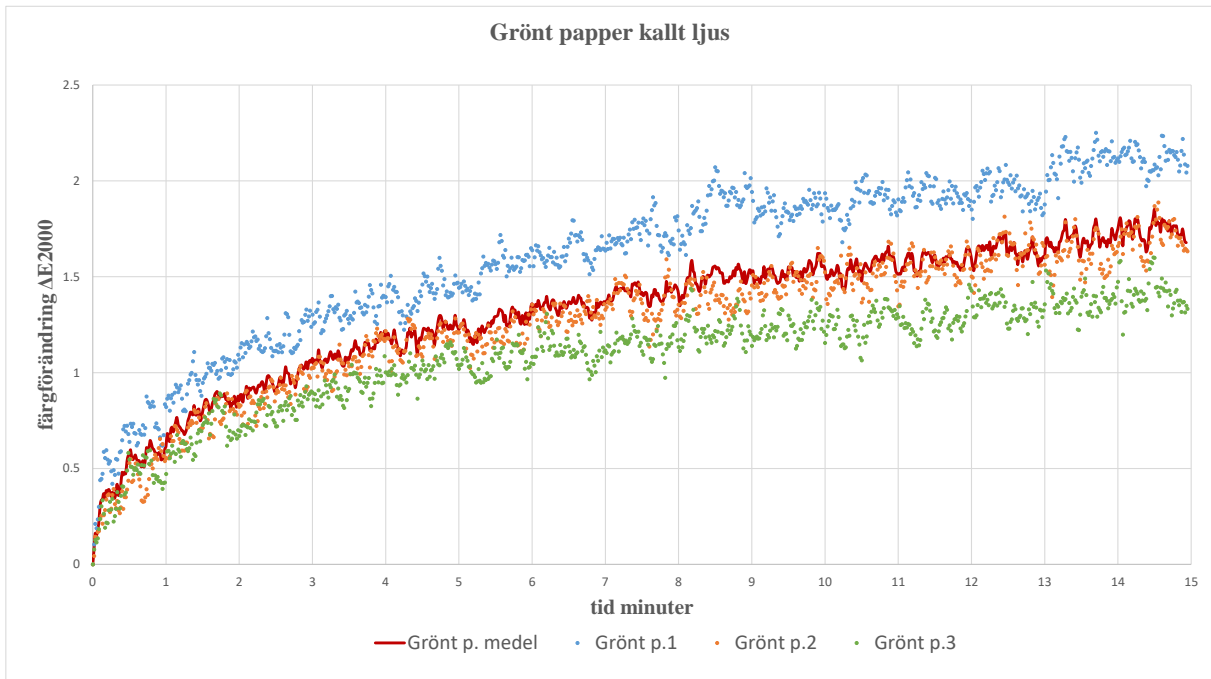
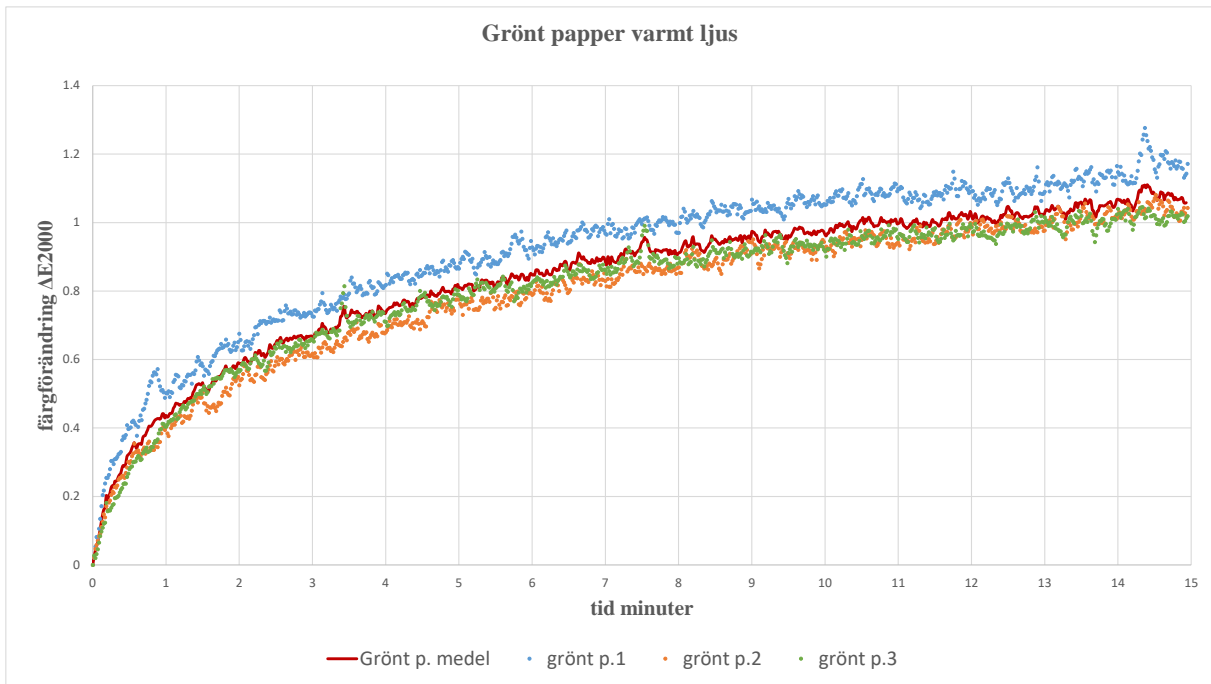


Rött papper varmt ljus

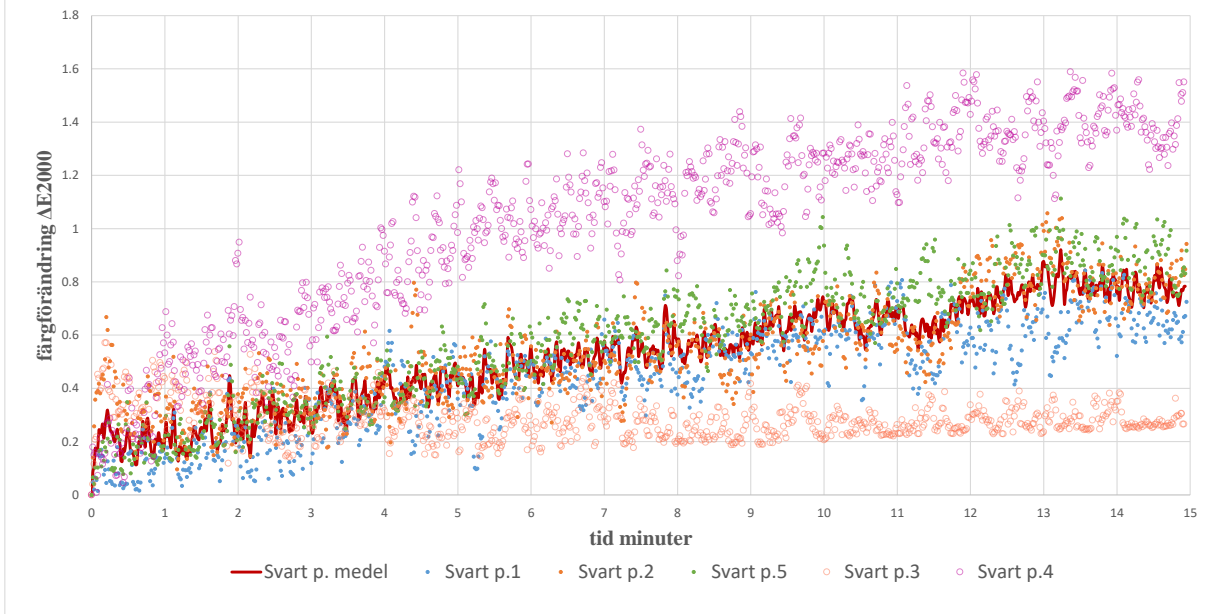


Rött papper kallt ljus





Svart paper varmt ljus



Svart paper kallt ljus

