# Limning av metallföremål

**Stina Damberg**

**Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i Kulturvård, Konservatorprogrammet**
**15 hp**
**Institutionen för kulturvård**
**Göteborgs universitet**

**2012:25**

Naturvetenskapliga fakulteten

GÖTEBORGS UNIVERSITET

# Limning av metallföremål

Stina Damberg

Handledare: Jonny Bjurman

Kandidatuppsats, 15 hp
Konservatorprogrammet
Lå 2011/12

GÖTEBORGS UNIVERSITET
Institutionen för kulturvård

GÖTEBORGS UNIVERSITET
ISSN 1101-3303
ISRN GU/KUV—12/25—SE

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

www.conservation.gu.se
Ph +46 31 786 4700
Fax +46 31 786 4703

Program in Integrated Conservation of Cultural Property
Graduating thesis, BA/Sc, 2012

By: Stina Damberg
Mentor: Jonny Bjurman

Adhesives for metal objects

ABSTRACT

Metal objects have traditionally not been repaired or constructed by adhesives, but primarily by soldering, welding, and mechanical assemblies. Soldering has many disadvantages for the conservator such as lack of reversibility, problems to solder a corroded surface, corrosive flux, heating causing damage to the patina, crystal structure and more. Bonding of historical metal objects with adhesives is here examined. A literature survey is done. Another goal with the work is to get an indication of the suitability of various adhesives by means of simple test methods.

Two test objects (candle holders) of tin, were chosen as basis for the investigation. Six adhesives were selected for testing: Paraloid B-72, (a thermoplastic acrylic copolymer), two different epoxies, (Araldite 2011 A + B and Bostik Epoxy Rapid) an ethyl cyanoacrylate product, (Loctite Super Glue Precision), Bostik contact, a contact adhesive based on polychloroprene rubber, Dana limstänger, (a hot melt adhesive consisting of an EVA copolymer). These adhesives were subjected to simple tests, a pH test, a so-called Oddy test and a simple tensile test with specimens of tin to investigate strength. In addition, a test for removability of the adhesive and a very simple contact test were carried out.

pH tests showed that many of the adhesives are quite acidic when wet. After curing the pH of the epoxies are about pH 9-10. The others were more neutral after curing. Oddy test showed that all but Paraloid B-72 affected lead slightly. ”Epoxy Rapid” affected silver and copper with a dark colour. The results of strength tests were somewhat difficult to interpret. The strength differed greatly between the adhesives. For example the specimens bonded by the hot-melt adhesive fell apart by themselves. The cyanoacrylate was so strong that in one sample the joint was not broken at all, instead the tin specimen broke. When the tests were done the two candlesticks were treated. Only some indicating conjectures can be made by these results.

Title in original language: Limning av metallföremål
Language of text: Swedish
Number of pages: 49
Keywords: Adhesives, metals, conservation, restoration

ISSN 1101-3303
ISRN GU/KUV—12/25--SE

Tack till:

Jag vill tacka följande personer som hjälpt till med denna uppsats:

Jonny Bjurman, handledare
Övrig personal på institutionen för kulturvård
Linda Denlert, konservator på Studio Västsvensk konservering, Göteborg
Karen Stemann Petersen, konservator på Nationalmuseets bevaringsafdeling, Danmark
Christina Tengnér, konservator på Armémuseum, Stockholm
Anna Adrian, konservator på Göteborgs stadsmuseum

# Innehållsförteckning

Innehållsförteckning ... 7
1. Inledning ... 8
1.1 Bakgrund och problemformulering ... 8
1.2 Syfte, frågeställningar, metod och avgränsningar ... 8
1.3 Litteratur och tidigare forskning ... 9
1.4 Begrepp och definitioner ... 10
2. Bakgrund om adhesion och limfogar ... 11
2.1 Adhesion och limfogar ... 11
2.2 Vad limmer består av och hur de stelnar ... 12
2.3 Olika polymerer i limmer ... 14
3. Limning av metaller ... 15
3.1 Inledning ... 15
3.2 Lödning ... 15
3.3 Metallerna ... 16
3.4 Att limma – rent praktiskt ... 18
3.5 Exempel på limning av metallföremål ... 19
4. Limmets egenskaper ... 22
4.1 Vad är ett bra lim? ... 22
4.2 Mekaniska egenskaper ... 22
4.3 Åldringsegenskaper, nedbrytning ... 23
4.4 Påverkan på föremålet och omgivningen ... 24
4.5 Reversibilitet/återbehandlingsbarhet ... 24
4.6 Estetiska egenskaper ... 25
4.7 Hälsa och miljö ... 25
4.8 Exempel på egenskaperna ovan hos olika limmer ... 26
5. Experiment ... 28
5.1 Material ... 28
5.1.1 Limmer som undersöks ... 28
5.2 Metoder ... 30
5.2.1 Inledning ... 30
5.2.2 pH ... 31
5.2.3 Oddy-test ... 31
5.2.4 Provning av hållfasthet ... 32
5.2.5 Reversibilitet och kontakttest ... 34
5.3 Resultat ... 34
5.3.1 pH ... 34
5.3.2 Oddy-test ... 35
5.3.3 Styrka ... 36
5.3.4 Övriga resultat ... 37
5.4 Testföremål ... 37
6. Diskussion ... 39
7. Sammanfattning ... 43
Käll- och litteraturförteckning ... 45
Bilaga 1: Ordlista ... I
Bilaga 2: Resultat från SEM EDX ... II

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund och problemformulering

Att sätta ihop trasiga föremål igen kan göras som en stabiliserande åtgärd när det är risk för materialbortfall. Det kan även fungera som en typ av restaurering, som kan göras av flera olika skäl: exempelvis för att göra dem begripliga för historiker och andra forskare, eller för allmänheten, för att tydliggöra deras estetiska värden, möjliggöra utställning, eller för att återskapa möjligheten att använda bruksföremål.

Det finns oerhört mycket skrivet om limning av glas och keramik, men rätt så lite om limning av metallföremål inom konserveringslitteraturen. Det finns ett par saker som det skulle kunna bero på. Den ena är att glas och keramik är sköra material som lätt går sönder i många bitar och kan restaureras/rekonstrueras genom att limmas ihop. Metaller däremot är i regel sega material som lättare deformeras än går i tusen bitar, när de exempelvis tappas i golvet. Det finns dock undantag, till exempel gjutjärn som är ett skört material. Dessutom kan korrosionsprodukter och många arkeologiska och vissa andra gamla metallföremål vara mycket sköra. Det finns även många exempel på att svaga lödningar går upp, eller att brott orsakas av spänningskoncentrationer där en stor kraft hamnar på en smalare del av föremålet som till exempel i vipplock på kannor. Det finns många olika exempel på hur metallföremål går sönder. Den andra saken som gör att man sällan läser om limning av metaller, är att metallföremål traditionellt inte har vare sig lagats eller tillverkats genom limning utan i första hand genom lödning, svetsning, plastisk bearbetning eller mekaniska sammanfogningar som nitar. Inom konservering finns också alternativet att inte laga en skada. Både lödning och limning är förenat med risker och om föremålet inte ytterligare skadas av att vara trasigt, kan det vara ett alternativ att låta det förbli fragment.

Under min praktikperiod har jag stött på att jag har behövt limma metaller vid ett par tillfällen, både metall mot metall och metall mot organiska material, och upplevde då att det var svårt att hitta litteratur om vilka material man borde använda och hur man borde göra. En förhoppning med detta arbete var att kunna få utökad kännedom om ämnet.

## 1.2 Syfte, frågeställningar, metod och avgränsningar

**Syftet** med denna uppsats är att belysa ämnet limning av metallföremål inom konservering och restaurering, samt att undersöka några olika limmer för att kunna få en antydan om vad som är lämpligt att använda. Det är även en målsättning att laga två testföremål av tenn efter att först genom olika metoder ha undersökt vilka limmer som lämpar sig bäst på ett liknande provmaterial med avseende på olika faktorer. Målet är att kunna få indikation för lämpligheten hos de olika limmerna med hjälp av enkla och billiga provmetoder som är möjliga att utföra själv.

**Frågeställningar:** Vad skiljer limning av metallföremål från limning av andra föremål? Vilka limmer är lämpliga? Skiljer det sig mellan olika metaller? Vilka fördelar och nackdelar finns hos de sex valda limmerna som undersöks med avseende på faktorer som hållfasthet, påverkan på föremålet och omgivningen, åldringsegenskaper, pH samt reversibilitet?

**Metoder** för att besvara frågeställningarna har varit en litteraturstudie, se kapitel 2-4, samt experiment. För beskrivning av experimentell metod se kapitel 5. Utifrån resultaten på experimenten limmades de två testföremålen och resultatet utvärderades. Utöver detta har gjorts ett studiebesök på Göteborgs Stadsmuseums magasin för att undersöka skador och gamla lagningar på metall, och för att få en inblick i hur konservatorer som arbetar med metall förhåller sig till frågan, har tre konservatorer tillfrågats.

**Avgränsningar:** Ämnet är mycket omfattande och jag har försökt att avgränsa det för att kunna genomföra det på den tid som finns för en kanditatuppsats. För att göra arbetet mer överskådligt har jag valt att enbart koncentrera mig på limningar metall mot metall. När metall limmas mot organiska material tillkommer många saker att tänka på som är mycket intressanta men som inte tas upp här. Fokus är i första hand på ickearkeologiska föremål eftersom egenskaperna skiljer sig mycket hos mineraliserade metallföremål. Dock förekommer exempel även från litteratur om arkeologisk metall. Uppsatsen är inriktad på mindre föremål inomhus, av samma anledning. Vid till exempel stora utomhusskulpturer tillkommer många faktorer för att garantera säkerhet och genomförbarhet, som skulle göra uppsatsen allt för omfattande. Av tänkbara tester har ett fåtal valts ut. Dessa förklaras under avsnitt 5.2. Jag har inte undersökt färgförändring, flexibilitet, eller krympning. Inte heller har olika ytbehandlingar innan limningen undersökts, eller hur de uppför sig i olika klimat, vilket först var tanken men vilket visade sig vara allt för tidskrävande. Jag har valt limmer som är relativt lättillgängliga i Sverige. Denna uppsats handlar om att limma och därför kommer jag inte gå in så mycket på alternativen till limning. Avsnitt 3.2 tar dock upp något om lödning. Utförda tester avses endast att visa indikationer, men kan ligga till grund för framtida, mer omfattande, studier.

## 1.3 Litteratur och tidigare forskning

Det finns stora mängder forskning och litteratur om limmer, och det har legat utanför tidsramarna för den här uppsatsen att ta del av allt. Forskning inom det ämnet bedrivs bland annat inom kemiska vetenskaper, industriell produktion, medicin och odontologi, och mycket annat. Alla har sina egna ingångar och olika syn på ämnet. Även inom konserveringen finns det mycket forskning om limmer, men mycket lite är inriktad mot metallföremål.

För grundläggande kunskaper och bakgrund har jag använt mig av *Materials for conservation* (Horie, 1987 och 2010) och *Science for conservators 3, adhesives and coatings* (Wilks, Newey et al., 1992).

Ett exempel på forskning om limmer inom konserveringen är den som under många år bedrivits vid Canadian Conservation Institute. Där har gjorts forskning om bland annat akryl- och poly(vinylacetat) limmer (t.ex. Down et al., 1994) som åldrats naturligt i många år. Uppdaterade resultat finns även från 2009. 2011 hölls även ett symposium ”Adhesives and consolidants for conservation: Research and applications”. Sammanfattningar därifrån kan hittas på Internet (Symposium 2011). Tyvärr nämns inte metall.

När det gäller limning av metaller så finns det mycket skrivet för produktionsändamål, till exempel vilket lim man ska använda när man konstruerar ett flygplan eller en bil och då är ju kraven ganska annorlunda än de som en konservator kan ha vid restaurering av ett föremål. Jag har till exempel läst boken *Adhesives for metals* (DeLollis 1970). Jag kunde konstatera att mycket var värdefullt i den typen av litteratur men vissa uppgifter var svåra att använda eftersom den fokuserar mycket på styrka och hållbarhet i mycket höga temperaturer och andra extrema omständigheter.

Konserveringslitteratur med inriktning på limning av metall har varit relativt svårt att hitta. Det finns en del fallstudier där det beskrivs hur man gått tillväga och det finns också en del råd i framför allt äldre böcker om metallkonservering. Exempel på detta tas upp i avsnitt 3.5 av denna uppsats. Ett problem med dem är att de ofta är flera årtionden gamla och det finns sällan uppföljningar om hur man ser på behandlingen nu för tiden. Ett annat problem är att de limmer som används eller rekommenderas sällan finns kvar som kommersiell produkt, och om de gör det är det inte säkert att receptet är detsamma längre. Det finns också mycket studier av

ytbehandlingar på metall vilket i vissa fall är lacker som kan användas även som limmer. Detta kan ge intressant information om olika polymerer, men säger inte så mycket om hur de fungerar i en limfog. Mycket av texterna jag hittat som gäller användningen av limmer inom konserveringen, finns i sammanställningar eller dokument från konferenser.

## 1.4 Begrepp och definitioner

I denna uppsats används ordet *lim*. I konserveringslitteratur på svenska används ibland ordet *adhesiv* som gissningsvis kommer direkt från engelskans *adhesive*. Ordet finns egentligen inte som substantiv i svenska språket, enligt svenska akademins ordlista. Jag har inte stött på ordet adhesiv på svenska i några andra fälts litteratur, där är det ordet lim som används även om exempelvis epoxiprodukter och liknande. Ordet lim definieras såhär i ”Plast och gummiteknisk ordlista”:

*”icke-metalliskt ämne använt för sammanbindning yta mot yta, som anbringas i flytande tillstånd och som sedan genom avsvalning, avdunstning eller kemisk förändring hårdnar till ett mellanskikt med betydande sammanhållningsförmåga mellan ytorna; jfr klister”*
(Standardiseringskommissionen i Sverige och Tekniska nomenklaturcentralen, 1986):

I bilaga 1 finns en kort ordlista.

# 2. Bakgrund om adhesion och limfogar

## 2.1 Adhesion och limfogar

Exakt hur det fungerar när två ytor limmas fast mot varandra, är en mycket komplex fråga. Flera teorier har framlagts och det är troligt att flera olika mekanismer samverkar (Karmann & Gierenz, 2001 s. 4-6). Mycket förenklat kan sägas, att limningseffekten beror dels på mekanisk vidhäftning som uppstår när limmet tränger ner i fördjupningar och porer i materialen, men framför allt beror adhesionen på krafter på molekylär nivå. En vanlig teori förklarar det med adsorption och att molekyler dras till varandra med Van der Waals-krafter, eller binds med andra intermolekylära (sekundära) bindningar.

*Adhesion* är när molekyler mellan två kroppar vid nära kontakt vidhäftar vid varandra medan *kohesion* är kraften som gör att ett material hänger samman. Kohesionen beror på de kemiska bindningarna i materialet. Kraften verkar bara på små avstånd. Om ett föremål har gått sönder går det inte att få det att bli helt igen genom att bara sätta ihop bitarna, de är för oregelbundna på mikronivå och därför kommer avståndet att vara för stort. Avståndet mellan molekylerna i materialet som skall limmas, och limmets molekyler måste också vara mycket litet för att adhesionen skall kunna ske. För att en sådan kontakt ska kunna uppstå måste limmet helt och hållet täcka ytan, alltså den måste *väta* ytan helt och hållet. Om vätskan inte väter ordentligt ligger den kvar på ”topparna” av ytan i brottet.

Hur effektiv vätningen blir beror på ytspänningen, alltså på krafterna inuti vätskan och krafterna mellan vätskan och ytan. Ju lägre ytspänning vätskan har desto lättare är det för den att ”rinna ut” och väta ett fast ämne. Det är bra om det finns starka attraktionskrafter mellan molekylerna i vätskan och i det fasta ämnets yta. Om de tilldragande krafterna inom vätskan är starkare kommer det att formas droppar på ytan istället. Ett vanligt sätt att mäta vätning är att lägga en vätskedroppe på ytan och mäta kontaktvinkeln. Om vinkeln är 0 har vätskan spridits komplett och kunnat väta en slät yta. Limmer har ofta polära grupper i sina molekyler. Om ytan är väldigt opolär, till exempel om den är täckt av fett eller vax, kommer det inte att uppstå sekundära bindningar mellan molekylerna i limmet och substratet. Flytande limmer som används i konservering har låga ytenergier, under $10^{-5}$ N/m. Rena metaller och även många metalloxider har mycket högre energier som till exempel $5 \times 10^{-5}$ N/m till $10^{-3}$ N/m. En vätska av låg energi kommer att väta en yta av hög energi väl och därför är vätning sällan ett problem med den typen av material så länge ytan är fri från kontaminanter (Horie, 1987 s. 72-73). Limmet måste dessutom ha rätt viskositet för att kunna rinna ut över ytan på ett bra sätt. Ett lim med låg viskositet kommer att flyta ner i alla små sprickor och hålrum i högre grad. Där kan även kapillärkraften spela in (Wilks, Newy et al., 1992 s. 18-20) samt (Horie, 1987 s. 72- 73).

En limfog måste kunna motstå krafter för att fungera. Ju större tvärsnittsarean är, desto fler är bindningarna och då kan fogen motstå en större kraft utan att brista. En större kraft krävs för att dra isär en limfog på en bred stång, jämfört med en smal stång. Föremålet måste liksom limfogen motstå *tryck*, *drag-* och *skjuvkrafter*. Om två sammanlimmade kroppar dras isär i en riktning som är vinkelrät mot tvärsnittsytan, utsätts limfogen för dragspänning (*eng: tensile stress*). Om istället två sammanlimmade kroppar dras med en kraft som är parallell med limfogens tvärsnittsyta så utsätts den för skjuvspänning *(shear stress)*. Dessutom kan det talas

om fläkning (*peel*) och klyvning. I praktiken är det ofta en kombination av krafterna, till exempel vid böjning.

Om man dividerar kraften med tvärsnittsarean, får man fram den spänning som limfogen utsätts för. Enheten för spänning är $N/m^2$ eller Pascal, vilket är samma sak. När den pålagda lasten är större än de intermolekylära krafterna så går materialet sönder. En limfogs styrka beror dels på bindningarna mellan limmet och de två ytorna på det trasiga föremålet, (adhesion). Men i de allra flesta fall beror styrkan också på själva limmets styrka, (kohesion) och det har större påverkan ju tjockare lagret med lim är. Den maximala dragspänningen ett material kan tåla innan det går sönder kallas brottgräns. Dock måste man också ta hänsyn till materialets deformation vilket komplicerar saken (Wilks, Newey et al., 1992 s. 70).

Alla fasta ämnen deformeras något när de utsätts för en kraft. Hur mycket beror delvis på deras form men också på att vissa material är styvare än andra. Reversibel deformation kallas elastisk, sådan som stannar kvar kallas plastisk. Töjning (*strain*) är ett mått på relativ deformation till exempel ändringen i längd delat på originallängd, om man drar ut till exempel ett gummiband. Styvhet kan räknas ut genom att ta spänningen delat på töjningen. (Stress/strain) Styvhet kallas formellt för Elasticitetsmodul. Den som gäller för draghållfasthet kallas Youngs modulus. Om man tittar på Youngs modulus och jämför material, kan man bland annat se att epoxi och fenolformaldehydlimmer är mycket mer flexibla än de flesta metaller (Wilks, Newey et al., 1992 s. 74).

Om en limfog går sönder så kan det ske på olika sätt: Vid kohesivt brott i limmet, sker brottet i själva limmet. Vid adhesivt brott sker brottet i gränsytan mellan limmet och adherenten. Eller så kan det gå sönder i själva föremålets material antingen strax vid sidan av fogen eller på ett helt annat ställe, vilket kallas för kohesivt brott i substratet (Horie, 1987 s. 74).

Glasomvandlingstemperatur ($T_g$) är en temperatur där ett polymermaterial ändras från hårt och glasaktigt till ett mjukare gummiaktigt tillstånd. Över $T_g$ finns tillräckligt med energi för att molekylkedjorna ska kunna ”rotera” omkring varandra (Shilling, 1989). Värdena för $T_g$ kan variera beroende på hur man mäter, upp till 25 °C skillnad. Nu finns standardmetoder för hur mätningen ska göras (ISO 11357-2:1999, ISO 11359-2:1999) men äldre mätvärden är ej gjorda därefter och därför kan värden i äldre litteratur inte tas för absoluta (Horie, 2010 s. 24-25).

## 2.2 Vad limmer består av och hur de stelnar

Limmer kan vara antingen naturliga eller syntetiska. Endast syntetiska limmer tas upp i den här uppsatsen eftersom de naturliga vanligen inte används på metall. Syntetiska organiska limmer är en slags plast och de består till större delen av polymerer. Polymerer är mycket stora molekyler som består av en mängd monomerer som länkat samman. De kan delas in i långkedjiga polymerer, så kallade termoplaster, eller nätverksbildande polymerer, så kallade härdplaster. Termoplasterna smälter vid uppvärmning och kan lösas med vissa lösningsmedel. Det är ett omvändbart förlopp, det vill säga materialet hårdnar igen vid avkylning och evaporering. Härdplaster kan inte smältas utan härdar irreversibelt genom kemiska reaktioner.

Polymerisation innebär att flera molekyler slår sig samman till en större molekyl. Det kan ske på olika sätt: Stegvis eller kedjevis polymerisation. Stegvis polymerisation sker genom kondensationsreaktion, så att en liten molekyl avges, oftast vatten. Kedjevis polymerisation, också kallad additionspolymerisation sker genom att monomermolekyler adderas till änden av en växande kedja. Här bildas inga andra molekyler (Nationalencyklopedin 2012-05-08). Polymerer som görs av mer än en sorts monomer kallas för sampolymerer (*co-polymers*).

Limmer innehåller inte bara polymerer. Beroende på vilken typ det är så kan de till exempel innehålla lösningsmedel. Det är också mycket vanligt att kommersiella limmer innehåller olika tillsatsämnen, additiv såsom mjukgörare, fyllmedel, antioxidationsmedel m.fl. Företagen vill i regel inte berätta exakt vad produkterna innehåller och de kan också ändra innehållet utan att meddela detta. Exempelvis upptäcktes att färdigblandade tuber med Paraloid B-72 innehöll cellulosanitrat och det visade sig då att tillverkaren för ca 13 år sedan ändrat receptet och lagt till cellulosanitrat utan att meddela detta (Nel & Lau, 2009). Det går inte att överföra ett lims alla egenskaper till ett annats bara för att de har samma ”grundpolymer”.

Limmet måste påföras som en vätska men för att hålla för påfrestningar måste den vara fast. Det finns olika sätt för att åstadkomma denna effekt. Man kan dela in limmer utifrån deras stelningssätt, till exempel så här:

1. Smältlim. Limmet smälts och *stelnar* efter avkylning.
2. Lösningar/dispersioner. Lösningsmedlet/dispersionsmedlet avdunstar och limmet *torkar*.
3. Reaktionslim. En kemisk reaktion, ofta mellan två komponenter, sker och limmet *härdar*.

Dessa stelningssätt kan även kombineras på otaliga sätt (Wilks, Newey et. al., 1992 s. 21 samt *Limhandboken*, 1992 s. 13).

Ett smältlim är ett material som smälts för att kunna göra en sammanfogning och som sedan blir fast när det kyls ned. Alltså måste det bestå av ett termoplastiskt ämne. Smältlimmer smälter vid relativt låga temperaturer så att de flesta föremål tål värmen – men det finns alltid risker med att tillföra värme till ett föremål. Fördelar med dem är att de inte krymper vid torkningen och inte innehåller lösningsmedel. Nackdelar är att de ofta har hög viskositet och kan vara svåra att få att väta ytorna ordentligt, att de kan stelna innan de fått ordentlig kontakt med underlaget, speciellt på material som leder värme bra och att deras adhesiva och kohesiva styrka vanligen är låga på grund av få eller inga polära sidogrupper (Wilkes, Newey et al., 1992 s. 57).

Lösningsmedelsburna limmer har lösts i ett lösningsmedel och påförs ytan i flytande form. Lösningsmedlet avdunstar sedan och lämnar ett fast ämne. De har ganska hög reversibilitet eftersom de, åtminstone i teorin, kan lösas upp igen. Nackdelar är att de krymper mycket när lösningsmedlet avgår och att lösningsmedel ofta är ohälsosamma. En dispersion är en blandning med partiklar i vätska, oftast vatten. Fördelar med dispersioner är att man kan använda polymerer med hög molekylvikt som skulle bli tjockflytande i lösning, men i dispersion ändå kan ha goda vätningsegenskaper. En polymer som används i dispersion får oftast inte samma egenskaper som samma ämne löst i lösningsmedel (De Witte et al., 1984 s. 32-34). Dispersioner innehåller ämnen som håller dem i dispersion, i vissa fall kan de vara sura eller innehålla korrosiva salter, som kan skada metallen (Horie, 1987 s. 29). Även dispersionernas vatteninnehåll kan i vissa fall vara en orsak till korrosion. Kontaktlim är lösningsmedels- eller vattenbaserade limmer, men man låter det mesta av torkningen ske före fogytorna läggs ihop. Kontaktlim kräver högt presstryck.

Limmer som härdar genom kemisk reaktion består före härdningen av lågmolekylära monomerer eller oligomerer som genom kemiska reaktioner omvandlas till högmolekylära ofta tredimensionellt tvärbundna polymerer. Reaktionen kan ske på flera olika sätt som inte närmare beskrivs här. Limmer som härdar med hjälp av en kondensationsreaktion avger små molekyler vid reaktionen, ofta vatten. Reaktionslimmer används ofta när en starkare limning behövs till exempel hos tunga metallobjekt. De kan bestå av en komponent, som reagerar med

exempelvis syre eller fukt, eller två komponenter som reagerar med varandra. Exempel på reaktionslimmer är epoxi och cyanoakrylat. Det finns också limmer som härdar under inverkan av uv-strålning eller vid frånvaro av syre (anaerobiska limmer).

## 2.3 Olika polymerer i limmer

I detta stycke ges några exempel på polymertyper som används till limmer inom konservering. Mer om deras egenskaper och lämplighet för metaller kommer i avsnitt 4.7. I princip alla sorters polymerer och dessutom en mängd andra material kan användas som limmer. Enligt en uppgift finns det minst 250 000 kommersiella limprodukter (Karmann & Gierenz, 2001 s. 94).

Inom konservering har naturliga polymerer såsom animaliskt lim och stärkelseklister använts mycket, men så vitt jag känner till inte så mycket till metall. Bland de syntetiska limmer som använts inom konservering i allmänhet har vinyl- och akrylmaterial dominerat. Poly(vinylacetat) är mycket använt, både som lösning och som dispersion. ”Akryl” syftar på en stor grupp av ämnen. Majoriteten kommer från två sorters monomerer, akrylaterna från akrylsyra och metakrylaterna från metakrylsyra. Det är enkelt att göra sampolymerer med olika egenskaper. På akrylfältet användes först homopolymerer men sedan övergick man i princip helt till akrylat-metakrylat-sampolymerer (Bromelle et al., 1984 s. 4). Akrylpolymerer kan användas både som termoplaster och påföras i lösning eller som kemiskt härdande reaktions-limmer. Paraloid B-72, som har fått en särställning i konserveringsvärlden, anses numera vara en sampolymer av etylmetakrylat och metylakrylat (se t.ex. Horie, 2010 s. 10, s. 159). Till akrylgruppen kan också cyanoakrylat räknas. Cyanoakrylat-limmer baseras på alkyl-2-cyanoakrylatmonomerer och de utgör så kallade snabb-lim eller superlim som härdar på ett par sekunder. Det finns en sidogrupp som kan vara etyl-, metyl-, eller butyl (Wilks, Newey et al., 1992 s. 55-56). Cyanoakrylater härdar genom en polymerisation som sker i närvaro av svaga baser – i praktiken är det vatten på ytorna som orsakar reaktionen. Om ytorna är sura eller om atmosfären är för torr kommer det inte att bli någon fast limfog. Det fungerar bäst med tunna fogar, och på föremål med perfekt passform (Down, 2001(A) s. 35-38).

Epoxi är reaktionslimmer som används för starka limningar. Det finns många olika sorters epoxi med olika egenskaper. De har gemensamt att varje molekyl innehåller två eller flera så kallade epoxi-grupper. Epoxi görs i två steg, först behövs långkedjiga molekyler med en epoxigrupp. Oftast är det epiklorhydrin och bisfenol A. De reagerar i en kondensationsreaktion och det är denna produkt som är hartsdelen av tvåpackssystemet. Sen behövs en ytterligare monomer som ofta är en di- eller polyamin eller amid som tillsätts vid själva limningen, den finns i den så kallade härdaren och orsakar en tvärbindning så att ett nätverk bildas (Wilks, Newey et al., 1992 s 54). Polyester används som reaktionslim för sten och metall. Två-komponentspolyester limmer består av pre-polymerer lösta i en reaktiv monomer tillsammans med en inhibitor. När den andra komponenten, som är en peroxidinitiator tilsätts sker en reaktion till polymerisation och värme avges. Krympningen är ca 8% och reaktionen fortsätter flera månader. För att få det stabilt bör härdningen ske i värme (Horie, 2010 s. 283-285).

Cellulosanitrat är ett ämne som bildas av cellulosa som förestras med salpetersyra. Det har använts mycket för att laga keramik. Exempelvis ”Karlssons klister” är baserat på cellulosa-nitrat. Så kallat kontaktlim kan göras av olika material, ofta är det av olika former av syntetiskt gummi t.ex. polykloroprengummi och nitrilgummi (Karmann & Gierenz, 2001 s. 11). Silikoner är semi-organiska polymerer som kan ha flera olika sammansättningar och därav få olika egenskaper. Andra limtyper som har använts mycket för metall industriellt men inte så mycket inom konservering är till exempel fenolformaldehydlimmer och urea formaldehydlimmer, och polyuretanlimmer (Karmann & Gierenz, 2001 s. 37-38). Fenol- och aminohartser visade sig snabbt ha sämre egenskaper för konservering än epoxi (Bromelle et al., 1984 s. 4).

# 3. Limning av metaller

## 3.1 Inledning

Metaller är tunga och det gör att starka limmer ofta behövs. Nackdelen med limning är att fogen inte får samma styrka som en hårdlödning. Det kan vara ett problem för mycket tunga föremål och för föremål som används och behöver tåla högre belastningar, men för museiföremål kan limningen ofta vara tillräcklig.

Många metaller är sega material som uppvisar hög plastisk deformation. Det gör att det krävs ganska mycket för att ta sönder metaller, och när det väl händer blir passformen inte alltid så bra. Men det finns många undantag. Gjutjärn till exempel går gärna sönder vid kraftiga stötar. Också många andra gjutna metaller kan, om de får bubblor i gjutningen, lätt gå sönder. Många korrosionsprodukter är mycket sköra och många metaller får svagare och skörare egenskaper när de åldras. Det finns också många exempel på att svaga lödningar går upp, eller att brott orsakas av spänningskoncentrationer där en stor kraft hamnar på en smalare del av föremålet.

Metallföremål är ofta släta och ickeporösa. Det har stor betydelse vid limning med lösnings-medelsburna limmer. Då måste lösningsmedlet kunna avdunsta för att limmet ska stelna. För kompakta material med släta ytor är det svårt för lösningsmedlen att avdunsta från limmet och det gör det svårt för en god limfog att bildas. Vid limning av icke-porösa material med lösningsmedelsbaserat lim avdunstar limmet längs med limfogens sidor vilket tar längre tid, men det är inte omöjligt (Koob, 1986 s. 13). Därför är det vanligare att använda material som härdar genom kemisk reaktion på släta metaller och andra sådana material. Dessa är olösliga men kan ibland tas bort med värme eller svällas med lösningsmedel. Eftersom materialet inte är poröst kan svällning i många fall ske utan fara för objektet och limmet kan petas bort. Därför kan behandling med irreversibelt härdande limmer anses reversibel på vissa typer av tåliga metallytor (Cronyn, 1990 s. 90-91). Gjutna metaller kan däremot vara ganska porösa (DeLollis, 1970 s. 190), vilket också gäller för en del arkeologiska metallföremål som består till stor del av korrosionsprodukter.

Så fort en metall går sönder kommer de nya ytorna att reagera med luftens syre och andra ämnen och bilda ett oxidlager på ytorna. Metalloxider kan vara svårare att väta, men det är inte alltid så (*Limhandboken*, 1991 s. 37). Korroderade metaller innehåller ibland stora porer, ojämnt formade kristaller och små sprickor. Metallen kan accelerera nedbrytningen av polymeren, och polymeren eller andra material i limmet kan orsaka korrosion på metallen. Metaller kan ibland fungera som katalysatorer för polymerers oxidation (Chan & Allara, 1974 s. 12).

## 3.2 Lödning

Principen för lödning är att delar av metall fogas samman genom att en metall som har lägre smältpunkt påförs i smält form genom värmning och därefter stelnar genom avsvalning. Det finns mjuklödning och hårdlödning. Den förstnämnda görs vid en lägre temperatur och lodet är då vanligen en legering som har en smältpunkt runt 150-250 ° C. Det kan vara en legering av tenn och bly, men idag finns också blyfria mjuklod. Hårdlödning görs vid högre temperaturer, över ca 450 ° C (temperaturangivelserna varierar). Lodet har då högre smältpunkt och består av andra metaller till exempel samma som föremålet men legerat med exempelvis zink för att

sänka smältpunkten. Hårdlödning ger mycket starka fogar som kan jämföras med originalmetallens på silver eller kopparlegeringar (Wilks, Newey et al., 1992, s. 60).

Ytorna som ska lödas måste vara rena och fria från korrosionsprodukter. Även tunna oxidlager kommer att störa processen. Värmeprocessen som behövs för att smälta lodet kommer dock att orsaka oxidation av metallen. Därför används så kallat flussmedel som finns i olika varianter. Många innehåller korrosiva ämnen (Plenderleith & Werner, 1971 s. 210-213). Det flytande lodet blandar sig med metallytorna och formar ett väldigt tunt lager av legering. Det beror på att atomerna kan röra sig mer när de blir varma, när lodet stelnar så sker ingen mer blandning. Lödning används ofta när man vill ha en starkare fog än vad limmet klarar av. I hårda fuktiga klimat håller lödning bättre än plastmaterial. En åsikt är, att en ytterligare fördel med att använda sig av lödning är att hantverket då hålls levande (Informant 1).

Det finns också en del nackdelar med lödning. Ur reversibilitetssynpunkt är lödning inte bra eftersom lödtenn är nästan omöjligt att få bort utan att skada underliggande yta. Värme kan i vissa fall orsaka skada hos materialet. Snabb lokal upphettning kan ge strukturförändringar och spänningar. Även nytillverkade föremål får lägre motstånd mot spänningar och töjningar efter lödning, och gamla föremål med komplicerad historia av korrosion och lagningar löper högre risker (Stambolov, 1985 s. 59). Ofta behöver hela föremålet hettas upp. Snabb upphettning och nedkylning av metallobjekt med emaljyta eller en jämn patina eller korrosionskrusta, kan leda till skador eftersom ren metall utvidgas mycket mer än till exempel metalloxider. Upphettningen kan också skapa färgförändringar i patinan. Det går inte att löda riktigt korroderad metall utan att ta bort korrosionslagret först. Temperaturerna som krävs för hårdlödning av metall kan ändra föremålets mikrostruktur vilket innebär att värdefull information om användning och tillverkningsprocesserna går förlorade. När det gäller mycket gamla föremål kan lödning väljas bort för att inte förvirra framtida forskning om föremålet (Asderaki- Tzoumerkioti, 2009 s. 174). Numera finns möjlighet att komma runt upphettningen genom att löda med laser. Då smälts lodet med en laser som koncentrerar värmen till en liten punkt (Informant 1).

Förr var det inte ovanligt att löda silver med tennlod. Det kan orsaka så kallad ”fretting”. Silvret ”äts bort” och blir svartfläckligt. Det beror på att silver är lösligt i tenn och ett lager av $Ag_3Sn$ bildas. Effekten är inte så stor vid själva lödningen utan det är först över 221 ° som stora problem uppkommer. Om man ska löda silver med hårdlödning är det mycket viktigt att ta bort allt tennlod först (van Bellegem et al., 2004).

## 3.3 Metallerna

Här nedan följer en liten genomgång med information om de olika metallerna som kan vara relevant i förhållande till limning. Framför allt om ämnen som finns i limmer som kan få dem att korrodera. Om inte annat anges har informationen hämtats från *Metals and Corrosion- A Handbook for the Conservation Professional* (Selwyn, 2004).

*Guld* är en mycket mjuk metall. Vanligen innehåller guld en del silver eller koppar. Rent guld är mycket korrosionsbeständigt. Arkeologiskt guld som legat länge i jorden kan bli poröst och skört och få sprickor från spänningskorrosion. Lödning av guld med blytennlod kan orsaka stora skador eftersom guld löser sig i det smälta lodet vilket kan skapa hål. Guldet reagerar också med tenn och bly och bildar föreningar som är sköra och har mycket låga smältpunkter och kan orsaka flera andra problem i materialet (Selwyn, 2004 s. 79-80). Förgyllning kommer inte att tas upp i denna uppsats.

*Silver* är också mjuk och legeras vanligen med koppar. Silver reagerar med svavelhaltiga gaser och får en svart beläggning av silversulfid. Svavel kan finnas i många material t.ex.

vulkaniserat gummi och proteinlimmer, och det kan också finnas i tillsatser i vissa syntetiska limmer. Syror och baser påverkar inte silver i så hög grad men det är lösligt i het koncentrerad svavelsyra. Arkeologiskt silver kan bli mycket skört antingen på grund av ändringar i strukturen eller korrosion, och då går det lätt i bitar (s.136-137).

*Koppar* finns både som ren metall och i legeringar med till exempel tenn, zink och bly. Koppar kan reagera med många olika ämnen. Flyktiga organiska syror som kan komma från limmer, såsom ättiksyra och myrsyra kan orsaka vita, gröna och blå korrosionsprodukter på kopparlegeringar (s. 62). Vid undersökning av en samling på ett museum i Nordamerika hittades turkosa, gröna och blå korrosionsprodukter angränsande till gamla lagningar. Vid analys har några av dem visat sig vara format- och acetatsalter troligen orsakade av limmer (Gänsicke et al. 2003). Svavel kan skapa mörk beläggning på koppar. Ammoniakhaltiga lösningar är skadliga för kopparlegeringar och kan orsaka korrosion och sprickbildning. Akrylbaserade limmer stabiliseras ibland med ammoniak (s. 69). Koppar kan även reagera med aminerna i epoxihärdare (Tuttle, 1982 s. 3).

*Bly* är en tung och mjuk metall. Den legeras ofta och skapar legeringar med låg smältpunkt som är lätta att gjuta. Som regel är bly rätt så motståndskraftigt mot korrosion eftersom de formar olösliga passiverande oxidskikt, men det är känsligt för organiska syror. Om det finns en viss ppm ättiksyra i luften kombinerat men en viss fuktighet, kan blyet drabbas av snabb aktiv korrosion som i värsta fall helt omvandlar det till vitt pulver. Därför bör man undvika limmer som avger ättiksyra eller andra organiska syror. Bly som är legerat med minst 1% tenn är resistent mot denna typ av korrosion. Bly korroderar kraftigt i lösningar med pH under 5 eller över 10 (s.119 f).

*Tenn* är också mycket mjuk och legeras därför ofta med andra metaller som bly, antimon och koppar. Rent tenn har låg smältpunkt, runt 232 ° men kan vara ännu lägre när den legeras med bly och kan alltså smälta redan vid påförande av vissa smältlimmer. I torr ren luft formar tenn ett passiverande oxidskikt och kan vara blankt lång tid. I fuktig luft blir lagret grått och tjockare. Föroreningar som svavelväte och kloridjoner kan accelerera eller orsaka korrosion. Tenn är inte särskilt känsligt för organiska syror, som bly är. Tenn är stabilt i lösningar med pH 3-10 och tål alltså rätt så sura ämnen (s. 141 ff).

*Nickel* är korrosionsbeständigt men kan uppvisa korrosion om det utsätts för organiska syror, nitrösa gaser, svavelhaltiga gaser och kloridjoner (s 129).

*Järn* legeras med bland annat kol till olika legeringar som kan få mycket olika egenskaper. Inomhus täcks järn av en tunn oxidfilm och är stabilt upp till 65% RF. Men rost uppstår lätt vid fukt som t.ex. kondens, eller om damm, salter eller sura föroreningar finns i miljön. De kan fånga fukt vid ytan och bilda en elektrolyt som ger korrosion. Ammonium- och sulfatjoner och syror orsakar korrosion. Till exempel kan nedbrytningen av cellulosanitratlim leda till att salpetersyra bildas i luften vilket korroderar järnet. Detsamma gäller även andra syror som ättiksyra, myrsyra och svavelsyra och även dessa kan avges av limmer (s. 104).

*Zink* är mjuk, den är skör vid rumstemperatur och den har en relativt hög utvidgning vid värme. Zinkskulpturer var vanliga att tillverka ca 1850-1920. Zink korroderar inte i ren inomhusluft före luftfuktigheten 70%. Zink är känsligt för organiska syror och kan bilda lösliga korrosionsprodukter tillsammans med ättiksyra och myrsyra som får korrosionen att fortsätta. Metallen reagerar även med kloridjoner, ammoniak, sulfatjoner och kväveoxider, som kan komma från nedbrytning av cellulosanitratlim. pH under 6 och över 12 orsakar accelererad korrosion då korrosionsprodukterna löses upp. Smältpunkten är 420 ° C. (s 149-156)

*Aluminium* har limmats väldigt mycket inom flygindustrin och då används anodisering med kromsyra eller liknande för att skapa en korrosionsresistent limyta (DeLollis, 1970 s. 37-40) Aluminiums korrosionsprodukter löses upp vid pH både under 4 och över 9, och korroderar alltså därför i kontakt med både sura och basiska material. Aluminium är i inomhusmiljö korrosionsresistent, men kan påverkas av flyktiga organiska syror och dammpartiklar.

## 3.4 Att limma – rent praktiskt

Förutom valet av lim så måste konservatorn också välja metod för limningen. Först måste man välja om någon förberedelse av limytorna ska utföras. Förbehandling av limytorna är av mycket stor betydelse för limfogens styrka och hållbarhet, speciellt när det gäller metaller (DeLollis, 1970 s. 29-57). Inom tillverkningsindustrin finns många olika metoder för att förbehandla ytorna med hjälp av starka syror och baser, blästring och så vidare. Sådana behandlingar anses ofta olämpliga att använda på kulturhistoriska och arkeologiska föremål, men konservatorn får beroende på situationen fundera på vad som är praktiskt möjligt, vad som är etiskt och hur stark limfogen behöver vara. När metall limmas är det en fördel om limningen kan utföras mot en beständig oxid eftersom det motverkar korrosion. Korrosion som ser aktiv ut kan tas bort med mekaniska eller kemiska metoder innan limningen utförs. Ytan som skall limmas måste ha en tillräcklig hållfasthet – om korrosionsprodukterna i ytan är tjocka och sköra kanske de inte tål belastningen av vikten som ska bäras.

Förutom olika oxider och andra korrosionsprodukter så kan metallytorna ha smuts, olja, vax, luftföroreningar och hudfett på sig. För att få en tillräcklig vätning och en bra limfog är det mycket viktigt att sådana ämnen tas bort innan limningen. För konservatorn är tvättning med lösningsmedel vanligast, ofta aceton eftersom det är mindre hälsoskadligt än vissa andra lösningsmedel. Det är mycket svårt att torka rent en yta med bomull och lösningsmedel eftersom ytor är mycket oregelbundna på mikroskopisk nivå. Att doppa i lösningsmedel löser upp fettet, men om lösningsmedlet används flera gånger så blir fettet kvar i lösningen och hamnar sedan åter på metallen. En bättre rengöring kan uppnås genom samtidig borstning eller ultraljudsbad. Ett effektivt sätt men inte alltid lämpligt, är att ta bort yttersta lagret genom slipning med sandpapper eller blästring. Ett annat sätt kan vara att diska med varmt vatten och tensid, om föremålet tål sådan behandling, och noga torka med varmluft (*Limhandboken* s. 39-42). Horie (2010, s. 101) säger däremot att detergenter kan forma stabila bindningar med ytan och att vatten och eventuella tensidrester på ytan också kan vara en kontaminant.

Man kan sätta på en primer på ytorna före limningen. En primer är ett ämne som appliceras före limmet av olika anledningar. De kan ha lägre viskositet så att de väter ytorna bättre vilket gör starkare bindning och mindre risk för fickor. Sådana fickor kan annars undgå att fyllas med lim och bli svaga punkter, eller så kan de ”samla fukt” och orsaka korrosion. Inom industrin används ofta primers med korrosionsinhibitorer eller ämnen som ska öka adhesion (Kinloch, 1983 s. 242). En löslig primer kan läggas på i syfte att öka reversibilitet (Podany et al., 2001).

Eftersom spänning är kraft delat på area, blir spänningen mindre om ytan är större. Så det är viktigt att göra limfogens yta så stor som möjligt och att vara noga med att täcka hela ytan, så att inte svaga punkter bildas. Om ytan är oregelbunden eller lite porös bildas också mer mekaniska bindningar. Styrkan kan ökas genom att stumfogar pinnas eller pluggas mellan ytorna. Sådana lösningar har även använts inom kulturhistorisk restaurering (t.ex. Volfovsky, 2001 s. 198-199) men man bör tänka på att det är ett ingrepp i materialet och att det finns en risk för brott på ett annat ställe. En annan metod för att förstärka är att använda ett material på baksidan tillsammans med limmet, exempelvis remsor av japanpapper, glasfiber eller någon typ av väv. Då kan ett lim som går att lösa upp användas med fördel. Silkespappersremsor med

rivna kanter blir nästan genomskinliga när de doppas i Paraloid B-72 i aceton och fästs på en metallyta (Informant 2).

Vid limningen kan man antingen sätta lim på bara ena ytan eller på båda, så kallad dubbel-spridning. Då hinner luftbubblorna ta sig ut genom limmet på båda ytorna, innan samman-pressningen (*Limhandboken* 1991, s. 83). Vid limningen är det ofta lämpligt att följa limtillverkarens instruktioner, de har i regel testats väl. Delarna måste sättas samman och hållas på plats tills limmet stelnat tillräckligt. Presstrycket måste vara så att ytorna hålls i kontakt med varandra. Presstryck är viktigast för limmer som krymper när de stelnar t.ex. lösningmedelsbaserade limmer. Ett visst tryck behövs för att ytorna ska ligga an mot varandra och pressa ut luftbubblor. Man kan få ett jämnt presstryck på en ojämn yta genom att blåsa upp en mjuk behållare (Limhandboken 1991, s. 85). Om fogen inte behöver vara så stark räcker det ofta att använda sig av tejpbitar för att hålla delarna på plats och eventuellt föremålets egen tyngd eller sandpåsar, som presstryck. Man kan också använda olika former av stöd som får utformas utifrån varje enskilt fall. Det finns exempel (se nedan) på att snabbhärdande cyanoakrylat använts för att hålla fast delarna medan andra limmer härdar. Det finns dock tecken på att cyanoakrylat ändrar utseende och eventuellt andra egenskaper hos epoxi (Down, 2001 B s. 43-44). Vid reparation av glas är det vanligt att först sätta ihop delarna med exempelvis tejp och sedan låta limmet sugas in kapillärt. Det kan göras med metall också om man kan få en tillräckligt tunn limfog och använder ett tunnflytande lim.

För att undvika alltför starka eller irreversibla limmer kan man hitta på lösningar som till exempel att låta vikten bäras av en monteringsstruktur och sedan limma med ett svagare lim. (Horie, 2010 s. 114)

Med metall är det vanligt att delarna blivit deformerade vid brottet så att passformen inte är tillräckligt god för att sättas ihop. Tidigare var det vanligt att fila kanterna på fragment för att få dem att passa ihop, en irreversibel behandling som ofta inte längre anses lämplig. Istället kan man använda sig av ett fyllande lim som kan modifieras till exempel genom att lägga till ”glass micro balloons” (Oddy, 1999 s. 4). Om deformationen är så stor att ihopsättningen inte är möjlig, finns alternativen att omforma metallen, fylla ut emellan delarna, eller att låta bli att limma. Istället kan en kopia av föremålet tillverkas, eller en montering av originaldelarna som återskapar dess utseende utan att de egentligen är fästa i varandra. Ett exempel på det finns i boken La Conservation des Metaux där det noga beskrivs hur man gjorde både replika och montering av originaldelar från Charles den 1:es hjälm (Volfovsky, 2001, s. 135-145). Ytterligare ett alternativ är att använda digitala tekniker för att skapa en bild av föremålet i helt tillstånd.

## 3.5 Exempel på limning av metallföremål

För att få en bakgrund till ämnet frågade jag tre konservatorer som arbetar med metall, om deras erfarenheter med limning av kulturhistoriska metallföremål. Alla tre hade någon gång limmat metallföremål. Limtyperna som använts av konservatorerna var cyanoakrylat, epoxi och Paraloid B-72, den senare i fall där en svagare fog behövdes. Två av de tre konservatorerna jag frågat använder sig även av lödning. Alla är överens om att lödning är bäst när starkare fogar behövs men dåligt om man vill kunna ta bort det, och de har liknande tankegångar om att museiföremål oftare kan behandlas med limning medan föremål som är i bruk kan behöva lödas så att de tål hantering och rengöring med våta metoder.

Informant 1, beskriver hur hon en gång valde att limma en ljusstake av mässingsplåt med cyanoakrylatlim. Den hade klotfötter som bestod av två pressade plåtdelar. En av dem hade gått upp i fogen. Hon valde att limma istället för att löda för att limmet kunde ge en tillräckligt

stark fog och ljusstaken brukades sparsamt. Passformen var god och konservatorn blev nöjd med resultatet.

Informant 2 limmar ibland delar i låsen på äldre vapen. Små detaljer kan ofta gå av efter åratal av hantering. Hon använder sig av Paraloid B-72 i de fall där fogen inte behöver vara stark, annars Loctite Super Attak (cyanoakrylat). Fjädrar går inte att limma eftersom fogen inte håller för belastningen. Även mjuklödning skulle ge för svag fog och hårdlödning förstör fjäderns härdning som ger den dess styrka och spänst. Informant 2 menar att lödning har många nackdelar, som att lodet inte går att ta bort, att hårdlödning kan göra att hela föremålets yta måste ombearbetas, och orsaka förändringar i metallens struktur.

I början av uppsatsarbetet gjordes ett studiebesök på Göteborgs stadsmuseums magasin för undersökning av deras samlingar av metallföremål. Syftet med besöket var dels att undersöka om några gamla lagningar kunde hittas på föremålen och dels att se vilka typer av skador som fanns på metall. Det fanns ett antal gamla lödningar med lödtenn. I ett par fall var väldigt mycket lödtenn använt på ett sätt som kunde anses vanprydande. Det var inte alltid lätt att avgöra vilka lagningar som gjorts på museet och vilka som gjorts medan föremålet var i bruk. Däremot kunde inte några limningar hittas på föremålen vid en snabb genomgång.

Nedan följer några exempel på vilka limmer som har rekommenderats i litteratur och hur limning av metall gjorts i olika fallstudier beskrivna i litteratur. Det finns mycket fler sådana om arkeologiska metaller och det tas upp här trots att de inte är huvudfokus, då metoderna kan vara relevanta även för icke arkeologisk metall.

I Plenderleith och Werner (1971) nämns följande exempel på limmer för metaller: Epoxi (Araldite Casting Resin F), Cellulosanitrat, PMMA, Bedacryl 122x, (ett akrylatlim i lösning), Paraloid B-72, Technovit 4004a (att akrylatlim), Tensol 7, (polymetyl metakrylat pre-polymer); polyester (Bondafiller, Cystic); PVAc (Sammanställning från Baer 1984). Där finns också exempel på några olika restaureringar av metallföremål där man bland annat använde lödning till en silverhjälm och epoxi till en silverskål. När man skulle finna ett lämpligt lim för skålen satte man upp följande krav på det: färglöst och genomskinligt, starkt men inte skört, vidhäfta väl till metallen, vara lätt att applicera och slutligen, inte krympa. Krympning skulle orsaka motsättande krafter som skulle kunna deformera den sköra silverskålen. Man kom fram till att endast epoxiharts kunde möta dessa krav och använde sig av Araldite Casting Resin F med härdare 951 och dibutylftalat (Plenderleith & Werner, 1971 s. 238).

Stambolov (1985) rekommenderar fem limmer för metall, en av dem Araldite, de övriga ur serien Tetrokal och Gussolit (material som jag ej funnit någon information om), och säger att limmer för metall kan bestå av epoxi, fenolformaldehyd, neopren, estrar av polyakrylsyra, polyisobutylen och polystyrol. Han rekommenderar även användning av syntetiska polymerer framför lödning eftersom han hävdar att de är icke-korrosiva (s. 60-61).

Keene skriver att av PVAc, Paraloid B-72, epoxi och cellulosanitrat är det bara epoxi som uppvisar god adhesion till metall. Artikeln handlar dock om ytbehandlingar (Keene, 1984 s. 104).

Costa (2001) refererar till nio olika fallstudier där silverföremål limmats. Hon beskriver att epoxi, polyesterlim, Paraloid B-72, Paraloid B-48, och cellulosanitrat har använts, ibland med ett stöd av någon form av väv/papper (Costa, 2001 s. 27). I en artikel 2005 beskriver Costa och Urban att bly kan konsolideras (ihoplimning avses) med olika sorters epoxi och andra material

med eller utan förstärkning av glas, polyesterfiber eller japanpapper. Samt refereras det till fyra sådana fallstudier (Costa och Urban, 2005 s. 57).

En artikel i the Journal of the American Institute for Conservation, (Gänsicke et al., 2003) beskriver i avsnittet om metaller de behandlingar som utförts på metallföremål vid ett museum i Nordamerika från 1919 och fram till idag. 1919 användes lödning som sammanfogningsmetod. Lödning har hittats på många föremål och i några fall täcker moderna lödningsreparationer över ytans originaldekor. Schellak, gips och oidentifierade vattenlösliga vitlimmer har också hittats på koppar och bronsföremål. Museets rapporter från 1970- och 1980-talet nämner reparationer med Elmer's Glue-All, vilket åtminstone idag är ett PVAc-lim. Reparationer gjordes även med epoxi och aluminiumpulver. Polyvinylacetat (PVAc) användes som lim under 1980-talet och troligen även tidigare. Turkosa, gröna och blå korrosionsprodukter har hittats angränsande till gamla lagningar. Vid analys har några av dem visat sig vara format- och acetatsalter. Numera görs ofta reparationer med Paraloid B-72 eller Paraloid B-48N.

En studie 1975 fick goda resultat med produkter från Araldite-serien på brons (Fiorento & Borelli, 1975). Det är dock svårt att överföra resultaten på de nu existerande produkterna som har andra nummer och sammansättningar. I en annan artikel beskrivs hur ett grekisk harnesk och hjälm sattes samman med Araldite AY103/HY956 på J. Paul Getty museet. Bitarnas kanter förbereddes genom försiktig blästring och avfettning i aceton. Cyanoakrylat i två punkter användes för att hålla samman under epoxins långa härdningstid, ca 8 timmar. Värmelampor användes för att snabba upp härdningen men inte över 55° C eftersom det ansågs kunna försvaga cyanoakrylatbindningen. Kanterna som skulle fogas samman fästes alltså på två punkter med cyanoakrylat, placerades sedan vertikalt i en sandlåda och epoxin sögs in kapillärt. På baksidan av fogarna användes ett non-woven nylontextil och epoxin Ablebond 342-1 för att överbrygga och stödja fogarna. Båda epoxi limmerna som användes orsakade en mörkfärgning av bronsen som kom i direkt kontakt med bronsen, något som även andra konservatorer upplevt. Författaren säger att det beror på en reaktion mellan aminerna i härdaren och kopparn i metallen, som upphör när epoxin härdat (Tuttle 1982, s. 2-3). Tillfälliga stöd tillverkades på ett innovativt sätt av epoxikitt.

I en artikel från 1995 beskrivs hur guld limmas med Paraloid B-72 (Maish 1995). I en artikel från 2009 beskrivs limning av en hellenistisk bronsurna (arkeologisk) med epoxi. Lödning valdes bort p.g.a. att det skulle kunna förvirra framtida forskning om föremålet och orsaka ytterligare nedbrytning genom galvanisk korrosion. Ytan som limmades var platt och gav inte någon mekanisk bindning. Epoxihartser ansågs mest lämpligt. Araldite serien 2000, som ersätter en tidigare serie och Araldite 2011 A+B som rekommenderas av Ciba-Geigy för metalladhesion, valdes. Det valdes eftersom den ansågs kunna ge en stark fog som motstår tyngden den utsätts för, och eftersom man hoppades att nedbrytning av limmet ej skulle orsaka problem för föremålet. Nackdelen med epoxihartser är att de gulnar vid åldring men det ansågs inte vara ett problem här eftersom limmet ej var synligt. En tunn film av 3% Paraloid B-72 i aceton ströks på fogytorna innan limningen för att ge en barriär mellan epoxi och metallen. Två-tre droppar av cyanoakrylatlimmet Loctite 401 applicerades på varje sida för att hålla samman delarna under härdningen. Artikeln skriver att både epoxi och cyanoakrylat är möjliga att ta bort. En utfyllning gjordes med samma epoxi med tillsats av aerosil och pigment (Asderaki-Tzoumerkioti, 2009 s. 174-175).

# 4. Limmets egenskaper

## 4.1 Vad är ett bra lim?

Vad som är ett bra lim och en bra limfog varierar beroende på användningsområdet. Konservering har precis som andra områden som använder limmer, sina egna önskemål. En del av de material som konservatorer använder är tillverkade för industriellt syfte eller för hushåll. Därför har dessa limmer sällan fokus på att föremålen ska finnas kvar i hundratals år som i museerna. Det finns numera också ett antal produkter som är utvecklade speciellt för konservatorer.

I många av de texter som behandlar ämnet listar författarna de krav eller önskemål som finns på materialen. Bromelle et al. anger att det främsta kravet som skiljer konservatorns önskemål från andras är att materialen måste vara stabila under långa tidsperioder. Eftersom inget material håller för evigt måste behandlingen kunna tas bort och göras om. Ett tredje krav är att både bindningsprocessen, den fungerande tiden och borttagningen ska kunna ske utan att förändra föremålet på något sätt. En konservator kan inte modifiera sina substrat på samma sätt som görs industriellt, och varje föremål är individuellt. Däremot behöver en konservator inte alltid ta lika stor hänsyn till styrka och hållbarhet i extrema miljöer (Bromelle et al., 1984).

Även Horie (2010 s. 76-78) anger stabilitet som det främsta kravet. Konservatorn bör därför undvika produkter som innehåller mjukgörare till exempel cellulosanitratlimmer, eller polymerer som snabbt bryts ned vid åldring med gulning och oxidering till följd, till exempel PVC och gummi. Reversibilitet är det andra kravet, och Horie menar att teknikerna för att återställa en behandling ska göras tydliga redan vid konserveringen och skrivas med i rapporten. Tillförsel av termoplaster har större chans att vara reversibla än tvärbindande material men då bör termoplaster som tvärbinder vid åldring undvikas, till exempel poly(butylmetakrylat). Man bör använda lägsta möjliga molekylvikt. Därefter anger Horie att man bör ta hänsyn till materialets glasomvandlingstemperatur, stelningssätt och styrka. Mer om det i avsnitt 4.2

Några andra önskvärda egenskaper kan vara att värmeexpansionskoefficienten bör vara så lik föremålens material som möjligt, att produkten ska vara kemiskt inert, ge tillräckligt mekaniskt motstånd mot spänning och slitningar, tåla UV och biologisk attack, vara genomskinlig eller ha lämplig färg och att den ska gå att rätta till under härdningstiden (Fiorentino & Borelli, 1975).

En rent praktisk sak som kan vara bra att tänka på är att limmet bör ha en bra lagrings-beständighet (*shelf life*) så att det kan användas under en lång tid. För en konservator är åtgången på limmet nog i allmänhet inte så hög, medan budgeten för att köpa material kan vara begränsad. Dessutom är det bra om limmet inte är farligt för hälsa och miljö.

## 4.2 Mekaniska egenskaper

Vilka mekaniska egenskaper bör man sträva efter när man väljer lim? Ofta sägs att man ska använda en produkt som är något svagare än det föremål den ska appliceras på. Om ett föremål drabbas av en plötslig påfrestning så ska limfogen gå sönder antingen i limmet eller precis i gränssnittet, hellre än på ett nytt ställe i föremålet. Limmet ska vara tillräckligt stark för att hålla de krafter fogen utsätts för, men den ska inte vara starkare än materialet. Dock bör man

samtidigt tänka på att om fogen bryts för att föremålet hanteras kan det falla ihop och bli mycket skadat för att man valt ett för svagt lim. De flesta metaller är så starka att inga organiska limmer kan komma upp i samma styrka. Men vissa metaller är mjuka och även de starkaste metaller kan ha svaga punkter, och många korrosionsprodukter är svaga och sköra.

Det råder delade meningar om hur elasticiteten skall vara på limmet. Vissa anser att det är bättre att ha ett styvare lim än materialet som ska sammanbindas, för då går limmet sönder före föremålet (Wilks, Newey et al. 1992). Andra menar att elasticiteten bör vara densamma på limmet som på det omkringliggande materialet. Om de utsätts för spänningar bör de röra sig på ett likartat sätt. Om samma kraft appliceras på ett material och ett lim som har olika elastisk modulus, så kommer spänningen i dem att bli olika stor. Andra tycker att limmet bör vara mer elastiskt än föremålet för att kunna följa materialets rörelser och sprida lasten och att även rätt så styva material kan ha nytta av ett lim som är flexibelt och kan följa med i föremålets rörelser (till exempel *Limhandboken*, 1991 s. 68). Dessa egenskaper beror bland annat på glasomvandlingstemperaturen. De flesta polymerer som används på föremål har $T_g$ runt rumstemperatur. En nackdel om $T_g$ är för nära rumstemperaturen är att värmeutvidgningskoefficienten i materialet ändras under och över $T_g$, vilket kan ge problem vid temperaturförändringar (Schilling, 1989). Termoplaster vid temperaturer över sitt $T_g$ är mjuka och de kommer långsamt att flyta när krafter projiceras på dem, och de kommer att vara kladdiga och kunna ta upp smuts. Termoplaster som är över eller nära glasomvandlingstemperaturen i omgivningens temperatur, till exempel poly(vinylacetat), bör ej utsättas för hög spänning eller smuts under långa perioder. Polymerer med en glasomvandlingstemperatur över 65 ° C bör enligt Horie ej användas. Om $T_g$ är ungefär som den omgivande temperaturen kommer det att bli mindre spänningar i materialet när limmet torkar (Horie 1987 s. 18-2, s. 74).

En annan viktig faktor är krympning vid stelningen, eftersom det finns flera risker med det. Det kan orsaka inre spänningar som kan leda till att limfogen bryts. Det finns fler nackdelar med krympning. Det kan till exempel bildas stresskoncentrationer och det är därför viktigt att välja ett som krymper så lite som möjligt. Man kan ändra på de mekaniska egenskaperna på vissa sätt. T.ex. kan man själv tillsätta additiver som till exempel fumed silica, en silikonoxid som uppges kunna manipulera egenskaper som viskositet, tixotropi, plasticitet, hållfasthet och motverka kallflytning/krypning (Byrne, 1984 s. 78-81).

## 4.3 Åldringsegenskaper, nedbrytning

Många saker kan hända när polymerer och limmaterial bryts ned. De kan ändra färg, bli sköra, svaga eller olösliga, krympa, bli klibbiga och ta upp smuts, och delta i olika kemiska reaktioner med de material som de applicerats på. Detta beror på kemiska och fysiska faktorer. De vanligaste kemiska förändringarna som kan uppkomma är tvärbindning mellan kedjor, kedjeklyvning, och oxidation av huvudkedjan eller sidogrupperna (Horie, 1987 s. 31-32).

Små molekyler som syrgas och vatten kan diffundera in i polymermaterial. Det beror på att strukturen är ganska öppen. Över $T_g$ går det extra lätt. Även i härdplaster kan små molekyler diffundera in, mer eller mindre beroende på hur mycket tvärbindningar det finns. Alla organiska limmer bryts ner i luft. Material som används i konservering brukar vara rätt så kemiskt stabila men de är mottagliga för oxidation. Det går mer eller mindre fort, och kan kontrolleras med antioxidanter. Men i konservering handlar det om väldigt långa tidsperspektiv så materialen kommer förr eller senare att brytas ned. Oxidationen kan orsaka att kedjorna klyvs, vilket gör materialet svagare, eller tvärbindningar bildas i materialet som gör dem styvare och mindre lösliga. För att det ska ske verkar det som att föroreningar i materialet måste vara närvarande. Detta är en komplicerad process men hur som helst är det viktigt att

konserveringsmaterial är så rena som möjligt för att fördröja nedbrytningen (Wilks, Newey et al., 1992 s. 101-102). I vissa polymerer påskyndas nedbrytningen av ljus, fotooxidation. Vatten kan ha andra effekter, det kan få limmet att svälla och orsaka inre spänningar, och det kan reagera kemiskt och skapa försvagning eller utveckling av oönskade produkter, som ättiksyra från cellulosaacetat och polyvinylacetat (Wilks, Newey et al., 1992 s. 93). Vissa polymermaterial kan brytas ner av hydrolys, till exempel polyesterlimmer (Horie, 1987 s. 36). Alla plastbaserade limmer tar upp vatten. Så om limmade föremål inte förvaras torrt är korrosion vid gränsytan en risk (*Limhandboken*, 1991 s. 47-49). Hos konstruktionslimmer anses vatten vara det största problemet mot limfogarnas hållbarhet och det orsakar försvagning på flera sätt. Limmer kan påverkas av vattnet genom att svälla, mjukna eller krackelera och spricka eller att ersätta bindningarna mellan lim och adherent så att fogen försvagas (Kinloch, 1983 s. 35, s. 107). Många limmer krymper när de åldras, vilket kan medföra spänningar eller helt enkelt att fogen bryts.

För att välja ett material som är så stabilt som möjligt, kan man undvika material med omättade polymerkedjor (dubbelbindningar), undvika material med reaktiva sidogrupper som C – Cl, undvika material med C=O bindningar om det ska vara i UV-ljus, undvika material med syre i sin huvudkedja samt att använda material som är så rena som möjligt. Det finns dock undantag till dessa regler såsom väldigt stabila akrylater och polyestrar (Wilks, Newey et al., 1992 s. 102).

## 4.4 Påverkan på föremålet och omgivningen

En viktig fråga är om limmet påverkar föremålet som det appliceras på, eller om det kan avge ämnen som är skadliga för både föremålet och kanske även för andra föremål i samma monter eller magasinsförvaring. Vissa limmer kan avge korrosiva ämnen till exempel flyktiga syror eller svavel. Till exempel avger många polyvinylacetatlimmer ättiksyra (Hatchfield, 1986 s. 98). Saltsyra kan avges när PVC eller polykloropren (neopren-gummi) bryts ner (Selwyn, 2004 s. 62). Det är i regel små mängder men föremål som förvaras i slutna boxar som montrar eller små förvaringsaskar, är speciellt utsatta för det. Reaktionslimmer kan i vissa fall reagera inte bara inom sig själv utan också orsaka oönskade kemiska reaktioner med substratet (föremålet). Det förekommer framför allt med prepolymerer som är känsliga för vatten t.ex. isocyanater (polyuretan) och silaner (Horie, 2010 s. 100). Exempelvis kan ämnen i epoxi reagera med koppar och orsaka en mörk färgning (Tuttle, 1982, s. 3). Ett material som är i nära kontakt med ett föremål kan, om det är för surt eller basiskt, medverka till en snabbare nedbrytning. De mest lämpliga limmerna för föremål har neutralt pH som håller sig så även vid åldring (Down et al., 1994 s. 5).

## 4.5 Reversibilitet/återbehandlingsbarhet

Tidigare har reversibilitet i mångt och mycket betraktats som en egenskap hos ett material. Det är dock viktigt att beakta hela behandlingen och utöka begreppet reversibilitet till att omfatta även rengöring och stabilisering (Oddy & Carol, 1999 s. 7). Ett material kan i regel inte sägas vara reversibelt i sig, utan det är i samband med en behandling som man kan bedöma reversibilitet. Även om ett lim är lätt att lösa i ett lösningsmedel, kan behandlingen inte betraktas som reversibel ifall även föremålet löses upp av lösningsmedlet. Reversibilitet är ett ideal som sällan helt kan uppnås, men som ändå kan vara en utgångspunkt, dels av etiska skäl och dels för att material förr eller senare av olika skäl kan behöva avlägsnas (Oddy & Carol, 1999).

Lim som stelnar genom lösningsmedlets avgång kan i regel lösas upp igen. Men lösliga polymerer kan bli olösliga när de åldras eftersom tvärbindningar bildas i materialet. Detta bör undersökas innan man använder sådana material. Limmer baserade på härdplaster kan

betraktas som irreversibla eftersom de inte går att lösa upp, men på vissa typer av material går de ändå att avlägsna med hjälp av värme eller svällning med lösningsmedel. Om materialet inte är poröst kan svällning i många fall ske utan fara för objektet och limmet kan petas bort. Därför kan behandling med irreversibelt härdande limmer anses reversibel på vissa typer av tåliga metallytor, men de kan vara mycket svåra eller omöjliga att ta bort ifrån porösa material. Det är inte riskfritt: Ett korroderat metallobjekt, som hade ytbehandlats med en polyesterlack, löstes upp i sina beståndsdelar på grund av svällningen med det lösningsmedel som krävdes för att ta bort polyesterlacken (Horie, 1987 s. 69). Tyvärr är det vanligen ganska ohälsosamma lösningsmedel som fungerar, till exempel diklormetan. Värme kan användas för att få härdplaster att brytas ned. Temperaturen som behövs beror på materialet. För epoxi har 80-90 ° C (DeWitte, 1982 s. 1-4) eller 65 ° C (Tuttle, 1982, s. 12-2) uppgetts. Det finns dock vissa epoxihartser som är speciellt utvecklade för att tåla mycket höga temperaturer. Det har vanligen testats och står i tillverkarens informationsblad. Moderna konstruktionslimmer är inte gjorda för att tas isär. Tvärtom utvecklas de för långtidshållbarhet och för att vara motstånds-kraftiga mot alla typer av lösningsmedel och värme. En polymer som kemiskt binder till föremålet är mycket otroligt att den skulle gå att ta bort utan skada på föremålet. Adhesions-promoters ska inte användas eftersom de kemiska bindningarna med adherenten bara kan lösas genom att ta bort en del av ytan (Horie, 2010 s. 117).

Vissa konservatorer har försökt att lösa problemet med härdplasternas irreversibilitet genom att göra en barriär av Paraloid B-72 på substraten. Podany et alia (2001) visar att provkroppar av marmor som limmats med epoxi med en barriär av B72 är betydligt mer reversibla än dem där enbart epoxi använts och att draghållfastheten är i princip den samma medan skjuvhållfast-heten är lägre, men ändå högre än att använda enbart Paraloid B-72. Författarna föreslår dock att det kan bero på att lösningsmedlet inte helt avdunstat i de fall där enbart Paraloiden använts, och att enbart Paraloid annars skulle ha givit samma resultat som den paraloidisolerade epoxi-behandlingen.

## 4.6 Estetiska egenskaper

Många anser att limfogar kan göras mindre synliga än lödningar vilket är en fördel. Men å andra sidan kan lödning bli mer osynlig om man väljer ett lod som liknar den omgivande metallen, då kan metallen också fylla upp hålrum – tjocka fyllande limfogar kan då vara mer vanprydande än lödfog. Optiska egenskaper såsom brytningsindex, färg och glansighet spelar stor roll i restaurering av glas. När man ska limma metallföremål spelar de mindre roll eftersom metallen inte är genomskinlig. Färgen kan ändå ha en viss betydelse i vissa fall. Pigment eller metallspån kan tillsättas till limmet, men det kan påverka kemiska processer i härdningen och eventuellt också öka oxidationshastigheten. Limmer som gulnar vid åldring brukar undvikas när glas lagas. Det är ett vanligt problem när det gäller epoxi (Down, 1984). I de fall där detta inte syns kan det ändå vara bra att undvika dem eftersom färgförändring möjligtvis kan tyda på att annan nedbrytning också sker (Down et al. 1994, s. 23). Om olika förstärkningsmaterial måste användas, kan det störa föremålets utseende.

## 4.7 Hälsa och miljö

Försiktighet bör iakttas med alla kemiska ämnen och syntetiska limmer är inga undantag. De kan innehålla olika skadliga ämnen. Till exempel är härdare i epoxi ibland allergiframkallande. Lösningsmedel kan vara giftiga och ohälsosamma och är ofta också brandfarliga. Det är viktigt att läsa på säkerhetsdatabladen på limmerna. Att använda bra handskar och dragskåp är enkla säkerhetsåtgärder vid limning. Tillverkaren ska tillhandahålla information om produktens eventuella hälsoskadlighet och även materialens påverkan på miljön och hur eventuella rester bör tas om hand.

## 4.8 Exempel på egenskaperna ovan hos olika limmer

Här nedan följer exempel på de ovanstående egenskaperna, hos några av de polymertyper som räknades upp i avsnitt 2.3.

Cellulosanitrat har använts länge, framför allt till keramik och det har använts som ytbehandling på metall, men jag har inte stött på att det använts som lim för metaller i så stor utsträckning. Karlssons Klister, som är ett cellulosanitratlim uppges fungera för metall. (Tekniskt datablad). Limtypen kräver mycket mjukgörare (till exempel kamfer eller ftalater) och när den försvinner blir materialet mycket skört. Cellulosanitrat är i sig en ostabil produkt. Den har dock använts till konservering i många år och Shashoua et al. (1992) skriver att det efter 40 års användande har visat sig vara mycket användbart och relativt stabilt när det används som lim för keramik i inomhusklimat och kan ha en livslängd på 50-100 år. Det bryts ned spontant och producerar nitrösa gaser som bildar korrosiv salpetersyra i närvaro av fukt. Cellulosanitrat kan som lösning, och troligen även i fast mjukgjord form, reagera med metalloxider vilket leder till bildande av en olöslig gelé. Reaktiviteten är störst med bly och därefter i ordning med silver, tenn, järn, koppar och zink. Effekten har noterats på föremål av kopparlegering när limmet fick tas bort efter några år (Horie, 1987 s. 133).

Poly(vinylacetat) (PVAc) är en termoplastisk polymer som används mycket i limmer för konservering, ofta som dispersion. Den binder särskilt bra till cellulosamaterial men inte lika bra till metall (Skeist, 1990 s. 381-400). Den har låg $T_g$ vilket kan leda till krypning eller kallflytning. Den verkar ha rätt så goda åldringsegenskaper och tvärbinder inte så lätt men kan avge organiska syror, framför allt i våt form som dispersion. PvAc emitterar stora mängder ättiksyra under sitt första år vilket sen avtar (Down et al., 1994 s. 12, s. 20). Etylenvinylacetat (EVA) är en sampolymer mellan etylen och vinyl acetat som ofta förekommer i smältlimmer.

Bland akrylaterna finns många olika material med olika egenskaper. Till exempel polymetylmetakrylat (PMMA) som är rätt vanlig. I äldre konserveringslitteratur från 1950-70-tal verkar den användas flitigt på metall men inte senare. Horie skriver att den har för hög $T_g$ och ramlar av från substratet och att den krymper väldigt mycket när den stelnar. Flera av homopolymererna i akrylgruppen tvärbinder och blir svårlösliga vid åldring (Horie, 2010 s. 164, s. 159). Paraloid B-72 har fått en särställning inom konservering. Paraloid B-72 har en utmärkt stabilitet (Feller, 1984, Down et al., 1994) och en $T_g$ på 40°C. Denna $T_g$ kan om den sänks under rumstemperatur orsaka att limfogen flyter under tunga bördor. En studie visar att limfogar för marmor som gjorts med enbart Paraloid B-72 har lika hög draghållfasthet som epoxi och polyester medan skjuvhållfastheten är betydligt lägre (Podany et al., 2001).

Cyanoakrylater är lätta att använda, snabbhärdande, nästan osynliga, flyter lätt och binder starkt, men det finns en osäkerhet kring deras åldringsegenskaper och möjligheten att ta bort dem. Det härdade materialet är skört och känsligt för fukt, ljus, hetta och alkaliska miljöer som till exempel glas. Cyanoakrylat bryts ned genom hydrolytisk klyvning. De är svåra att lösa upp men kan brytas ned med starka lösningsmedel. Aceton under lång tid kan ha en viss effekt (Down, 2001 A). För att få ett bra limningsresultat med cyanoakrylat krävs ytterst tunna fogar. Den härdar mycket långsamt eller inte alls i tjocklekar över 0.05 mm. Vid limning av metaller kan det bli svårt att åstadkomma en tunn fog, och det kan finnas ont om fukt på metallytan vilket ger en längre fixeringstid (*Limhandboken*, s. 27-28). Vissa ytor, till exempel kadmium och nickel tenderar att vara passiva så att härdningen blir långsam (DeLollis, 1970 s. 121). Det finns olika erfarenheter om dess åldring t.ex. ett fall där limmet var helt nedbrutet efter 12 månader och ett där det var i utmärkt kondition efter 10 år (Down et Kaminska, 2006).

Cyanoakrylat har ofta hög dragstyrka men mycket dålig fläkhållfasthet och ger rätt så låga värden i skjuvtester (Batt, 1976 s. 4). Horie (2010, s.166) refererar till en studie av Williston 1982 som tyder på att cyanoakrylat funnits orsaka oönskade reaktioner med kopparlegeringar, men denna studie har ej kunnat hittas.

Epoxifogar är mycket starka. Generellt sett blir hållfastheten högre när de härdar i högre temperatur än om samma lim härdar i rumstemperatur. De kan vara sköra och mjukgörs ofta, när mjukgörarna försvinner kan egenskaperna ändras (Karmann & Gierenz, 2001 s. 36). Om proportionen mellan harts och härdare ändras så kommer limmets egenskaper ändras (DeWitte, 1982 s. 4). Som tidigare nämnts kan i härdaren hos vissa epoxi orsaka en mörkfärgning av koppar. Reaktionen upphör när härdningen är färdig (Tuttle, 1982 s. 3) Korrosivitet har associerats till härdsystemen med polyamin-härdare så som dietylentriamin eller trietylen-tetramin (DeLollis, 1970 s. 204). Utvärderingar om epoxi för konserveringsändamål är ofta inriktat mot glas med fokus på gulning, eftersom gulning vid åldring är ett vanligt problem. Borttagning av epoxi kan göras på tåliga släta ytor genom svällning med lösningsmedel eller värme. De bästa lösningsmedlen för att avlägsna epoxi på glas verkar vara metylenklorid (diklormetan), tetrahydrofuran, kloroform och ättiksyra (Down, 2001 B).

Silikoner kan varieras i mycket stor grad och de kan vara flytande, elastomeriska eller hartsartade beroende kemisk sammansättning. De som används som limmer kan ge ganska mjuka och elastiska limfogar som ger en god fyllnadseffekt. De härdar genom en kondensationsreaktion där något ämne spaltas av. Ibland är det ättiksyra men det finns även andra neutrala härdsystem (Karmann & Gierenz, 2001 s. 39). Silikoner är i regel mycket resistenta mot oxidation, strålning och värme. Silikongummi kan eventuellt orsaka oönskade kemiska reaktioner med objektet (Horie, 2010 s. 106).

Lane beskrev 1974 hur ett polyesterlim användes både som lim för korroderad metall och för att fylla lakuner i materialet (Lane, 1974). Polyesterlimmer gulnar om de utsätts för ljus. De kan svälla, hydrolysera och brytas ned av vatten. För att ta bort den kan man svälla med diklormetan (Horie, 2010 s. 285-286). Det har varit svårt att hitta litteratur om lämpligheten i att använda silikon och polyester vid limning av metallföremål. Däremot har konservatorer tidigare använt dem på glas, men nu slutat använda dem (Davison, 2009 s.109).

# 5. Experiment

## 5.1 Material

### *5.1.1 Limmer som undersöks*

Tyvärr kunde endast ett fåtal limmer testas och sex stycken valdes ut. Produkterna valdes utifrån litteraturen och vad som verkar användas för ändamålet. De valdes också för att representera flera olika typer av härdningssätt såväl som olika typer av polymerer. Produkterna som prövades var alla nyinköpta (med undantag av Paraloid B-72 men den blandades ny av pellets). Många produkter får förändrade egenskaper medan de åldras i flytande form. Olika batcher av samma produkt kan vara lite olika sinsemellan. Informationen nedan kommer från tekniska datablad och säkerhetsdatablad från tillverkarna (se käll- och litteraturförteckning för Internetadresser). Nedan beskrivs även hur jag genomförde limningen av de provmaterial till försöket som beskrivs i avsnitt 5.2.4.

**Nr 1.**
**Produktens namn:** Paraloid B-72
**Deklarerad komposition:** EMA Copolymer
**Tillverkare:** Rohm and Haas
**Form:** Pellets
**Härdningsmetod:** Avdunstning
**Varningar:** Inandning av damm kan orsaka irritation av näsa, hals och lungor. Huvudvärk, illamående. Kan orsaka hudirritation. (observera att varningar tillkommer för lösningsmedlet)
**Övriga intressanta upplysningar i databladen:** $T_g$=40°C

**Utförande:** Limmet förbereddes på följande sätt: 20 g granulat av Paraloid B-72 löstes med hjälp av en påse av tubgas, i 40 g aceton. 20 g aceton fick därefter avdunsta. Limningen gjordes såhär: Ett tunt lager lim lades på ena ytan, pressades snabbt ihop så att limmet flöt ut, togs isär några sekunder och pressade därefter ihop hårt med handkraft under någon minut. Sedan användes tunna bitar av tejp för att hålla ihop dem. Det fungerade väl att utföra limningen. Blandningen och påföringen delvis efter Koob (1986).

**Nr 2.**
**Produktens namn:** Araldite® 2011- A/B
**Deklarerad komposition:** Bisfenol A-epoxiharts (med medelmolekylvikt <700) 30-60 %, N(3-Dimetylaminopropyl)- 1,3-propylendiamin 3-7 %, Bisfenol F-epoxiharts (3-7%), Bisfenol A epoxihartser, med medelmolekylvikt >700 - <1100 (1-3%)
**Tillverkare:** Huntsman advanced materials
**Form:** Tvåkomponentslim
**Härdningsmetod:** Reaktion
**Varningar:** Irriterar ögonen och huden. Kan ge allergi vid hudkontakt. Giftigt för vattenlevande organismer, kan orsaka skadliga långtidseffekter i vattenmiljön.
**Övriga intressanta upplysningar i databladen:** I produktdatabladet finns data för viskositet, hållfasthet i olika situationer, härdningstider, effekt av lösningsmedel, $T_g$ med mera.

**Utförande:** Komponenterna blandades för hand (använde ej medföljande ”pip”) och applicerades tunt på båda ytorna. Man ska egentligen ha en speciell limpistol för den, men det fungerade utan också. Därefter pressades de samman med händerna medan tejpbitar sattes på och fogen fick sen härda i rumstemperatur.

**Nr 3.**
**Produktens namn:** Bostik Epoxy Rapid
**Deklarerad komposition:** Deklarerad komposition: 2,4,6-tri(dimetylaminometyl)fenol, tris-2,4,6-dimetylaminometylfenol, reaktionsprodukt av bisfenol A och epiklorhydrin med medelmolekylvikt =700.
**Tillverkare:** Bostik AB
**Form:** Tvåkomponentslim
**Härdningsmetod:** Reaktion
**Varningar:** Kan reagera kraftigt med aminer och syror. Irriterar ögonen och huden. Kan ge allergi vid hudkontakt. Giftigt för vattenlevande organismer, kan orsaka skadliga långtidseffekter i vattenmiljön.
**Övriga intressanta upplysningar i databladen:** Tål temp. -50 °C till 65 °C. Shelf life 3 år

**Utförande:** Komponenterna blandades noga enligt förpackningen och applicerades tunt på båda ytorna. Därefter pressades de samman med händerna medan tejpbitar sattes på. Båda epoxi-limmerna hade nackdelen att de inte biter fast snabbt som Paraloiden. Fogen fick härda i rumstemperatur. Epoxi rapid härdade mycket snabbt, det började kännas stelt redan efter några minuter.

**Nr 4.**
**Produktens namn:** Loctite Super Glue Precision
**Deklarerad komposition:** Etylcyanoakrylat 80-100%
**Tillverkare:** Loctite
**Form:** Flytande, enkomponent
**Härdningsmetod:** Kemisk reaktion
**Varningar:** Irriterar andningsorganen och ögonen. Långvarig exponering kan leda till kroniska verkningar hos känsliga individer. Kan snabbt klistra ihop ögon och hud.
**Övriga intressanta upplysningar i databladen:** Bör användas över 30% relativ luftfuktighet.

**Utförande:** En minimal mängd applicerades på ena ytan och pressades samman hårt med handkraft. Enligt bruksanvisning ska de bita inom 5-50 s men det skedde ej. RF var 39%. Testade även utomhus (regnig dag ca 90-100 % RF) Det hade ingen bättre effekt. Testade att limma papper och trä och det gick utmärkt i 39% RF. I alla fall tejpades ytorna samman och limmet stelnade så småningom. En nackdel när limmet fungerar som det ska, är att man inte kan justera fogen eftersom den fastnar så snabbt.

**Nr 5.**
**Produktens namn:** Bostik Kontakt
**Deklarerad komposition:** Polykloroprengummi, Heptan och isomerer (nafta, petroleum, väteavsvalad lätt, avaromatiserad) Bensenhalt <0,002%, aceton, xylen, metyletylketon, kloropren restmonomer, butylfenol restmonomer.
**Tillverkare:** Bostik
**Form:** Kontaktlim i tub
**Härdningsmetod:** Avdunstning
**Varningar:** Produkten är mycket brandfarlig och ångorna kan bilda explosiva blandningar med luft. Vidare är produkten skadlig för vattenorganismer och kan orsaka skadliga

långtidseffekter i vattenmiljön. Inandning av ångor kan ge huvudvärk, trötthet, yrsel och illamående- Höga halter kan ge medvetslöshet. Längre tids kontakt kan påverka centrala nervsystemet.
**Övriga intressanta upplysningar i databladen:** Uppges vara löslig i toluen.

**Utförande:** Rörde om i limmet. Ett tunt skikt spreds på båda ytorna och fick torka några minuter ”tills det vid beröring ej fastnar på hand” (Information på förpackningen). Delarna pressades samman hårt med handkraft en liten stund, därefter fästes de med tejpbitar.

**Nr 6.**
**Produktens namn:** DANA Limstänger 814 (8 mm)
**Deklarerad komposition:** EVA-copolymer
**Tillverkare:** Dana lim A/S
**Form:** Stänger för limpistol
**Härdningsmetod:** Smältlim
**Varningar:** Inga
**Övriga intressanta upplysningar i databladen:** Mjukningspunkt 80-90 ° C. Appliceringstemperatur 140-200°C. Metall kan med fördel värmas till 30 - 70°C.

**Utförande:** Tennet värmdes i ugn (60°C) och limmades sedan under hårfön, för att undvika att smältlimmet stelnade för snabbt.

## 5.2 Metoder

### *5.2.1 Inledning*

Horie pekar i *Materials for Conservation* på att det bästa sättet att testa ett material för konservering är att applicera det på ett antal föremål, med hjälp av olika metoder, sen vänta i till exempel hundra år och sedan utvärdera resultaten. Men det är sällan som man har tid att vänta så länge innan man börjar använda nya material (Horie, 1987 s. 39). Tester kan vara användbara men de kommer alltid bara att ge indikationer, aldrig förutsägelser. Föremål som en konservator arbetar med är så varierande att ett trovärdigt resultat i princip bara kan fås i anslutning till själva åtgärden på föremålet och utvärderas i efterhand.

Ett sätt att få en uppfattning om ett materials åldringsegenskaper är att utföra accelererade åldringstester med hjälp av att överdriva faktorer som ljus och värme. Diffusion av syre in i materialet, och kemiska reaktioner sker snabbare vid hög temperatur. Det kan ge indikationer på vad som kommer att ske vid naturligt åldrande. Det är dock långt ifrån säkert att resultatet av accelererad åldring liknar naturlig åldring. Två reaktioner kan ske lika snabbt vid en viss temperatur, men vid en högre temperatur kan den ena ske många gånger fortare än den andra, vilket beror på reaktionernas olika aktiveringsenergi. Vissa reaktioner skulle kanske inte alls ske i rumstemperatur. Den ökade värmen överdriver alltså vissa reaktioner (Wilkes, Newey et al., s. 105-106). Det finns också andra risker, till exempel om man vill undersöka mekaniska egenskaper och går över materialets $T_g$ (Kinloch, 1983 s. 219).

De sex limmerna som valdes ut fick genomgå några enkla tester för att utvärderas för limning av metall och de två testföremålen av tenn som kommer att beskrivas nedan. Därför valdes att göra en enkel prövning av hållfasthet med tenn som provmaterial. Även ett test av om limmerna avger flyktiga ämnen som korroderar metaller genomfördes, samt test av pH. Vidare ville jag gärna göra en undersökning av reversibilitet samt om limmet orsakar korrosion i direktkontakt med metall. På grund av arbetets begränsade omfattning kunde endast mycket enkla tester som ger indikativa resultat utföras. Dessa beskrivs nedan.

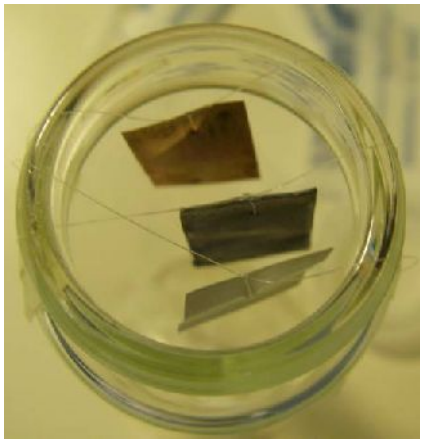
### *5.2.2 pH*

pH mättes dels på vått lim med hjälp av pH-papper och dels på torkade filmer i vatten. Det förstnämnda gjordes helt enkelt så att färskt lim lades på pH-papper, Merck pH indikator strips 1-14. Det andra pH-testet gjordes på torkade filmer av limmerna. Metoden hämtades dels från standarden ASTM D1583 – 01 och dels från metoden som beskrivs av (Down et al., 1994 s. 5), med vissa små ändringar. Filmer av limmerna gjöts på Melinex, eftersom limmerna skulle fastna för mycket i glas och jag hade inte tillgång till Teflonplast. Jag fick tips om att ingenting fastnar på Melinex men det visade sig vara ett felaktigt antagande. Det avjoniserade vattnet som användes hade pH 6,0. Cyanoakrylaten kunde ej gjutas till en film eftersom den polymeriserar endast i ytkontakt. Olika sätt testades men fick till slut hälla den i vatten för att få den att polymerisera. Vattnet fick sedan avdunsta i dragskåp och resultatet blev ett smuligt vitt pulver. De andra stelnade filmerna klipptes i små bitar, cirka 1-2 mm i fyrkant. 2 g av varje material vägdes upp och lades i ett glaskärl. 10 ml avjoniserat vatten tillsattes till varje kärl. Därefter rördes blandningen om med glasstav. På grund av svårigheterna med cyanoakrylat-limmet (nr 4), samt de mycket små förpackningarna de säljs i, använde jag bara 1 g material där och tillsatte 5 ml vatten. Den var ändå problematisk eftersom den inte ville vätas av vattnet utan låg kvar torrt på ytan trots omrörning. Därför tillsattes en mycket liten mängd av handdiskmedlet Minirisk (pH 7.0 enligt förpackningen) och då gick det att blanda. Eftersom limfilmerna var gjutna på Melinex som i vissa fall fastnade, kan lite av plasten ha följt med i provmaterialet. Därför gjordes också ett prov med 1 g Melinex och avjoniserat vatten för att se om det kan ha någon påverkan på pH. Efter att blandningarna tillretts och lock satts på kärlen fick de stå i 72 timmar. Då mättes första värdet och därefter mättes varje dygn under 3 dagar samt efter 11 dygn. pH mätaren är Orion 720 som kalibrerades före varje mätning.

### *5.2.3 Oddy-test*

Ett enkelt test för att undersöka material som ska användas i museimiljö har använts i många år, det så kallade Oddy-testet som är ett accelererat åldringstest för avgivande av korrosiva ämnen (Oddy, 1973). Metoden är egentligen tänkt för att visa lämplighet hos material som ska användas till exempel för montrar eller packmaterial. Det undersöker genom accelererad åldring om material ger ifrån sig olika gaser eller flyktiga ämnen som verkar korrosivt på metall. Principen är att placera tre olika sorters metallfolie tillsammans med ett prov av materialet och utsätta det för vissa faktorer för att därefter jämföra resultatet med en referens där materialet ej varit närvarande. Detta test ansågs kunna ge intressant information om eventuella avgivna ämnen, trots att testet inte undersöker vad som händer vid direktkontakt mellan metallen och limmet. Fördelar med testet är att det kan detektera alla möjliga substanser som korroderar metall och att det inte kräver avancerad utrustning.

Jag utgick från metoden så som den beskrivs i två artiklar (Green och Thicket, 1995, Robinet och Thicket, 2003). De har undersökt olika metoder och ger sedan en rekommenderad procedur för metoden. Den sistnämnda artikeln visar att det ger lika bra eller bättre resultat att testa alla tre metallerna i samma glaskärl. Vissa små ändringar har gjorts. Kuponger av metall-folie, silver, koppar och bly klipptes till i en storlek av ungefär 1 x 1 cm. De slipades med sandpapper samt tvättades två gånger med aceton. Kärlen som användes var 60 ml glaskärl med plastkork, troligen polyetylen. Det fanns ej möjlighet att få tag på de silikonkorkar som beskrivs i artikeln. Kärlen rengjordes med hett vatten och diskmedel och sköljdes med avjoniserat vatten och etanol. I dessa placerades i enlighet med metodbeskrivningen ett litet glasrör med ca 0,8 ml avjoniserat vatten, tilltäppt av bomull. Varje lim fick torka 24 timmar till en film på Melinex. Nr 3 (”Epoxy rapid”) fick även härda i 60° C en timme också eftersom den inte var färdig. Nr 4 (”Loctite Super Glue Precision”) fick även här polymeriseras i vatten och sen avdunsta i dragskåp. Därefter togs 2 g av varje material som placerades i var sin av behål-larna. I stället för att fästa metallkupongerna i korken som den ena artikeln beskriver, knöts



metallkupongerna fast i tunn nylontråd så att det blev en ände på båda sidor, vilket möjliggjorde att alla tre kunde hängas upp utan att röra vid varandra, korken eller glaset. Tejpbitar på utsidan av behållaren användes för att hålla trådarna på plats. Därefter sattes locket på. Ovanpå locket sattes lite Parafilm för att stänga till ytterligare. Behållarna placerades i ugn, 60° C i 28 dagar. Två stycken referenstuber utan något lim i testades på samma sätt.

Figur 1. Såhär placerades metallkupongerna i glaskärlet.

### *5.2.4 Provning av hållfasthet*

Testning av hållfasthet/styrka och åldringsbeständighet hos limfogar är i sig en vetenskap som det har skrivits många böcker om. Hållfasthetsprovning av limmer görs ofta av tillverkaren. När litteraturen beskriver material finns det ofta siffror och termer som man kommit fram till genom testning. För att dessa ska kunna jämföras sinsemellan brukar man använda standardiserade tester. Det finns internationella och nationella institutioner som reglerar detta t.ex. ISO och ASTM. Bortsett från själva limmet, så påverkar också materialet som de fästs mot, ytbehandlingar, testhastigheten, dimensionerna på provkroppen, temperaturen och kraftens riktning. Därför finns dessa beskrivna i standarderna. Skjuv- och dragstyrka anges i $N/mm^2$ eller pascal och då avses hur stor belastning fogen tål innan den brister. Dessa värden kan man ofta hitta i litteratur.

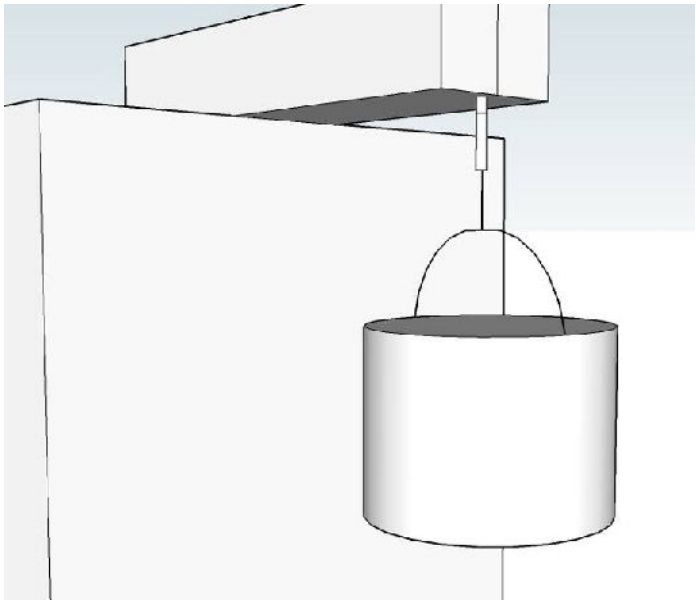
Det har inte varit vare sig möjligt eller särskilt intressant för denna uppsats att utföra den typen av tester. Istället har avsikten varit att använda en enkel metod som ger indikationer på styrka i förhållande till materialet som ska limmas, och som på ett enkelt sätt kan användas utan dyrbara testmaskiner och som kan varieras utifrån vilket föremål som ska limmas. Därför används här tenn som försöksmaterial. Den första planen var att även använda ett böjningstest som liknar den situation som uppstår då någon sätter i ett ljus i ljusstake nummer 1, vilket troligen är en av de vanligaste krafter denna limfog kan komma att utsättas för om ljusstaken är i bruk. Det gick emellertid inte att genomföra eftersom tennmaterialet var så mjukt att det böjdes allt för lätt, då provstängerna är tunnare än ljusstaken. Istället kommer en enkel variant av dragprovning att utföras. Det är många faktorer inblandade när man mäter styrkan i en limfog. Både limmet och substratet kommer att deformeras, plastiskt eller elastiskt, och många saker händer under själva prövningen. Krafterna kommer inte att vara jämnt fördelade över ytan.

Det finns två huvudmetoder inom styrketestning av material. Att krossa prover (*compression testing*) eller att dra isär dem (*tensile testing*). Genom att ändra kraftens riktning och provernas form, kan även skjuv- och fläkhållfasthet mätas. I verkligheten är krafterna ofta en kombination. Till exempel, i den utsträckta armen hos en stenskulptur som har ett lodrätt brott. Vid första anblick tänker man att det är endast skjuvkrafter som verkar på fogen genom tyngdkraften av armens vikt. Men armen har en komplex ytmorfologi och de två ytorna kommer i viss mån fysiskt låsas på plats. För att armen ska kunna röra sig i riktningen som är parallell med den gemensamma ytan (skjuvning) måste den röra sig bort vinkelrätt från den andra ytan. Limskiktet upplever dragbelastning. När armen försöker sjunka ned kommer

hälften av den gemensamma ytan (nedanför mittpunkten i fogen) uppleva kompression medan den andra hälften kommer att uppleva spänning när armen försöker dela sig. Dessutom kommer klyvningskrafter att uppstå när armen faller nedåt. Det är alltså ganska komplext hur krafterna verkar i en enkel limfog och man bör helst ta reda på både draghållfasthet och skjuvhållfasthet eftersom båda är inblandade, och de kan skilja sig mycket ifrån varandra (Podany et al 2001). Det vanligaste sättet att utvärdera limmer är att göra skjuvtester eftersom kraven på en adhesivbindning i kommersiella till-lämpningar definieras som skjuvning, (Podany et al., 2001) och det är den sortens bindning som eftersträvas eftersom den tål mest (*Limhandboken*, s 67).

En artikel av Blackshaw och Ward (1982) beskriver hur man kan göra enkla tester själv för att utvärdera material för museibruk. När man utför hållfasthetsprovning är det viktigt att öka belastningen med en konstant hastighet, till exempel i enheter om 100 g var femte minut. Belastningen bör inte tas bort och läggas till, eftersom det blir fel i mätningen. Permanent deformation kan upptäckas genom att man kör en komplett cykel när man mäter elastisk modulus. Några enkla tester med vikter som appliceras på olika sätt, rekommenderas i artikeln (Blackshaw och Ward, 1982 s. 6-9). Ett liknande enkelt test har gjorts av Koob på Paraloid B-72 på glasskivor för mikroskop. De sattes ände mot ände och monterades vertikalt så att vikter kunde sättas fast (Koob, 1986 s. 10).

Min provning gjordes på följande sätt: Stänger av tenn valdes för att motsvara materialet i ljusstakarna, vilket först undersöktes med SEM-EDX. Det kunde ej upptäckas något annat än tenn i föremålen. Tennet i försöksmaterialet har 99,9 % tennhalt och kommer från Meltolit AB. Försöksmaterialet är i form av trekantiga stänger som är 7 mm på varje sida. Stängerna delades i ca 95 mm långa bitar. I ena änden gjordes ett hål. Hålet gjordes så det gick igenom mitten på en platt sida och den motstående spetsen. Därefter delades stängerna på mitten genom sågning. Tennet är mjukt och deformeras lätt men det blev ganska bra passform efter sågning, inte perfekt men det är det inte heller när riktiga tennföremål går sönder. Det gick 7 dygn mellan sågning och limning. Sågytorna hanterades med fingrar för att vara jämnt smutsade. De tvättades sedan med aceton. Sedan limmades tre stycken med varje lim, se ovan under material. I princip följde jag tillverkarens rekommendationer men använde inte tvingar utan endast tejpbitar som press. Anledningen till det är att det i vissa fall inte är möjligt att använda så stor press, och tennljusstakarna är ett sådant fall. Proverna som ska användas till styrketest fick sedan torka/härda i 2 veckor i rumstemperatur. Därefter gjordes prövningen som följer. Först mättes längden på de limmade stängerna. I ett vridbart skruvstycke placerades stången så att limfogen var strax nedanför fastklämningen och staven hängde lodrätt. Se figur 2. En behållare, som vägde exakt 300 g, fästes med ståltråd i hålet i stavens nedre del. Därefter ökades lasten med 100 g var femte minut tills limfogen lossnade. Eftersom flera limfogar tålde mer än jag räknat med, tog detta mycket lång tid och vikterna tog slut. Därför beslöt jag att efter 3000 g last, öka med 500 g var femte minut istället. Alltså gjordes likadant på alla prover med 100 g var femte minut upp till 3 kg-gränsen där 500 g lades till var femte minut.



Figur 2. Enligt denna enkla princip gjordes testet.

### *5.2.5 Reversibilitet och kontakttest*

En provkropp som limmats med varje lim av tennstängerna togs åt sidan för att göra ett mycket enkelt test av reversibilitet. De fick ligga i ugnen i 60 ° i 23 dagar. Sedan försökte jag att få upp limmerna med olika metoder som valdes utifrån litteraturstudien. Frågan var endast, kan jag få upp fogen och kan jag få bort allt lim, åtminstone så det inte syns något kvarvarande i arbets-mikroskop, utan att skada ytan.

En droppe av varje lim lades på putsat och tvättat tenn, bly, silver och koppar och fick även de vara 23 dagar i ugnen för att se om limmet verkar korrosivt på metallytan. Viktigt att tänka på att ökad korrosion kan komma att ske under alla eftersom det bildas ett syrgasfattigare område under materialet, som blir anod i förhållande till det syrgasrika området runtomkring som blir katod.

## 5.3 Resultat

### *5.3.1 pH*

Resultaten för de två olika pH-mätningarna redovisas nedan i tabell 1 och tabell 2.

Tabell 1: Resultatet från pH mätt direkt på pH-papper med flytande lim

| | | |
|---|---|---|
| **1** | Paraloid B-72 | (pH ca 5-6) (resultat endast vid spädn. m. mer aceton. Mkt svag färgförändring, otydligt resultat) |
| **2** | Araldite 2011 | pH ca 5. Verkar bli mer och mer basisk under härdning |
| **3** | Bostik Epoxy Rapid | pH ca 5 |
| **4** | Loctite Super Glue Precision | pH ca 3 |
| **5** | Bostik Kontakt | pH 5-6 |
| **6** | Dana smältlim | Inget resultat möjligt |

Tabell 2: Resultat för pH-mätningen på limfilmer som klippts i bitar och fått ligga i vatten. Anledningen till att Melinex finns med i mätningen, se avsnitt 5.2.2.

| Nr | Innehåll | pH efter 72 h | pH efter 96 h | pH efter 120 h | pH efter 11 dygn |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | Paraloid B-72 | 6,25 | 7,13 | 7,09 | 7,11 |
| **2** | Araldite 2011 | 10,61 | 10,34 | 10,67 | 10,40 |
| **3** | Epoxy Rapid | 9,56 | 9,58 | 9,70 | 9,42 |
| **4** | Loctite SGP | 6,88 | 6,60 | 7,04 | 6,15 |
| **5** | B. Kontakt | 7,52 | 7,69 | 7,54 | 7,70 |
| **6** | Smältlim | 7,43 | 7,31 | 7,13 | 6,50 |
| **M** | Melinex | 6,85 | 7,51 | 7,11 | 6,56 |

### *5.3.2 Oddy-test*

Bokstäverna P, T, U brukar användas för att ange resultat i Oddy testet. Bokstäverna anger hur lämpligt det är att använda materialet (permanent, temporary eller unsuitable). Samma kriterier som anges i artiklarna citerade ovan används här, men bokstäverna byts ut till siffervärden eftersom enbart resultaten av detta prov inte kan avgöra om limmerna är lämpliga eller inte. Därför använder jag siffror så att 1 motsvarar P, 2 motsvarar T och 3 motsvarar U. Resultaten redovisas i tabell 3. Se även figur 3.

Referenskupongerna var blanka och utan korrosion. Blyet var dock inte riktigt lika polerat som innan men hade en jämn mörkgrå yta.
Resultatet 1 betyder alltså ingen förändring jämfört med referensen. Ytan fortfarande polerad. (blyet dock inte lika blank längre eftersom inte heller referenserna var det. Men jämn, mörkgrå yta).
Resultatet 2 betyder lite korrosion/missfärgning.
Resultatet 3 betyder att tydligt synlig korrosion eller att poleringen tydligt är borta.

Tabell 3: Resultatet från Oddy-testet

| | bly | koppar | silver |
|---|---|---|---|
| **1 (Paraloid B-72)** | 1 | 1 | 1 |
| **2 (Araldite 2011)** | 2 svagt gul/gråaktiga fläckar | 1 | 1 |
| **3 (B epoxy rapid)** | 2 aning av mjölkig vit beläggning | 3 gul/brun beläggning nästan svart i botten | 3 gulbrun iriserande beläggning. |
| **4 ( Loctite super gl p)** | 2 en aning vitgrå fläckar, mkt lite | 1 | 1 |
| **5 (Bostik kontakt)** | 2 lite flammigt i olika grå nyanser | 1 | 1 |
| **6 (Dana limstänger)** | 3 fläckig med helt vita partier | 1 | 1 |

Vattnet i de små rören var helt borta, trots att inget vatten verkar ha sugits upp i provmaterialet. Det tyder på att korkarna släppt igenom ganska mycket vatten vilket kan ge ett felaktigt resultat, men det är i alla fall lika för alla proverna.

Figur 3. Resultatet från Oddy-testet. Det är svårt att fånga färgskillnaderna på foto på grund av blänk i metallen.

### *5.3.3 Styrka*

Resultat från styrketestet redovisas i tabell 4. Det kan även tilläggas att ingen töjning av tennet kunde upptäckas vid mätning med linjal före och efter. Deformation synlig med ögat skedde endast på lim nr 4 prov 1. För att undersöka brottytan har jag använt arbetsmikroskop. Resultaten redovisas här i gram vilket betyder den vikt som provet kunde bära innan fogen lossnade. För att räkna ut spänningen, kan man ta tyngden av lasten som krävdes för att bryta fogen (i Newton) delat på ytan i tvärsnittet, som är cirka 0,000021 $m^2$ (om man antar att brottytan är helt jämn) och får då värden i Pascal eller $N/m^2$. Det kan dock vara missvisande att jämföra värden som inte gjorts med standardmetod för provning av draghållfasthet.

Tabell 4: Resultat av styrka/hållfasthetsprövning

| | **Prov 1 (gram) last innan brott** | **Prov 2 (gram) last innan brott** | **Kommentar – var har brottet skett samt övrigt** |
|---|---|---|---|
| **1. Paraloid B-72** | 1100 g | 1400 g | Båda proverna gick sönder kohesivt i limmet, men det andra delvis adhesivt brott i gränsytan. |
| **2. Araldite 2011** | 2600 g | 8200 g | Det finns enbart lim på ena brottytan. Inga skador på ytorna. På prov 2 har ståltråden orsakat skada på tennet. |
| **3. Epoxy Rapid** | 9400 g | 3200 g | Brottet mestadels adhesivt mellan lim och tenn. På prov 1 kan ev. lite tenn från ena sidan ha fastnat i limmet på andra sidan men det är inte säkert. Även skador i hålet där ståltråden skurit in, på prov 1. |
| **4. Loctite Precision** | - (13800 g) | 4000 g | Prov 1: fogen har ej brustit men vid 13,8 kg brast tennet i anslutning till upphängningshålet. I prov 2 brast fogen |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | kohesivt i limmet mestadels. (lite adhesivt) Inga skador. |
| **5. Bostik kontakt** | 2100 g | 1300 g | Brottet har skett vid gränsen mellan lim och adherent samt lite kohesivt i limmet på ena provet. Inga skador på tennet. |
| **6. Dana limstänger** | - | - | Limfogarna var så svaga att de gick sönder redan av att bära sin egen tyngd när de hängdes upp. |

### *5.3.4 Övriga resultat*

Försöket med att lossa fogarna och ta bort limmet från de stänger som legat i ugnen 23 dagar gav följande resultat.
1. Paraloid B-72. Den gick lätt att lösa upp i aceton.
2. Araldite 2011. 100 ° värmespatel fungerade inte. Värmning med hårfön eller i ugn tycktes inte heller ha någon effekt. Jag ville inte använda farliga lösningsmedel, och lyckades inte få bort limmet. Att bryta fogen går dock lätt mekaniskt men skulle inte fungera på andra typer av limfogar på föremål.
3. Epoxy Rapid. Samma resultat som ovan. (2)
4. Loctite Super Glue Precision. Det gick överraskande lätt att få bort limmet. Efter fyra dagars acetonbad försvann allt.
5. Bostik Kontakt. Lätt att få upp mekaniskt. Gick lätt att peta bort med trästicka. Möjligt att större fogytor kan orsaka större problem.
6. Dana limstänger. Lossnar i princip av sig själv.

De limdroppar som lagts på ytan av fyra olika metaller och varit i ugnen lika länge, uppvisade inga spår av förändringar på ytan över huvud taget.

## 5.4 Testföremål

Två föremål användes till att testa att limma.

Figur 4 och figur 5. Ljusstake 1 och ljusstake 2.

Nr 1. (se figur 4) är en ljusstake av tenn. Materialet testades med hjälp av SEM-EDX för att kunna få fram ett provmaterial av samma legering, och ingen annan metall än tenn kunde påvisas. Se bilder i bilaga 2. Den ser ut att vara gjuten och därefter ihopsatt av flera delar. Den ena av de två armarna är avbruten. Man kan se att det finns en ”bubbla” i metallen som kan ha

uppstått vid gjutning, givit upphov till en stresskoncentration, som sedan lett till en spricka vid belastning. Den har en märkning som säger Svenskt tenn (vilket inte behöver innebära varumärket) och en tuschtext på undersidan säger Mae 19 : -

Nr 2. (se figur 5) är också troligen en ljusstake. Även den består enbart av tenn. Föremålet är cylinderformat, med en smalare hals och därefter ett ”brätte” (droppskål). Storleken är lämplig för att placera ett värmeljus i. Ytorna har tydliga ränder som kan vara märken efter svarvning. Det finns ett litet runt handtag. Märkning i botten: Kärra tenn handarbete, R10, vilket betyder att den är tillverkad 1991. Den köptes på second hand-butik och var då hel, men handtaget slogs av för att få ett ytterligare testmaterial. Handtaget deformerades då rätt så kraftigt.

Anledningarna till hur jag valde att limma ljusstakarna kommer att tas upp under kapitel 6, Diskussion. Nummer 1 limmades med Paraloid B-72. Efter att fogytorna tvättats med aceton applicerades limmet på båda ytorna och pressades ihop. De fästes med tejpbitar och ett tillfälligt stöd byggdes upp under den. Efter torkningen behövde delarna justeras en aning så limmet värmdes med hårfön så att den kom över sitt $T_g$ och kunde rättas till. Nummer 2 limmades med Araldite 2011. Svårigheten här låg i att det runda ”handtaget” deformerats så att de två limningspunkterna ej längre hamnade på sina ursprungliga platser. Jag beslöt att forma tillbaka ringen till en lite rundare form. Jag använde gummiklubba och trä för att forma den en liten aning. Se figur 6-7.

Figur 6 och figur 7. Pågående limning av ljusstake 1 och ljusstake 2

# 6. Diskussion

Under arbetet har det blivit tydligt för mig att limmer är ett mycket komplext område och det är mycket vi inte vet om hur de bryts ner, hur de påverkar föremål och vad kommersiella limmer egentligen innehåller. Slutsatsen av det måste vara att limmer bara ska användas när de behövs, och att konservatorn har ett ansvar för att undersöka material inför valet. De föremål som en konservator arbetar med är så komplexa och så olika varandra att de aldrig kan beräknas uppträda som ett liknande material. Varje föremål måste få ge sina egna regler. Testresultat som de jag tagit fram här kan dock ändå vara användbara och de kan säga någonting om hur material beter sig.

Mycket av problemet med limning av kulturhistoriska föremål av metall, ligger i striden mellan styrka å ena sidan och reversibilitet och föremålets integritet å andra sidan. De starkaste fogarna, svetsning, hårdlödning och till och med mjuklödning är helt irreversibla och kan ha negativa effekter på materialet. De starka konstruktionslimmerna är gjorda för att hålla för alla temperaturer och lösningsmedel och är därför mycket svåra att ta bort. När de material som går att ta bort på ett enkelt sätt börjar dyka upp, är styrkan för länge sedan mycket lägre och i vissa fall kanske inte tillräcklig för tunga metallföremål. Därför är det konservatorns svåra beslut att välja vad som är viktigast och att försöka kompromissa, och förutsäga behovet av en viss styrka hos limfogen. Det är viktigt att inte glömma, att det kan finnas andra lösningar för att komma runt det här problemet. Exempelvis kan man låta föremålet vara fragmentariskt och istället göra en kopia i hel form, eller ordna en montering som bär tyngden så att ett svagare, mer reversibelt lim kan användas. I vissa fall kanske det däremot är viktigast att kunna använda föremålet i sitt ursprungssammanhang.

Några saker som skiljer limning av metallföremål från andra typer av föremål är bland annat att metaller är tunga, ofta icke-porösa och att deras ytor bildar olika oxidskikt. Vilka fördelar och nackdelar har jag då kunnat upptäcka hos de sex limmerna som undersökts? Först vill jag diskutera om metoderna har varit tillräckliga för att kunna säga något om det. Jag tror att även om resultaten endast kan ses som indikationer, så kan de ge vissa uppfattningar om ett lims egenskaper. Det som mina experiment inte säger så mycket om, är deras uppförande under naturlig åldring, något som är en mycket viktig, kanske den viktigaste, egenskapen för en konservators val av lim.

Jag valde att mäta pH för att material som är så tätt förbundna med ett föremål kan ha en påverkan om de har ett pH som är olämpligt för föremålet. Resultaten visade att flera limmer är rätt så sura i flytande form: nr 4, Loctite Super Glue Precision, var endast pH 3 vid påförande. På samma sätt var epoxilimmerna rätt så basiska i fast form. Det finns en teoretisk möjlighet att det kan vara skadligt för metaller som inte är stabila i detta pH. Huruvida det verkligen är så att limmets pH påverkar metallföremål, skulle behöva undersökas närmare. Utifrån resultaten vid kontakttestet kunde inte något sådant påvisas och jag har inte stött på frågeställningen i litteratur. En möjlig felkälla för pH-proverna kan vara att pH-papper inte är särskilt pålitliga. En annan är att koldioxid kan lösa sig i vattnet så att provet blir surare. Därför hade ett prov med enbart vatten kunnat mätas. Det skulle ha varit mer relevant att mäta pH efter naturlig eller accelererad åldring eftersom materialen ska användas under lång tid och att pH förändras vid nedbrytning är inte ovanligt (Down et al. 1994). Smältlimmet har faktiskt blivit något surare för varje mätning. Det kanske beror på helt andra saker, men möjligen kan det vara så

att det faktiskt visar att materialet blir surare. Smältlimmet består av EVA som är en sampolymer av etylen och vinylacetat och som sagts tidigare är det känt att i alla fall polyvinylacetat avger sura ämnen. Jag vet inte varför vissa värden ändrade sig så mycket mellan mätningarna men det kan bero på min ovana med pH-metern.

Oddy-testet visade intressanta resultat. Det är ett väldigt tydligt test som visar vad som händer med metallen. Det är tydligt att bly är den känsligaste metallen. Det är endast Paraloid B-72 som inte påverkat blyet alls i jämförelse med referensprovet. Avgivande av flyktiga ämnen är som mest skadligt om föremålet är inneslutet i en trång förvaring.

Styrketestet har en del problem med både reliabilitet och validitet. Det är mycket stora skillnader i resultatet för de prover som förberetts på exakt samma sätt och med samma lim. Det hade varit bra med fler prover av varje lim. Om man ska se testet som ett sätt att undersöka vilket lim som ska användas på de två ljusstakarna, mäter provningen fel saker eftersom ingen av de fogarna i första hand kommer att utsättas för dragkrafter vilket är det jag mäter här. Resultaten är ändå användbara eftersom det är så stor skillnad mellan limmerna att det är möjligt att ordna dem i en skala. Dana limstänger visade sig till exempel fungera mycket dåligt. Jag har inte jämfört mina värden för hållfasthet med andras, eftersom jag inte har använt samma testmetod.

Undersökningen av de undersökta limmernas reversibilitet var mycket enkelt genomförd, men jag uppfattade det ändå som att jag fick ut vissa resultat från det. Jag har åtminstone själv, genom att försöka få bort dem, fått en utökad inblick i vilka svårigheter det kan erbjuda. Mycket litteratur säger att epoxi kan avlägsnas, och får det att låta som en enkel sak, men det har blivit tydligt för mig att det inte nödvändigtvis är så. Det hade givetvis varit intressantare om fogarna kunnat åldras naturligt först. Det är också viktigt att tänka på, att det är lättare att få upp en regelbunden fog mitt på en smal stång, jämfört med ett föremål som kan se helt annorlunda ut.

För lim nr 1, Paraloid B-72 är resultaten ganska mycket i överensstämmelse med dem som finns i litteratur. Den avger inga flyktiga ämnen, gick lätt att lösa upp och har ett ganska neutralt pH. Mitt resultat för pH på Paraloid B-72 ligger mellan 6,25-7,13 vilket kan jämföras med CCI:s resulat 6,41 +-0.08 (Down et al. 1994). I till exempel Podany et al. (2001) fanns Paraloid B-72 ha lika hög draghållfasthet som epoxi. Att mina resultat var så annorlunda det, kan bero på att limmet endast fick torka två veckor i mitt experiment, men tre veckor i artikeln. Lösningsmedelsbaserade limmer kan ta lång tid på sig att nå full styrka när de limmas mellan ogenomträngliga adherenter. Dels kan det bero på att testerna gjordes helt olika, jag hade tenn som substrat och de hade marmor, olika dimensioner på provkropparna och så vidare. Det kan naturligtvis också bero på att limmet skulle ha en sämre vidhäftning till tenn eller metall i allmänhet. Av det jag kan se från mina resultat drar jag slutsatsen att det finns goda skäl till att Paraloid B-72 rekommenderas, och att det även fungerar att använda som lim på metall, i de fall då fogarna inte behöver ha den högsta styrkan. Paraloid B-72 användes för att limma den ena ljusstaken, och jag blev nöjd med resultatet även om jag är något tveksam om ifall hållfastheten kommer att vara tillräcklig för användning av ljusstaken. Om ljusstaken används kommer limfogen att utsättas för rätt så hög belastning när ljuset sätts ned i högra ljushållaren. Om den däremot skulle ha varit ett museiföremål som inte används behöver den inte ha en lika stark fog. Jag var nyfiken på om Paraloid B-72 skulle ha tillräckligt hög hållfasthet för att klara uppgiften. Om inte, så är Paraloid B-72 lätt att lösa upp så att jag kan göra om det.

Lim nr 2, Araldite 2011, kan möjligtvis korrodera bly en liten aning, men resultatet är inte tillräckligt tydligt för att dra någon slutsats om det. pH är ungefär 10,3-10,6 i härdat tillstånd i

vatten, vilket möjligen kan vara en nackdel i vissa fall. Resultatet av styrketestet är något svårtolkat, och jag tror inte att man kan dra så stora slutsatser av det mer än att säga att epoxi är ett relativt starkt lim. I det ena provresultatet var limmet så starkt att ståltråden skar in i tennet och tennet skadades före limfogen, det kan alltså enligt klassisk konservatorslogik anses vara ett för starkt lim för materialet. Jag lyckades inte att få bort allt lim när jag försökte, men har heller inte prövat starka lösningsmedel. Det är i alla fall en nackdel att epoxilimmer kan vara svåra att ta bort. Epoxi kan orsaka förändringar på kopparlegeringar, men det har ej kunnat ses här. Araldite 2011 användes till att limma den andra ljusstaken, och jag blev nöjd med resultatet. Jag började med att omforma ”handtaget” som deformerats. Om föremålet inte hade varit ett testföremål, hade jag naturligtvis tänkt igenom det beslutet ännu mer noggrant. Här visste jag vad som orsakat deformeringen, och jag visste exakt hur ursprungsformen såg ut. Tennet var tillräckligt mjukt för att omforma utan uppvärmning och jag gjorde det med en gummiklubba och en rund träbit. Jag valde att limma med epoxi för att få en stark fog.

Lim nr 3, Bostik Epoxy Rapid, uppvisar liknande egenskaper som den andra epoxin (nr 2) med en betydande skillnad, nämligen att den orsakar silver och koppar att ändra färg mycket tydligt i Oddy-testet. Mörkfärgningen beror troligen på avgivande av svavel, eller möjligen på bildande av färgade aminkomplex. Det finns många andra snabbhärdande epoxialternativ, säkert kan en som inte avger svavel hittas.

Lim nr 4, lyckades i den ena fallet bära hela 13,8 kg trots provkroppens lilla tvärsnittsarea, och kanske hade den burit mer om inte tennet gått sönder då. Det är tydligt att cyanoakrylatfogar kan ha mycket hög draghållfasthet. I övrigt verkar den möjligen avge något som har en svag korrosiv verkan på bly, och i flytande tillstånd har den ett så lågt pH som 3. Jag lyckades ta bort allt det härdade limmet med acetonbad. Det råder ganska mycket tvivel om dess långtids-lämplighet i litteraturen och trots det verkar ingen ha gjort någon verklig undersökning, åtminstone inte vad jag kunnat hitta. Trots det används dessa produkter mycket inom metallkonservering. Det vore av stort värde om en undersökning av dess egenskaper på lång sikt kunde göras.

Lim nr 5, Bostik Kontakt, valdes för att det rekommenderades till metall i järnhandeln. Jag var skeptisk mot materialet, kanske för att det är så gult och gummiaktigt. Jag har dock fått rätt så bra resultat utifrån dessa tester. Styrkan är rätt så hög, limmet är något elastiskt, lätt att ta bort och den verkar inte avge svavel, men har möjligtvis påverkat blyet en aning i Oddy-testet. Eftersom ingen information i konserveringslitteratur hittats om liknande lim, skulle jag inte rekommendera att använda det utan att först göra fler och bättre tester.

Lim nr 6, Dana limstänger, fungerade inte alls utan föll isär av sig själv. Jag hade hoppats att smältlim kunde ha gynnsamma egenskaper för metall eftersom man slipper lösningsmedel men behåller hög reversibilitet. Kanske kan andra smältlimmer fungera bättre. Denna typ orsakade dessutom tydlig korrosion på bly. Eftersom det är en EVA-sampolymer, kanske acetatdelen kunnat bilda ättiksyra, eller så innehåller den någon tillsats som orsakat det.

Om jag valt lim i nuläget, hade jag kanske testat andra, men för att hinna med var jag tvungen att välja innan jag hunnit läsa så mycket litteratur. Jag hade gärna undersökt något reaktions-härdande akrylatlim, cellulosanitrat, polyester och silikon.

Det skulle behövas mer forskning på ämnet. Det skulle vara mycket intressant om någon ville undersöka hur det har gått för de limningar av metall som gjorts under 1950-1970-talen då många sådana verkar ha gjorts med olika typer av nätverksbildande material. Det skulle också vara mycket bra om mer kunde skrivas om långtidsstabiliteten för cyanoakrylater när de

används på metallföremål. Alla de tre konservatorerna jag frågat använder sig ibland av cyanoakrylat, och jag vet också att det används på arkeologiskt järn på ytterligare platser, men all litteratur är överens om att stabilitet och reversibilitet är mycket osäkra.

Konservatorerna är en mycket liten del i limvärlden. Andra områden har större möjligheter att skräddarsy sina limmer. Exempelvis beskrivs hur tätningsmedel designas som avger absolut inga flyktiga ämnen i en vakuummiljö i luftrummet (Skeist 1990, s. 350). Konservatorerna är istället ofta tvungna att försöka utvärdera olika produkter som är gjorda för andra ändamål. För exempelvis målerikonservering finns vissa material som är utvecklade speciellt för ändamålet, och det vore bra om även andra typer av limmer kunde utvecklas så. Eftersom limning av kulturhistoriska metallföremål är ett så litet område är det nog inte troligt att speciella produkter kan framställas för ändamålet.

# 7. Sammanfattning

Att sätta ihop trasiga föremål igen kan göras som en stabiliserande åtgärd när det är risk för materialbortfall. Det kan även fungera som en typ av restaurering som kan göras av flera olika skäl, som att göra dem begripliga för historiker och andra forskare, eller för allmänheten, för att tydliggöra deras estetiska värden, möjliggöra utställning, eller för att återskapa möjligheten att använda bruksföremål.

Syftet med denna uppsats var att belysa ämnet limning av metallföremål inom konservering och restaurering samt att undersöka några olika limtyper för att kunna få en antydan om vad som är de bästa att använda. Det var även en målsättning att laga två testföremål av tenn efter att först genom olika metoder ha undersökt vilka limmer som lämpar sig bäst på ett liknande provmaterial med avseende på olika faktorer. Målet var att kunna få indikation för lämpligheten hos de olika limmerna med hjälp av enkla provmetoder. Jag ställde frågorna: Vad skiljer limning av metallföremål från limning av andra föremål? Vilka limmer lämpar sig för metaller? Är det olika för olika metaller? Vilka fördelar och nackdelar finns hos de sex limmerna som undersöks med avseende på faktorer som hållfasthet, påverkan på föremålet och omgivningen, åldringsegenskaper, pH samt reversibilitet? För att ta reda på detta användes både litteraturundersökning och experiment.

Limmer brukar delas in efter sitt sätt att stelna. En variant stelnar efter att ha värmts över sin smältpunkt och därefter stelnar när den svalnar. En annan variant stelnar då lösningsmedlet avgår och den tredje härdar genom att en kemisk reaktion sker. Det finns hundratusentals olika limmer, naturliga och syntetiska. Endast syntetiska limmer har tagits upp här. De består av olika typer av polymerer, eventuella lösningsmedel samt olika additiver.

Metaller är i regel sega material som lättare deformeras än går i tusen bitar, när man exempelvis tappar dem i golvet. Det finns dock undantag, till exempel gjutjärn som är ett skört material. Dessutom kan korrosionsprodukter och många arkeologiska och vissa andra gamla metallföremål vara mycket sköra. Metallföremål har traditionellt inte vare sig lagats eller tillverkats genom limning utan i första hand genom lödning, svetsning, plastisk bearbetning eller mekaniska sammansättningar som nitar. Lödning har många nackdelar så som irreversibilitet, problem att löda på korroderade ytor, upphettning orsakar skador i patina, kristallstruktur och medför andra risker, korrosivt flussmedel med mera. Lödningen har dock även fördelar som att de är starka och tål väta lika bra som föremålet. Metaller är tunga och ofta behövs starka limmer. De är också ofta icke-porösa vilket kan göra att lösningsmedelsbaserade limmer har svårare att avdunsta. Förbehandling innan limning har betydelse. På metallytorna bildas oxidskikt så snart de blottas för luften. Dessutom kan ytorna vara smutsiga av fett eller liknande som gör att limmet inte kan väta ytan.

Vad som är ett bra lim och en bra limfog varierar beroende på användningsområdet. Konservering har precis som andra områden som använder limmer, sina egna önskemål. Till exempel att materialet ska vara stabilit, lagom starkt men inte starkare än materialet, inte påverka föremålet eller omgivningen, möjligt att avlägsna, icke hälsoskadligt, med mera. Det är mycket svårt att hitta ett material som passar in på alla kriterier. I stället brukar det bli en kompromiss.

De 6 limmer som valdes ut för att testas var: Paraloid B-72, en termoplastisk akrylsampolymer, i aceton, två olika epoxiprodukter, Araldite 2011 A+B och Bostik Epoxy Rapid, Loctite Super Glue Precision, en etyl-cyanoakrylatprodukt, Bostik kontakt, ett kontaklim baserat på polykloroprengummi, Dana limstänger, ett smältlim bestående av en EVA-sampolymer.
Två stycken ljusstakar av tenn var testföremål. Metallen undersöktes med SEM Edx och inget förutom tenn kunde påvisas. Testmaterial i form av stänger av 99,9% tenn införskaffades därför. Limmerna utsattes för några olika tester. pH provades dels i flytande form på pH-papper och dels i fast form i vatten. Ett så kallat Oddy-test gjordes för att undersöka om limmerna avgav ämnen som kan korrodera metaller. Sedan gjordes en enkel draghållfasthets-provning med provkroppar av tenn för att undersöka limmernas styrka. Dessutom gjordes ett enkelt test för att se om limmet kunde avlägsnas. När testerna var klara limmandes de två ljusstakarna.

pH testet visade bland annat att flera av limmerna är rätt så sura vid påförandet. Efter härdningen blir epoxilimmerna basiska, ca pH 9-10. De andra var mer neutrala efter härdningen. Oddy-testet visade att alla utom Paraloid B-72 påverkade bly något. I övrigt var det endast Epoxy Rapid som påverkade silver och koppar, och färgade dem mörka. Resultaten av styrketesterna var något svårtolkat men det man kunde se var till exempel att ett av limmerna över huvud taget inte fungerade, limfogarna föll isär av sig själva. Ett annat var så starkt att i det ena provet gick fogen aldrig sönder över huvud taget, istället brast tennet i provkroppen.

Mycket av problemet med limning av kulturhistoriska föremål av metall, ligger i striden mellan styrka å ena sidan och reversibilitet och föremålets integritet å andra sidan. Limmer är ett komplext område och det är mycket vi inte vet om hur de bryts ner, hur de påverkar föremål och vad kommersiella limmer egentligen innehåller. Konservatorn har ett ansvar för att undersöka material inför valet.

# Käll- och litteraturförteckning

## Referenser till otryckta källor

Informant 1: Linda Denlert, konservator, Studio Västsvensk Konservering. E-postkommunikation 2012-02-28
Informant 2: Christina Tengnér, konservator, Armémuseum. E-postkommunikation 2012-02-21

## Tryckta källor och litteratur


Ambers, J., Higgit, C., Harrison, L., Saunders, D. (red.) (2009) *Holding it all together: ancient and modern approaches to joining, repair and consolidation.* London: Archetype

Asderaki- Tzoumerkioti, E. (2009) "Ancient and modern joining techniques on a bronze Hellenistic urn" in: Ambers, J. et al. (red.) *Holding it all together: ancient and modern approaches to joining, repair and consolidation.* London: Archetype (s. 173-176)

Baer, N. (1984) "Risk assessment as applied to the setting of solvent toxicity levels" in: Brommelle, et al. (red.) (1984). *Adhesives and consolidants : preprints of the Contributions to the Paris Congress*, 2-8 September 1984 London, IIC (s. 26-31)

Batt, J. (1976) *Adhesive bonding for jewellery and silverware. A literature survey.* London: The Worshipful Company of Goldsmiths

van Bellegem, M.J.T.M, Ankersmith H.A., van Langh R., Wei, W. (2004) *"Solder on silver: historical usage and the problem of fretting"* Proceedings of Metal 2004 Published by the National Museum of Australia

Blackshaw, S. M., Ward S. E. (1982) "Simple tests for assessing materials for use in conservation" in *Resins in conservation. The proceedings of the Symposium "Resins in conservation": held at the University of Edinburgh, U.K. 21st - 22nd May 1982.* Edinburgh: Scottish Society for Conservation and Restoration (s. 2.1-2.15)

Bradley, S. (1984) Strength testing of adhesives and consolidants for conservation purposes. in Brommelle, et al. (red.) (1984). *Adhesives and consolidants : preprints of the Contributions to the Paris Congress*, 2-8 September 1984 London, IIC (s. 22-25)

Brommelle, N.S., Pye, E. M., Smith, P. & Thomson, G. (red.) (1984). *Adhesives and consolidants : preprints of the Contributions to the Paris Congress*, 2-8 September 1984 London, IIC.

Byrne, G. S., (1984) Adhesive Formulations Manipulated by the Addition of Fumed Colloidal Silica. in Brommelle et alia (red.) (1984). *Adhesives and consolidants : preprints of the Contributions to the Paris Congress*, 2-8 September 1984 London, IIC. (s. 78-80)

Carlsson, Gunnar (1979). *Limning av metaller*. Malmö: Hermods

Chan &Allara (1974) ”Infrared Reflection Studies of Metal-Polymer Interfaces” Polymer engineering and science, Vol. 14, No. 1 1974.

Costa, V. (2001) The Deterioration of Silver Alloys and Some Aspects of their Conservation *Reviews in conservation* nr 2 2001 IIC

Costa, V. och Urban, V. (2005) Lead and its alloys: metallurgy, deterioration and conservation *Reviews in conservation* nr 6, 2005 IIC

Cronyn, J. M.(1990). *The elements of archaeological conservation*. London: Routledge

Davison, S. (2009) A history of joining glass fragments. *in:* Ambers, J. (red.) (2009). *Holding it all together: ancient and modern approaches to joining, repair and consolidation.* London: Archetype (s. 107-112)

DeLollis, Nicholas J. (1970). *Adhesives for metals: theory and technology.* New York: Industrial Press Inc.

DeWitte, E. (1982) "Resins in conservation. Introduction to their properties and applications." in Resins in conservation (1982?). *The proceedings of the Symposium "Resins in conservation": held at the University of Edinburgh, U.K. 21st - 22nd May 1982.* Edinburgh: Scottish Society for Conservation and Restoration (s. 1.1-1.6)

Down, J.L. (1984) *The Yellowing of Epoxy Resin Adhesives: Report on Natural Dark Aging* I Studies in Conservation Vol. 29, No. 2 1984, s 63-76

Down, J. L., MacDonald, M. A. & Tétreault, J. (1994). *Adhesive testing at the Canadian Conservation Institute: an evaluation of selected poly(vinyl acetate) and acrylic adhesives : report*. Ottawa: CCI

Down, J L., (2001) A literature review of cyanoacrylate adhesives. Reviews in conservation nr 2, 2001 s. 35-38 **(A)**

Down, J L., (2001) *Review of CCI research on epoxy resin adhesives for glass conservation.* Reviews in conservation nr 2 2001 **(B)**

Down, J L., Kaminska, E., (2006) A preliminary study of the degradation of cyanoacrylate adhesives in the presence and absence of fossil materials. *Journal of Vertebrate Paleontology* 26 (3) s. 519-525,

Feller, R. L., (1984) Thermoplastic Polymers Currently in Use as Protective *Coatings ICCM Bulletin* Volume 10, Number 2 (June 1984), pp. 5-17 Canberra, ACT : Institute for the Conservation of Cultural Materials

Fiorentino, P., Borelli, L V (1975) A preliminary Note on the Use of Adhesives and Fillers in the Restoration of Ancient Materials with Special Reference to Glass. *Studies in Conservation* vol 20, nr 4 1975. IIC.

Green, L.R., och Thicket, D. Testing materials for use in the storage and display of antiquities – a revised methodology. *Studies in Conservation 40 (1995) s 145- 152*

Gänsicke, S., Hatchfield, P., Hykin, A., Svoboda, M., Mei-An Tsu, C. (2003 ) The ancient egyptian collection at the museum of fine arts, Boston. Part 2, a review of former treatments at the MFA and their consequences in *Journal of the American Institute of Conservation* Volume 42, Number 2

Hatchfield, Pamela B. (2002). *Pollutants in the museum environment: practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage*. reprinted .2005 London: Archetype

Horie, C. V. (1987). Materials for conservation: organic consolidants, adhesives and coatings. First published 1987. London: Butterworths

Horie, C. V. (2010). Materials for conservation: organic consolidants, adhesives and coatings. 2nd ed. Amsterdam: Butterworth-Heinemann

Karmann, W. & Gierenz, G. (red.) (2001). Adhesives and adhesive tapes. Weinheim: Wiley-VCH

Keene, S. (1984) The performance of coatings and consolidants used for archeological iron in Brommelle, N.S., Pye, Elizabeth M., Smith, Perry & Thomson, Gary (red.) (1984). *Adhesives and consolidants : preprints of the Contributions to the Paris Congress*, 2-8 September 1984 London, IIC. (s. 104-106)

Kinloch, A. J. (red.) (1983). *Durability of structural adhesives.* London: Applied Science

Koob, S. P. (1986) The Use of Paraloid-B72 as an Adhesive: Its Application for Archaeological Ceramics and Other Materials. in *Studies in Conservation* vol 31 nr 1 1986. IIC.

Maish, J. Interpretation of ancient artistry: Conservation of a gold wreath from the fourth century B.C. *Journal of the American Institute for Conservation*. JAIC 1995, Volume 34, Number 2, Article 3 (s. 113 -127)

Nel & Lau (2009) Identification of a formulation change in a conservation-grade adhesive. In: Ambers, J. (red.) (2009). *Holding it all together: ancient and modern approaches to joining, repair and consolidation.* London: Archetype (s. 99-106)

Lane, H. (1974) The Restoration of Thin Metal Vessels Using Glass-Fibre and Polyester Resin *Studies in Conservation* nr 4 1974 vol 19, IIC

*Limhandboken* (1991). Helsingborg: Casco Nobel

Oddy, W.A. (1973)"An unsuspected danger in display" *Museums Journal* 73 s. 27-28

Oddy, A. & Carroll, S. (red.) (1999). Reversibility - does it exist? London: British Museum

Plenderleith, H. J. & Werner, A. E. A. (1971). *The conservation of antiquities and works of art: treatment, repair, and restoration.* 2. ed. London: Oxford U.P.

Podany, J. Garland K.M., Freeman W.R., Rogers, J. (2001) "Paraloid B-72 as a Structural Adhesive and as a Barrier within Structural Adhesive Bonds: Evaluations of Strength and Reversibility". *Journal of the American Institute for Conservation,* Vol 40 nr 1 2001 s 15-33

Resins in conservation (1982?). *The proceedings of the Symposium "Resins in conservation": held at the University of Edinburgh, U.K. 21st - 22nd May 1982.* Edinburgh: Scottish Society for Conservation and Restoration

Robinet, L. och Thicket, D. A New Methodology for Accelerated Corrosion Testing *Studies in conservation 48 (2003) s. 263 - 268*

Schilling, M. R. (1989) The Glass Transition of Materials Used in Conservation *Studies in Conservation*, Vol. 34, No. 3 (Aug., 1989), pp. 110-116

Selwyn, Lyndsie (2004). *Metals and corrosion: a handbook for the conservation professional*. Ottawa: Canadian Conservation Institute

Shashoua, Y, Bradley, S.M., Daniels, V.D. (1992) Degradation of Cellulose Nitrate Adhesive *Studies in conservation* nr 2 1992

Skeist, I. (red.) (1990). *Handbook of adhesives. 3. ed.* New York: Van Nostrand Reinhold

Stambolov, T. (1985). *The corrosion and conservation of metallic antiquities and works of arts.* [2., rev. ed.] Amsterdam: Central Research Laboratory for Objects of Art and Science

Standardiseringskommissionen i Sverige (SIS) *Plast- och gummiteknisk ordlista: Sv-E-F-D-Da-No-Fi = Glossary of plastic and rubber terms : Sv-E-F-D-Da-No-Fi.* 3. utg. (1986). Stockholm: Standardiseringskommissionen i Sverige (SIS)

Tekniska nomenklaturcentralen (1977). *Hållfasthetsordlista: Sv-E-F-D-Da = Glossary of strength of materials : Sv-E-F-D-Da.* 2., omarb. utg. Stockholm: Tekniska nomenklaturcentralen

Tuttle, P. H. "the conservation of a 4th century greek cuirass and helmet" (1982?) in *Resins in conservation. The proceedings of the Symposium "Resins in conservation": held at the University of Edinburgh, U.K. 21st - 22nd May 1982.* Edinburgh: Scottish Society for Conservation and Restoration (s. 12.1-12.8)

Volfovsky, Claude (red.) (2001). La conservation des métaux. Paris: CNRS

Wilks, H., C. Newey, et al. (1992). *Science for conservators: Vol. 3, Adhesives and coatings.* London, Conservation Unit of the Museums & Galleries Commission in conjunction with Routledge

**Elektroniska källor och litteratur:**

Datablad från limtillverkare:

Araldite 2011:

http://www.hmsassist.com/galindberg/content/frame.asp?init=D&site=galindberg&vnr=1622&doc=2 (2012-03-12)

Bostik Kontakt:

http://www.alfalaval.com/service-and-support/safety-data-sheets/adhesives/9844000200-bostik-contact-a3/Documents/9844000200-SWE-02_Bostik-contact-A3.pdf (2012-03-12)

Dana Limstänger:

http://www.danalim.dk/fileadmin/editors/produktinformation/dk/814.pdf (2012-03-12)

Epoxy Rapid:

http://tds.bostik.se/BostikTDS/SE/P0156_SE_TDS.pdf (2012-05-08)

http://www.dahl.se/vd/306227.pdf (2012-05-08)

Karlssons klister:

http://www.karlsons-klister.se/indexx.html?produktsortiment/flaskan.html (2012-03-12)

Loctite Super Glue Precision:

http://www.henkel.hr/hrc/content_data/TDS_Loctite_Super_Attak_5g_10g_Liquid.pdf (2012-05-19)

http://media1.sparex.com/common/docs/14764.pdf (2012-06-03)

Paraloid B-72:

http://www.dow.com/assets/attachments/business/pcm/paraloid_b/paraloid_b-72_100_pct/tds/paraloid_b-72_100_pct.pdf (2012-05-08)

http://www.collectioncare.org/MSDS/b72MSDS.pdf (2012-05-08)

**Övrigt Internet**

ASTM D1583 – 01: http://www.polymercenter.org/admin/upfile/20097131347590.pdf (2012-05-08)

Symposium 2011: http://www.cci-icc.gc.ca/symposium/2011/index-eng.aspx (2012-05-08)

Nationalencyklopedin på Internet, artikel polymerisation (2012-05-07)

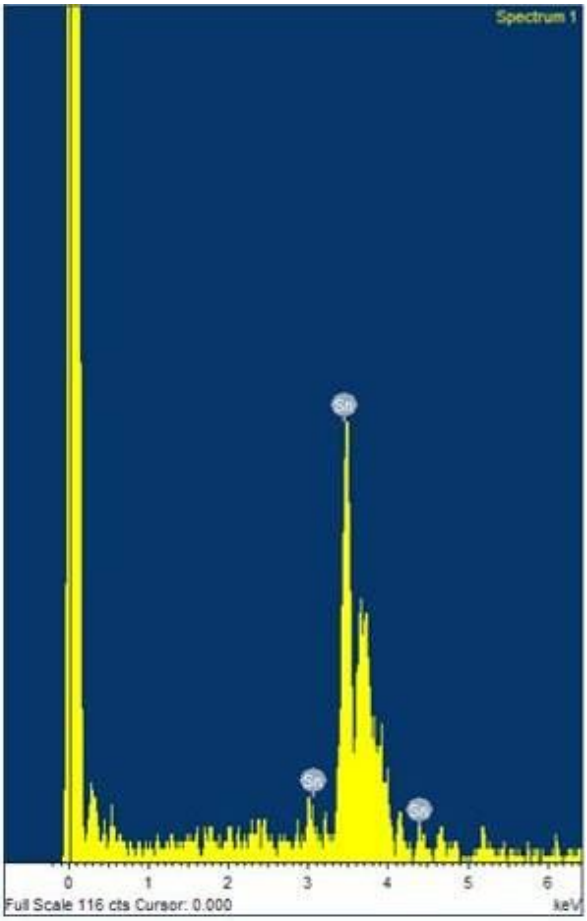
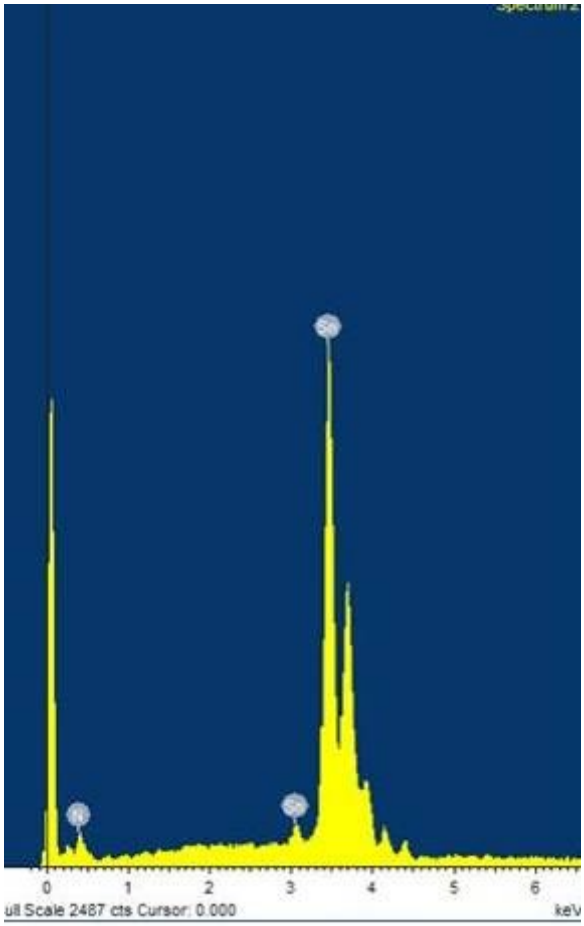
*http://lotsen.ivf.se/KonsLotsen/Bok/appendix4/Definitioner.html* (2012-06-10)

Bilder: Alla bilder är tagna/ gjorda av mig

# Bilaga 1: Ordlista

**Adherender, adherenter:** delarna som ska limmas ihop
**Adhesionskraft:** Kraft mellan två olika material, t.ex. mellan limmet och ena fogytan.
**Brukstid:** (Pot life) Den tidsperiod som limmet kan användas efter att komponenterna
**Dispersion:** Små partiklar uppslammade i en vätska ofta plast eller gummipartiklar i vatten.
**Elastomer**: Ett material som kan sträckas upprepade ganger till minst sin dubbla längd I rumstemperatur och som återvänder till sin ursprungslängd när sträckningen upphör.
**Fläkning:** (peel) Brukar användas som en provmetod. När man drar av den ena adherenten som oftast är flexibel som till exempel en tejpbit från den andra, i riktning parallellt med limfogen så att spänningen koncentreras till en smal linje vid fogens kant.
**Fyllnadslim:** (Gap-filling adhesive) Lim som har god hållfasthet även i tjocka skikt
**Fog:** (Joint) The location at which two adherends are held together with a layer of adhesive.
**Gränsskikt:** Det ytterst tunna skikt där limmets och materialets molekyler möts.
**Härdning:** Stelning genom kemisk reaction
**Härdare:** Ett ämne som tillsätts för att sätta igång eller påskynda härdningsreaktionen
**Härdplast:** Plast som är tvärbunden och inte kan smältas efter härdning.
**Kallflytning:** (Cold flow) Långsam deformation som uppstår vid rumstemperatur under inverkan av gravitationskraft.
**Kohesionskrafter:** Sammanhållande krafter mellan molekylerna inne i ett material
**Konstruktionslim:** Lim som under lång tid kan motstå höga spänningar och temperaturer.
**Krypning:** (Creep) Långsam deformation som uppstår på limfog under belastning
**Lagringsbeständighet:** (Shelf life) Tid som limmet kan väntas behålla sina fungerande egenskaper, under bestämda förhållanden.
**Limbom:** Del av limfogen där lim saknas eller limmet inte har vätt materialet.
**Primer**: Ämne som appliceras före limmet av olika anledningar t.ex. ökad hållfasthet.
**Skjuvning:** (shear) Om två sammanlimmade kroppar dras med en kraft som är parallell med limfogens tvärsnittsyta så utsätts den för skjuvspänning
**Stumfog:** Ytorna ligger dikt an mot varandra utan överlappning
**Termoplast:** plast som blir plastisk (eller smälter) vid uppvärmning utan att kemisk förändring sker.
**Tixotropi:** Förmåga att ändra sin viskositet under skjuvspänning. Ett tixotropiskt material kan till exempel lätt spridas på en vertikal yta men rinner inte av eftersom den omedelbart blir trögflytande.
**Viskositet:** Flytegenskaper, lättflytande (låg viskositet) eller trögflytande (hög viskositet)

*Ordlistan har gjorts bland annat med hjälp av följande litteratur som hittas i käll- och litteraturförteckningen: Limhandboken, Plast och gummiteknisk ordlista, Hållfasthetsordlista, DeLollis och Gierentz och Kahrman.*

# Bilaga 2: Resultat från SEM EDX

Ljusstake 1 (1) och ljusstake 2 (2).