



Bestämning av biocidspridning vid sanering
av bottenfärg från fritidsbåtar

Anders Lorén, Karin Engelhart, Anna Bredberg, Lars
Rosell och Eva Emanuelsson

Innehåll

Innehåll.....	2
1 Förord.....	3
2 Summering	3
3 Mål.....	3
4 Saneringsmetoder.....	3
5 Experimenthall	4
6 Mätmetoder	4
6.1 Provtagning.....	4
6.2 Kemiska mätningar av spridd färg	5
6.3 Spridning till luft och arbetsmiljö.....	5
6.3.1 Vågbart damm	5
6.3.2 Partiklar.....	6
7 Scenariobeskrivningar och experimentutförande	6
7.1 Skrapning.....	6
7.2 Slipning.....	7
7.3 Gelbehandling med skrapning.....	8
7.4 Gelbehandling och högtryckstvätt	9
7.5 Fristråleblästring med sand- bra täckning	11
7.6 Fristråleblästring med sand- sämre täckning.....	12
7.7 Fristråleblästring med kolsyra.....	13
7.8 Vacuumblästring -Sand	14
7.9 Laserablation	14
8 Resultat och erfarenheter	15
8.1 Skrapning.....	15
8.2 Slipning.....	16
8.3 Fristråleblästring	17
8.4 Vacuumblästring.....	18
8.5 Gel och skrapa.....	18
8.6 Gel och högtryckstvätt	19
9 Spridning med vind.....	19
10 Mätning av luftburna partiklar och ämnen	21
10.1 Hygieniska gränsvärden	21
10.2 Partikelfraktioner i luft	23
11 Scenarioberäkningar	26
12 Abstract	28

1 Förord

Undersökningen har initierats av Transportstyrelsen och samverkansgruppen Skrovmålet med ett tiotal deltagande myndigheter. Syftet är att få ett tekniskt underlag som kan bidra till beslut om metodik för sanering av fritidsbåtar med biocidinnehållande bottenfärg. Undersökningen har finansierats av Transportstyrelsen, avdelningen för sjö- och luftfart samt delvis av Havs och Vattenmyndighetens anslag 1:11 -åtgärder för havs- och vattenmiljön.

2 Summering

Spridning av biocider från sanering av båtbottnfärg bestämdes experimentellt genom att sanera båtar med sex olika metoder och mäta den spridda andelen bottenfärg. Metoderna är vanligt förekommande i fritidsbåtshamnar och utförs vanligen av båtägaren, dessutom utvärderades fackmannamässig blästring. Resultaten från de olika scenariona visar att det går att utföra sanering med många av de vanliga metoderna slipning, skrapning, gelupplösning samt blästring och uppnå insamling av mer än 98 % av färgen. Metoderna skiljer sig åt i andelen spridd färg men även i svårighetsgrad i utförande samt hur robust de kan utföras med bibehållen låg spridning. Faktorer som utförande, båt och färgtyp varierar stort vid implementering på det svenska båtbeståndet, vilket ger att det sannolikt är viktigare med rätt riskminskningsmetoder än att rangordna saneringsmetoderna. Metoder som bildar torra små partiklar vid borttagande av färgen är känsliga för att dessa färgpartiklar sprids med vinden. Beräkningar av partiklars vindtransport visar att de partikelstorlekar som bildas vid tex slipning och skrapning med lätthet kan spridas utanför en skyddande marktäckning till den yttre miljön. Spridningen i ett sådant saneringsfall kan vara mycket högt och kan i det närmaste bli fullständig om inte skyddsåtgärder vidtas. Hantering av denna risk bör göras genom att, såsom i vissa av de utförda experimenten, samla in partiklarna med sug, ha kontroll över vindhastigheten samt kravställa utförandet, alternativt förbjuda metodiken.

3 Mål

Vid färgborttagning från fritidsbåtar sprids giftiga ämnen till omgivande miljö och till den som utför arbetet. Hur mycket beror av tillvägagångssätt och metod. Målet med denna undersökning är att sätta siffror på spridningen. Olika metoder, både professionella- och gör-det-självmetoder utvärderades på båtar i hamnmiljö.

4 Saneringsmetoder

De metoder som är valda är de som vanligen förekommer i fritidsbåtshamnar eller anses ha potential att användas för sanering. Metoderna har använts i hamnmiljö där fritidsbåtsägare är aktiva, andra miljöer med annan mer komplex infrastruktur tex

blästerhallar har inte utvärderats. De metoder som utvärderats är slipning med excenterslip hobby/proffs, skrapning, gelbehandling med skrapning, gelbehandling med högtryckstvättning, fristråleblästring med sand eller kolsyra, vacuumblästring samt laserablation. För varje metod har ett scenario efterliknats, detta scenario är viktigt för utfallet och föreslagna experimentuppställningar skickades på remiss till parter i Skrovmålet samt andra aktörer innan start för acceptans och för att få verklighetsnära experiment.

5 Experimenthall

Försöken, som simulerar utomhusmiljö, utfördes inne i en experimenthall som anslöts till en vit presenning på marken. Hallen var 12x6x6 meter och användes för att göra det möjligt att samla in den spridda bottenfärgen från själva saneringsexperimenten. Exempelvis så gjordes spridningsmätningarna från slipning genom att placera en båt på en marktäckning inne i hallen, därefter bestämdes spridningen till yttre miljö som den färg som sprids utanför marktäckningen, se Figur 1. Deponering rakt ned på marktäckningen anses inte vara spridning då den kan tas om hand som farligt avfall.



Figur 1. Experimenthall i hamnmiljö (vänster). Uppställd båt på marktäckning (ljusblå plast) och vit presenning som representerar yttre miljö (höger).

6 Mätmetoder

6.1 Provtagning

Spridning till omgivande miljö bestämdes genom att samla in deponerat damm utanför båtens marktäckning och hallens väggar. Denna provtagning gjordes med en dammsugare med extra effektiv dammavskiljning (Kärcher NT/15; Klass H; HEPA13) vilken avskiljer 99,995% av 1 μm partiklar (Figur 2). Dammsugarpåse samt tillhörande HEPA-filter analyserades för bestämning av metaller från bottenfärgen. Dessutom kompletterades mätningarna med insamling av damm från plastytor på inneslutningarnas väggar genom avtorkning med provtagningsservetter, avskrapning av

verktyg, avtorkning av kärra, avtvättning av skrov etc. för att bättre förstå spridningsvägarna.



Figur 2. Provtagning (dammsugning) av slipdamm från båtbottnfärg (vänster) och montering av HEPA-filter i aktuell provtagningsdammsugare (höger).

6.2 Kemiska mätningar av spridd färg

Bestämning av mängderna spridd bottenfärg gjordes genom att bestämma mängden metaller i uppsamlade prover. Metallmängden relaterades till metallinnehållet på båtskroven och ett resulterande mått av "andel spridd färg som fraktion av sanerad färg". Metallinnehållet på skroven bestämdes genom att helt skrapa ner bottenfärgen på 10x10 cm rutor och analysera metallinnehållet. Metallerna bestämdes genom uppslutning av de insamlade proverna (dammsugarpåsar, HEPA-filter, vatten, etc) följt av kvantifiering med ICP-OES eller ICP-MS. Verifiering av dessa mätmetoder gjordes genom att kvantifiera färger med kända halter av metallerna och bestämma utbytet. Utbytet, dvs hur stor andel av metallerna i dammet som ingår i mätningen, bestämdes till mellan 83-90 % för samtliga metaller. Utbytesexperiment för provtagningen med dammsugare gjordes genom att dammsuga upp kända mängder färgdamm (framställt genom slipning av bottenfärg med 120 och 40 papper) och bestämma hur mycket som fångas in. För torrdammsugning bestämdes utbytet till 98% och för våtdammsugning till 60%.

Partikelstorleksfördelning för material som skrapats eller slipats direkt från båtarna gjordes med optisk laserdiffraktion, Malvern Mastersizer 3000, efter uppslamning i vatten.

6.3 Spridning till luft och arbetsmiljö

6.3.1 Vägbart damm

För insamling av inhalerbart damm så användes IOM kassetter och för respirabelt damm så användes provtagningscykloner (för definitioner av dessa fraktioner se 10.1). Provtagningsutrustning hängdes i en sele på den personal som utförde saneringsarbetet och filterkassetter monterades på ett sätt som gör att provet representerar andningszonen. Den stationära utrustningen stod en bit, ca 2 m, utanför intäckning för att mäta spridning av damm till miljön (se Figur 3). Mätningarna pågick under hela arbetsmomentet (53-175 min).

Prov togs även med en impaktor i fyra steg (0,25 0,5 1,0 och 2,5 μm) och högflödespump (provtagningsflöde 9 L/min) för att på kortare tid få tillräcklig provmängd för kemisk analys. För denna mätning finns inga gränsvärden men den ger ändå värdefull information kring vilken storleksfraktion metaller etc befinner sig.

6.3.2 Partiklar

För att få en generell uppfattning om spridning av mindre partiklar till miljön användes ett direktvisande optiskt instrument som visar partiklar i storleken 0,1-15 μm (TSI, Dusttrak DRX Aerosol Monitor 8533) placerad 3-8 m utanför själva arbetet, (beroende på var på skrovet arbetet just då utfördes, men ca 2 m från intäckning). För den här typen av mätning finns ingen standard där man direkt kan jämföra mot hygieniska gränsvärden. Mätningen kan däremot användas för att identifiera arbetsmoment som genererar stora partikelemissioner, deras storleksfördelning samt hur dessa sprider sig i miljön.



Figur 3. Till vänster syns utrustning för stationär mätning av spridning till miljön (Dust Trak), till höger visas utrustning för exponeringsmätning vid blästring.

7 Scenariobeskrivningar och experimentutförande

7.1 Skrapning

Skrapning av en motor- eller segelbåt som ligger upplagd på kärra eller på stöttor/vagga. Experimentet utfördes på en motorbåt upplagd på kärra, detta är ett svårare saneringsfall än motsvarande uppställning av segelbåt på bockar eller i vagga. Detta

scenario anses kunna ge mer spridning av färgpartiklar och fallet är därmed ur ett handhavandeperspektiv ett värsta fall. Täckning av marken under båten anses alltid nödvändig vid skrapning och gjordes med byggplast som stack ut 0,4 meter utanför båten tvärs vinden och 4,5 meter i vindriktningen. Mängden färgpartiklar som deponerades på marktäckningen bestämdes inte utan spridningen utanför marktäckningen anses som spridning till omgivande miljö. Skrapan användes ensam eller i kombination med kopplad dammsugare för att då minimera spridning av mindre partiklar (Figur 4). Ca en kvadratmeter färg skrapades per experiment. Vind är en avgörande faktor för partikelspridning och försöket utfördes med 3,5 m/s vind vid personen som sanerar, vilket motsvarar 5,8 m/s 10 meter över marken och är den hastighet som man använder när meteorologer talar om vindhastighet över öppen mark. Saneringen utfördes av två fritidsbåtsägare och båten var en Ryds 23 med många färgskikt samt en grundfärg. Experimentet utfördes två gånger.

Utrustning som användes var en hårdmetallskrapa (Pro Scraper) kopplad till en hobbydammsugare (Kärcher WD4 Premium) samt endast med skrapa utan dammsugare.

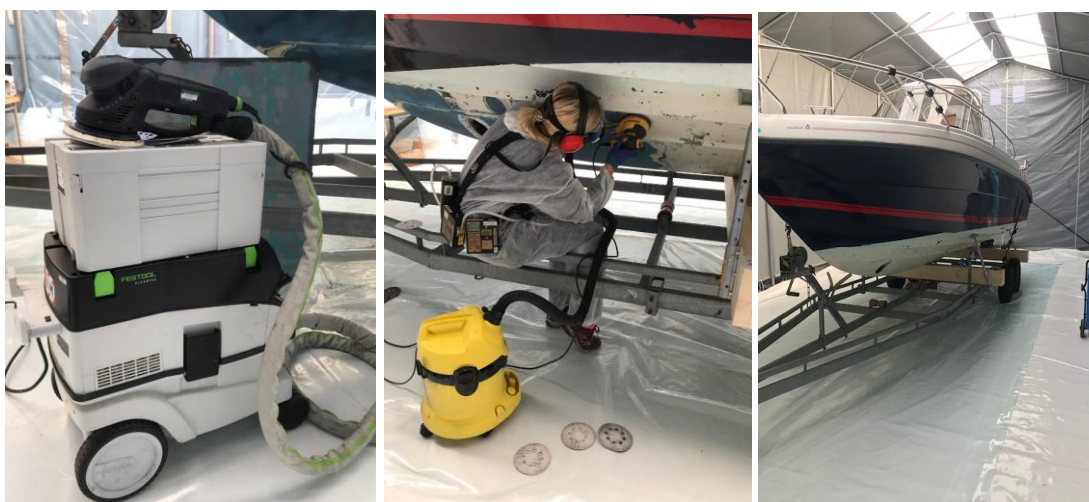


Figur 4. Skrapa (Pro Scraper) samt dammsugare (Kärcher WD4 Premium)

7.2 Slipning

Slipning av en motor- eller segelbåt som ligger upplagd på kärra eller på stöttor/vagga. Experimentet utfördes på en motorbåt upplagd på kärra, detta är ett svårare saneringsfall än motsvarande uppställning av segelbåt på bockar eller i vagga. Detta scenario anses kunna ge mer spridning av färgpartiklar och fallet är därmed ur ett handhavandeperspektiv ett värsta fall. Täckning av marken under båten anses alltid nödvändig och gjordes med byggplast som stack ut 4,5 meter utanför båten i vindriktningen och 0,4 m tvärs vinden. Mängden färgpartiklar som deponerades på marktäckningen bestämdes inte utan spridningen utanför marktäckningen anses som spridning till omgivande miljö. Slipning utfördes med proffsutrustning (Festool Rotex 150 mm Granat med kopplad Festool dammsugare (CTL Midi I) samt med hobbyutrustning (Dewalt DWE 6423 med kopplad Kärcher WD4 Premium alternativt en

Kärcher WD2), Figur 5. Slippapper i intervallet 40-120 användes beroende på hur snabb avverkning av färgen som önskades gick. Flera sandpappersgrovlekar med tyngdpunkt på de grövre användes, för att simulera ett verkligt fall. Ca en kvadratmeter färg skrapades per experiment. Vind är en avgörande faktor för partikelspridning och försöket utfördes med 3,5 m/s vind vid personen som sanerar, viket motsvarar 5,8 m/s 10 meter över marken och är den hastighet som man använder när meteorologer talar om vindhastighet över öppen mark. Utförandet gjordes av två fritidsbåtsägare och båten var en Ryds 23 med många färgskikt samt en grundfärg. Experimentet utfördes två gånger.



Figur 5. Slipning. Proffsutrustning (till vänster) slippningsutförande (i mitten med hobbyutrustning) samt båt, täckning och experimenthall (till höger).

7.3 Gelbehandling med skrapning

Ett vanligt sätt att ta bort bottenfärg är att lösa upp den och sedan skrapa bort den som en viskös massa. Detta kan göras på motor- eller segelbåtar som ligger upplagda på kärra eller på stöttor/vagga. Detta är också vanligt att utföra på mindre upp-och-ner vända ekor. Experimentet utfördes på en motorbåt upplagd på kärra. Detta scenario anses kunna ge mer spridning av färg på grund av att det är trångt och fallet är därmed ur ett handhavandeperspektiv ett värsta fall. Täckning av marken under båten anses alltid nödvändig och gjordes med byggplast (polyeten) som stack ut 0,4 meter utanför båten. Mängden färg som deponerades på marktäckningen bestämdes inte utan spridningen utanför marktäckningen anses som spridning till omgivande miljö. Två färgborttagningsgeler användes (Le Fant Paint Remover och Yacht Strip) vilka applicerades och täcktes med plast för att förhindra uttorkning. Gelen fick verka under minst 12 timmar vid rådande temperatur, 5 °C. Gelen skrapades sedan av med trekansskrapa eller spackelspade (Figur 6). Vind anses ha liten påverkan på spridningen av den upplösta färgen som huvudsakligen avlägsnas som stora kletiga klumpar.

Försöket utfördes utan vind och ca två kvadratmeter bottenfärg sanerades per försök. Experimentet utfördes två gånger av fritidsbåtsägare.



Figur 6. Gelbehandling pågår (till vänster), avskrapning av gel och underliggande färglager (till höger).

7.4 Gelbehandling och högtryckstvätt

För att effektivisera saneringen med färgborttagningsmedel och skrapa utvärderades en teknik där båten ligger upplagd på kärra och därmed kan flyttas. En behandlad båt kan då köras in i ett spolbås, med väggar men utan tak, och den upplösta färgen kan tas bort med högtryckstvätt. Spol-båset ställs på en spolplatta för att omhänderta spolvattnet. Experimenthallen, som tidigare beskrivits, delades för detta experiment av i två sektioner med en upphängd presenning 2,40 m över marken, för att simulera en av spolbåsets väggar. Vind genererades med fläktar och blåste längs båten mot, och över spolbåsets vägg. Spridningen förväntas huvudsakligen ske uppåt och vidare med vinden. Spridning nedåt till spolplatta där huvuddelen av färgen flödar uppmättes inte. Spridning av bottenfärg över den uppspända väggen anses som spridning till yttre miljö i detta försök. Vindhastigheten som uppnåddes över väggen var ca 2 m/s vilket motsvarar 3,3 m/s 10 meter över marken och är den hastighet som man använder när meteorologer talar om vindhastighet över öppen mark. Två färgborttagningsgeler användes (Le Fant Paint Remover och Yacht Strip) vilka applicerades och täcktes med plast för att förhindra uttorkning. Gelen fick verka under minst 12 timmar vid rådande temperatur, 5 °C. Gelen tvättades sedan bort med en kraftig högtryckstvätt för yrkesbruk (Alcon 74200-K3). Vid utförandet undveks att rikta högtrycksstrålen uppåt, över spolbåset. Ca fyra kvadratmeter bottenfärg sanerades per experiment. Utförandet

gjordes av en frididsbåtsägare. Båten var en Ryds Utö med många tjocka lager färg. Experimentet utfördes två gånger.



Figur 7. Fläktupställning för att generera vind (överst vänster), vattendammsugare för provtagning av övertransporterad bottenfärg och spolvatten (överst höger) samt fören på experimentbåten Ryds Utö efter avtvättning av en gelbehandling.

7.5 Fristråleblästring med sand- bra täckning

Blästring är en grupp metoder som effektivt avlägsnar färg från båtskrov. Metodiken används övervägande av yrkesfolk då det krävs yrkesskicklighet och bra handhavande för att avlägsna färgen effektivt utan att skada underliggande material. Metodiken har också varit omdebatterad när det gäller spridning av damm till miljön. Den metodik som utvärderas i dessa experiment har utarbetats i samarbete med representanter från blästerbranschen med fokus på låg färgspridning. Blästring kan utföras på segelbåt eller motorbåt som ligger upplagd på stöttor med presenning underst på marken.

Scenariot i detta experiment är det bästa möjliga, där förberedelser med marktäckning har gjorts innan båten tagits upp på land. Anslutning till övrig täckning kan därför göras bra för att bilda en i stort sett tät inneslutning. Täckning längs skrovsidorna görs genom att tejpa byggplast eller liknande längs skrovet och samtidigt tejpansluta denna mot markpresenningen. Sammantaget bildades då en inneslutning runt båten i viken blästerarbetet utfördes. Anslutningar av tejp-dragkedja i plasten gjordes för passage och indragning av slang, el etc. Jämför metodik för asbestsanering. I inneslutningen sattes sedan undertryck med en väl dimensionerad, klassad industridammsugare, detta är en nyckelfaktor som skall bibehållas under blästring och städning. Indikation på undertryck gjordes med en differentialtrycksmätare men i praktiken kan även ett undertryck indikeras då intäckningsplasten buktar inåt. Experimenten utfördes med en sandbläster (IBIX med 120 garnet sand) och en dammsugare (Dustcontrol DC 2900 samt en Pullman A1000) av en yrkesman. Då metodiken genererade mycket sand och färgdamm (ca 25 kg/m²) behöver detta avfall omhändertas på lämpligt sätt. Städning av inneslutningen gjordes genom dammsugning av sanden med den klassade industridammsugaren vilken även har system för att via en lång plastsäck innesluta avfallet. Några kvadratmeter färg sanerades per försök. Båten var en Hallberg-Rassy 352 med fyra skikt färg inkluderande ett lager blymönja. Experimentet utfördes två gånger.



Figur 8. Vy inifrån inneslutningen av en HR352 (överst till vänster), vy utifrån undertrycksatt inneslutning (överst mitten), Industridammsugare/dammfälla som används för undertryck och dammsugning (överst till höger), färgsystem som blåstras från HR 352 (nederst till vänster) samt differentialtrycksmätning under pågående blåstring (nederst till höger).

7.6 Fristråleblästring med sand- sämre täckning

Scenariot är att en segelbåt eller motorbåt ligger upplagd med hjälp av stöttor och marktäcks i samband med blästringen, som oftast sker flera månader efter upptagningen. Detta skiljer sig från ovanstående metodik och gör det svårare att få det tätt runt stöttorna mot marken. Övrigt bygge av inneslutning skedde enligt ovan beskrivning av ”bra täckning”. Båten var en Hallberg-Rassy 352 med fyra skikt färg inkluderande ett lager blymönja. Arbetet utfördes av en yrkesman. Experimentet utfördes två gånger.

Försöket kompletterades även med ett experiment för att uppskatta påverkan på undertrycket genom att skapa olika långa glipor i tejpningen längs golvet och därmed se hur känslig metoden är för fel i tejpning.



Figur 9. Marktäckning som utförts efter det att båten lagts upp på stöttor.

7.7 Fristråleblästring med kolsyra

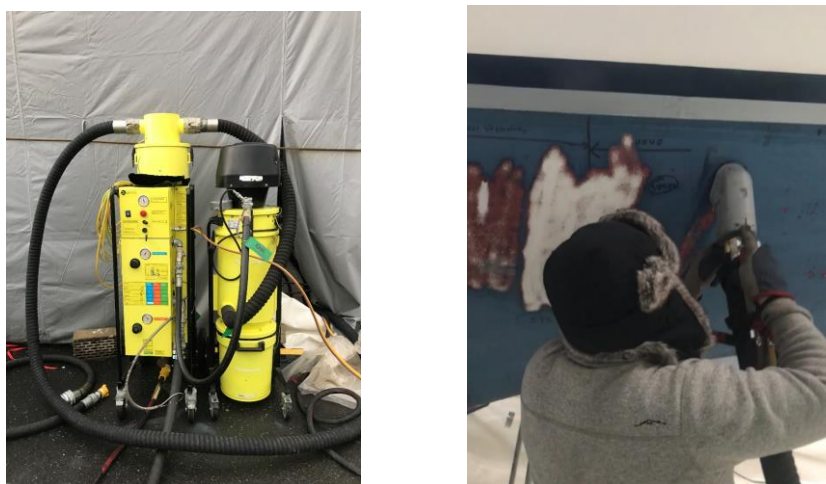
Metodiken för inneslutning av båten överensstämmer helt med utförandet ovan i avsnittet som beskriver fristråleblästring med sand- bra täckning. Utrustningen som användes var en White Lion WL 1500 Competition samt en Pullman-Ermator 526 utsug, arbetet utfördes av en yrkesman. Båten var en Ryds 23 med många färgskikt samt en grundfärg. En till två kvadratmeter färg sanerades per experiment. Experimentet utfördes två gånger.



Figur 10. Fristråleblästring med kolsyra. Tejpning (överst till vänster), dragkedja för passage och ledningsdragning (överst mitten och höger), slarvig tejpanslutning stötta (nederst till vänster), utsug/dammsugare (nederst mitten) samt blästerresultat (nederst till höger).

7.8 Vacuumblästring -Sand

Denna blästerteknik har fördelen att ingen marktäckning eller inneslutning kring båten behöver göras. Utrustningen har en integrerad sug inne i blästermunstycket vilket motverkar spridning av sand och bottenfärg. Metodiken kan utföras på alla typer av båtar under förutsättning att en godtagbar arbetsställning kan uppnås. I experimenten användes tekniken direkt på skrovet utan förberedelser. Experimenten utfördes av yrkesfolk med hjälp av en Pinovo-bläster med sandåtervinning. Experimentet utfördes två gånger.



Figur 11. Vacuumblästring. Utrustning för tryckluft samt sandåtervinning (vänster) samt blästring med ett vacuummunstycke (höger).

7.9 Laserablation

Denna teknik har fördelen att ingen marktäckning eller inneslutning kring båten behöver göras. Utrustningen har en integrerad sug inne i munstycket vilket motverkar spridning av bottenfärg. Utrustningen lossar bottenfärgen med hjälp av en laserstråle och det lossade materialet sugas upp av ett närliggande munstycke. Experiment utfördes på provpaneler utsågade från skrotade plastbåtar i olika kulör (blå, röd, svart och vit) som skickades till tillverkaren av laserablations utrustning för en studie av teknikens förmåga och begränsningar.

8 Resultat och erfarenheter

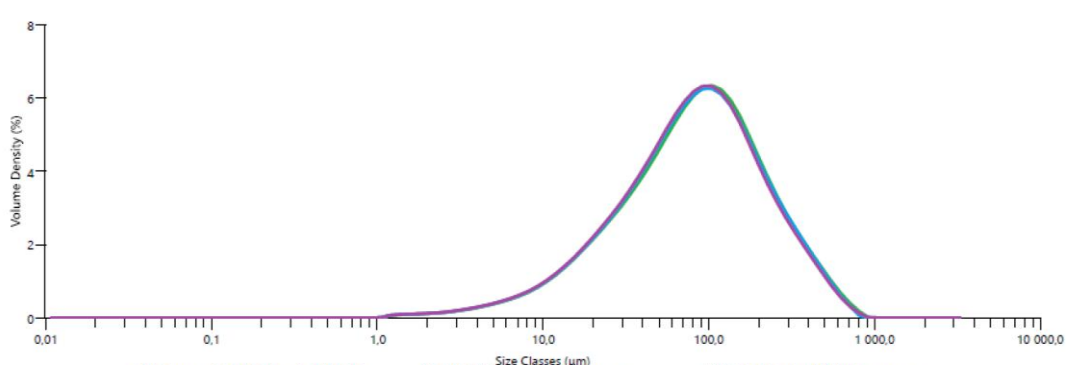
8.1 Skrapning

Skrapning med hårdmetallskarapa var en fullt genomförbar metod med god avverkning. Partikelstorleken på avskrapet varierar från centimeterstora flagor och nedåt. Storleksfördelningen beror huvudsakligen på de olika färglagrens mekaniska egenskaper och varierar stort mellan olika båtar. Skillnader i färgtyper på Ryds 23 kontra HR 352 var stor och storleken på färgflagor från skrapning på Ryds 23 var i millimeterområdet medans storleksfördelningen från HR 352 varierade beroende på om det var de yttre nyare koppar/zink färgerna eller om det var blymönjan och tennfärgen som skrapades. Koppar/zink färgen gav storlekar kring 0,1 mm medans blymönjan gav avlånga krulliga flagor ca 0,1 mm x 5 mm. Som exempel kan bestämning av storleksfördelningen från de blå koppar/zink färglagren och kan ses i Figur 12. Medelstorleken var för den färgen ca 100 µm (0,1 mm) med fördelning mellan 20 -220 µm (10% respektive 90 % percentil) och kan ses som ett stickprov på en färg som ger relativt små partiklar. Storleksfördelningen från Ryds 23 som gav större partiklar representeras av ett medelvärde på ca 500 µm.

Då material som deponeras rakt ned på marktäckningen inte räknas som spridning till miljön (då denna kan omhändertags) beror spridningen huvudsakligen på vindhastigheten under arbetet. En hård vind under sanering med skrapa utan kopplad dammsugare kan resultera i en nästan 100%-ig spridning av bottenfärgen, och tvärt om kan lugna vindförhållanden ge låg spridning. Experimenten i denna studie utfördes vid motsvarande 5,8 m/s och resultaten är att ca 0,2 % av bottenfärgen spreds längre än 4,5 meter då skrapa utan dammsugare användes. Kopplades en dammsugare till skrapan så minskade spridningen till ca 0,1 %. Partiklarna i detta experiment var stora och mer än 90 % deponerades rakt ner (0-+ 0,5 m); ca 5 % spreds 1,5 meter (1+-0,5 m), ca 1 % spreds 2,5 meter (2+-0,5 m) och spridd andel bortanför 4,5 meter var under en procent. Spridningen till marktäckningen i detta fall var hög och beror på att färgen bildar stora flagor.

Skrapa utan dammsugare	Spridd andel till utsida (%)
Delförsök 1	0,1
Delförsök 2	0,3

Skrapa med dammsugare	Spridd andel till utsida (%)
Delförsök 1	0,1
Delförsök 2	0,1



Figur 12. Partikelstorleksfördelning från skrapning av segelbåt HR 352 med en nyare koppar/zink färg. Medelvärde ca 100 µm och variation mellan ca 5 µm och 900 µm.

8.2 Slipning

Slipning med excenterslip och dammsugare utfördes dels med hobbyutrustning dels med proffsutrustning. Spridningen minimeras genom att en kopplad dammsugare skapade ett luftflöde som transporterar avverkade partiklar till dammsugarpåsen. Generellt blir denna direkta uppsugning per kvadratmeter bättre ju finare sandpapper som används med nackdelen att avverkningen blir sämre (muntlig information från tillverkare). Planator som på en segelbåt är ideala medans steg, kanter, genomföringar mm ger svårare utförande med ökad spridning som följd. Material som inte sugas upp kan deponeras på marktäckning om partiklarna är tillräckligt stora, alternativt blåsa iväg. Experimenten med slipning utfördes vid 5,8 m/s och spridningen till omgivningen utför marktäckningen bestämdes till ca 0,1% vid användning av hobbytutrustning med kopplad dammsugare med dammsugarpåse och HEPA-filter.

När en enkel grovdammsugare med en fast behållare för damm samt veckfilter på utgående luft (Kärcher WD2) var kopplad till sliputrustningen resulterade detta fort i ett igensatt filter och läckage med spridning av färg som följd. Denna typ av dammsugare verkar inte lämplig för ändamålet. Istället gav en mer avancerad dammsugare med dammsugarpåse och HEPA-filter (typ Kärcher WD4 Premium, fler fabrikat finns) ett fungerande arbete utan läckage. Dammsugarpåsen underlättar även omhändertagandet av slipdamm som farligt avfall. Mätningar av material som fångas av dammsugarpåsarna (non-woven) samt av efterföljande HEPA-filter under provtagning från slipexperiment visar att ca 1/1000 del fastnar i HEPA-filtret resten stannar i dammsugarpåsen. Således är erfarenheten från detta att en hobbydammsugare med non-woven påse löser stor del av uppsamlingen.

För partiklar som inte direkt infångas av sugsystemet (dammsugaren) är partikelstorleken avgörande för hur lätt slipdamm sprider sig. Bestämning av storleksfördelning som genereras vid slipning med både 40 och 120 papper utfördes. Medelstorleken bestämdes till 150 respektive 40 µm. Enligt beräkningarna i nedan avsnitt "Spridning med vind" ges att 40 µm partiklar inte deponeras på marktäckningen

i några verkligt förekommande vindhastigheter. Partiklar med 150 µm storlek kan deponeras på marktäckning om vindhastigheten är låg, mindre än 5,8 m/s och fallhöjden en meter. I andra fall med en högre fallhöjd (dvs att slipningen sker tex 2 meter över marken som på en segelbåt med 1,5 meter köl) kommer dessa partiklar deponeras utanför marktäckningen och bli spridning till yttre miljö.

'Slipning med hobbyutrustning	Spridd andel till utsida (%)
Delförsök 1	0,1
Delförsök 2	0,1

8.3 Fristråleblästring

Fristråleblästring med två blästermedia har utförts, kolsyra (fast CO₂) och sand. Dessa rapporteras tillsammans då grundprinciperna för att minimera spridning av material, en evakuerad inneslutning, har varit desamma. Spridningen till utsidan av inneslutningen betraktas som likvärdig rent experimentellt i både experiment med ”bra täckning” och ”sämre täckning”. I båda fallen var det undertryck vid blästringen. Spridningsdata ger god repeterbarhet mellan delförsöken och visar att ca 0,01% spreds vid sandblästring med bra täckning och ca 0,2 % vid sandblästring med sämre täckning. Den högre spridningen från sämre täckning återspeglas även i direktvisande partikelmätningar med Dust Trak (sand och fär partiklar) vilket visar att täckningen läckt. Motsvarande spridning vid kolsyreblästringen var 0,03%. Denna spridning är sannolikt i överkant då ett konstant undertryck inte kunde hållas under utförandet pga av den stora mängd luft som kolsyreblästring kräver. Sammantaget kan spridning till utsidan under blästringen beräknas till ca 0,1% (medelvärden av bra och sämre täckning). Efter avslutad blästring sögs blästersanden upp med hjälp den evakuerande dammsugaren och efter detta moment kvarstår en rest. I denna rest bestämdes mängden bottenfärg och rapporteras som ”Spridd andel från städning”. Denna mängd är högre än för spridningen under själva blästerutförandet. Medelvärdet från sandblästringen är 0,9% och motsvarande 0,1% för kolsyreblästring.

Tryckmätningar under blästringsarbeten med differentialtrycksmätare gav att en inåtbuktade inneslutning motsvarar en tryckskillnad från ca 2 Pa (pascal). Undertryck i inneslutningen under tiden en dammfälla med nominell kapacitet på 1000 m³/h och pågående blästring motsvarande ca 140 m³/h gav 10 Pa undertryck, vid experimentets förhållanden. En öppning på 50 cm i inneslutningens dragkedja gav ett läckage och ett slutligt undertryck på 7 Pa. Således finns viss tolerans mot öppningar eller felaktig tejning/försegling i inneslutningen, toleransens storlek beror av dimensionering på blästerutrustning och utsugningskapacitet.

Resultaten från dessa friblästringsförsök är sannolikt överförbara även till andra fasta blästermedia, såsom plast, nötskal etc.

Sandblästring bra täckning	Spridd andel till utsida (%)	Spridd andel från städning (%)
Delförsök 1	0,01	0,2
Delförsök 2	0,01	0,4

Sandblästring sämre täckning	Spridd andel till utsida (%)	Spridd andel från städning (%)
Delförsök 1	0,06	2
Delförsök 2	0,3	0,8

Kolsyreblästring	Spridd andel till utsida (%)	Spridd andel från städning (%)
Delförsök 1	0,03	0,1

8.4 Vacuumblästring

Spridningen till omgivningen bestämdes till 0,1% av andelen på den avverkade delen på skrovet. Delförsök 1 är utfört på en segelbåt och på en målad glasfiberpanel medans Delförsök 2 endast utfördes på 2 st målade glasfiberpaneler. Grovleken på blästersanden var vald för att utrustningen skulle kunna återvinna/återföra sanden och avskilja bottenfärgen. Denna grovlek gav en för grov ytfinitet på skrovet vilket föranledde överflyttningen till sanering av målade glasfiberpaneler.

Tekniken var vid utförandet enkel att arbeta med och krävde inga förberedelser såsom marktäckning eller inneslutning. Tekniken lämnar heller inget blästermedia eller färg som behöver städas upp från marken.

Vacuumblästring	Spridd andel till utsida (%)
Delförsök 1	0,1
Delförsök 2	0,06

8.5 Gel och skrapa

Spridningen från denna metod kommer främst från spill av avskrapad gel till mark, kärra, verktyg och från avtvättning av skrovet efter avslutad gelbehandling. En upp-och-ned vänd båt (ofta mindre eka) får sannolikt en mindre spridning då spill till kärra utesluts. Efter avslutad sanering behöver botten tvättas innan applicering av ny färg kan ske, spridning med detta tvättvatten bestämdes och uppgår i medeltal till 0,05 %.

Gelbehandling med skrapa	Spridd andel till kärra (%)	Spridd andel till tvättvatten (%)	Spridd mängd färg till verktyg (g)
Delförsök 1	0,1	0,01	0,3
Delförsök 2	-	0,09	0,7

Färgborttagningen behöver göras upprepade gånger. Tre geler applicerades och resultatet var trots detta ej helt tillfredställande. Upprepad applicering är också den rekommendation man får från tillverkare av gel. Båten behöver under dessa upprepade behandlingstider vara skyddad från regn då gelen annars riskerar att spolav och ge upphov till spridning av biociderna till miljön. Mycket torkpapper, handskar etc. går åt för att utföra det mycket kladdiga arbetet.

8.6 Gel och högtryckstvätt

Spridningen utanför det simulerade spolbåset bestäms till mindre än 0,1%. Vinden som genererades var 2 m/s, önskvärt vore att simulera en högre vindhastighet, detta var dock inte möjligt trots ett stort antal fläktar med en total kapacitet 56 000 m³/h. En annan experimentuppställning, behövs sannolikt för att simulera spridning vid mer realistiska vindhastigheter. Det noterades att hastigheten på högtrycksstrålen var mycket större än den genererade vinden, vilket ger att strålens riktning kan vara avgörande för partikeltransport.

Spolvattenmängden som behövdes för att tvätta tre behandlingar av Ryds Utö beräknas till ca 1000 liter vilket samlades upp av spolplattan. Kopplad reningsanläggning behöver kunna hantera detta spolavfall. I viken utsträckning detta är möjligt av de två tekniker som dominerar den svenska marknaden har ej utvärderats. Det kan dock sägas att geler som påverkar pH (tex kaustiksoda/tapetklister) sannolikt har stor påverkan på trekammersystem med fällningskemikalier.

9 Spridning med vind

Man kan förenklat säga att färgborttagningsmetoderna inte sprider damm, de genererar det och sedan sprids dammet med vinden. För att fördjupa förståelsen av vindpåverkan har transportberäkningar på färgflagor utförts. Dessa beräkningar är baserade på Stokes ekvation och antar att saneringsmetoderna genererar ideala sfäriska färgpartiklar en meter över marken och dessa sedan faller lodrätt ned samtidigt som de påverkas av en horisontell vind. Olika storlekar deponeringsavstånd från källan har på så sätt beräknats, stora med kort avstånd och små med längre. Partiklarna i det minde intervallet, upp till ca 100 µm kan sägas ha denna ideala form medans större partiklar blir platta flagor och beräkningarna underskattar då spridningsavståndet. Densiteten på partiklarna är hög då de innehåller koppar och zink och uppmättes på färgtyperna på Ryds 23 till 1,9 kg/dm³. Partikelstorlekar mellan 1 mm och 1 µm och vindstyrkor (uttryckt som metrologiska observationer) mellan 2,8- 10 m/s har modellerats. Resultaten kan ses i Tabell 1. Primärt resultat är en uppskattning om hur mycket marktäckning man behöver

för att samla in ett färgdamm vid olika vindstyrkor. Beräkningarna ger att partiklar med storleken 250 µm deponeras mellan 1,2-4,1 meter bort från källan då vinden varierar från 2,8-10 m/s. För 100 µm partiklar är spridningen mellan 4,4-15 meter för motsvarande vindomfång. Detta indikerar att partiklar runt 100 µm och mindre kommer kräva orealistiskt stor marktäckning och spridningen till miljön i praktiken vara mkt stor under påverkan av vind.

Partikelstorleksfördelning är uppmätt från excenterslipning med ”40-papper” och ”120-papper” från skrovpanel från skrotad äldre båt samt från skrapning av HR 352 och Ryds 23 (se ovan ”Skrapning”). Resultaten visar att medelvärdet från skrapning av nyare koppar/zink färg ger ett fint damm som är ca 100 µm och från färg som håller ihop betydligt bättre ca 500 µm. Slipning med 40-papper ger medelstorlek på ca 150 µm och 120-papper 40 µm. Enligt beräkningarna är det endast 500 µm partiklarna som kommer kunna samlas in med en marktäckning, övriga partiklar riskerar att spridas till miljön och åtgärder som minskar vindhastigheten (intäckning) eller ändrar vindriktningen (dammsugare) krävs. Vindmodelleringen visar att risken är stor för spridning av partiklar från flera saneringsmetoder. Vindpåverkan är sannolikt den parameter som påverkar spridningen mest och som kan göra att uppmätta värden vid dessa experiment underskattas jämfört med sanering i mer vind.

Tabell 1. Partiklars ungefärliga deponeringsavstånd från källan (1 m över marken) vid olika vindhastigheter.

Vind 10 m över havet (m/s, SMHI)	2,8	5,8	8	10
Motsvarar vind vid sanering, 1 m över marken (m/s)	2	3,5	4,8	6
Diameter (µm)	Deponeras (m)	Deponeras (m)	Deponeras (m)	Deponeras (m)
1000	0,3	0,6	0,8	1,2
500	0,6	1	1,4	1,9
250	1,2	2,1	2,9	4,1
150	2,3	4,0	5,8	8,1
100	4,4	7,8	11	15
50	15	25	40	50
25	60	100	150	200
10	330	600	900	1000
5	1400	2500	3500	5000
2,5	6000	10000	15000	20000
1	35000	60000	90000	100000

10 Mätning av luftburna partiklar och ämnen

10.1 Hygieniska gränsvärden

Uppmätta dammhalter jämfördes mot Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden (AFS 2018:1) se Tabell 2. Gränsvärden är satta i olika storleksfraktioner; inhalerbart (inandas via näsa och mun), respirabelt (när de yttersta luftvägarna) och totaldamm (allt som fastnar på filter i en öppen kassett). Vid dessa mätningar har provtagning skett för inhalerbart och respirabelt damm då inhalerbart även täcker in totaldamm (namnet till trots). Inhalerbart damm avviker enligt Arbetsmiljöverket så pass mycket från det äldre begreppet totaldamm att gränsvärden inte är direkt jämförbara, utan inhalerbar fraktion kan vara två till tre gånger större. Visar ett prov taget med inhalerbar metod på halter under gränser satta för fraktionen ”total damm” kan det dock anses som godkänt.

Tabell 2. Hygieniska gränsvärden för olika dammfraktioner och ämnen.

Ämne	Inhalerbart damm NGV (mg/m ³)	Respirabelt damm NGV (mg/m ³)	Total damm NGV (mg/m ³)
Organiskt damm	5		
Oorganiskt damm	5	2,5	
Koppar		0,01	
Zinkklorid		1	
Zinkoxid			5
Tenn (organiskt)			0,1
Tenn (oorganiskt)	2		

De uppmätta halterna för inhalerbart och respirabelt damm redovisas i Tabell 3. Högst halter återfanns i personburen mätning från sandblästring följt av kolsyreblästring. Samtliga personburna mätningar från dessa två tekniker, totalt 4 stycken, samt en personburen mätning vid sanering med slipning med hobbyutrustning har halter över gränsvärdet för organiskt eller oorganiskt damm som är 5 mg/m³. Vid slipning med proffsutrustning återfinns värden under det hygieniska gränsvärdet för organiskt eller oorganiskt damm.

Andelen biocidfärg i dammet vid sandblästring har bestämts för mindre partiklar (PM_{2,5}) till 10% detta ger att motsvarande halt koppar (för en modell färg med 25% CuO, 10% ZnO och 10% TBT) är över gränsvärdet och zink under gränsvärdet. För TBT är halterna sannolikt kring eller över gränsvärdet, använd provtagningsmetod för inhalerbart damm avviker från den metod som gränsvärdet gäller.

Tabell 3. Gravimetriska mätningar av inhalerbart och respirabelt damm provtaget personburet (innanför intäckning om sådan finns) och stationärt (utanför intäckning) för att fånga upp exponering i arbetsmiljö samt spridning till yttre miljö. Hygieniska gränsvärdet för inhalerbart organiskt och oorganiskt damm är 5 mg/m³.

Saneringsmetod	Inhalerbart	Inhalerbart	Respirabelt	Respirabelt
	(mg/m ³) Personburet	(mg/m ³) Stationärt	(mg/m ³) Personburet	(mg/m ³) Stationärt
Slipa proffs 1	3,3	0,8	<LOQ	<LOQ
Slipa proffs 1	1,2	0,65	<LOQ	<LOQ
Slipa Hobby 1	4,2	1,6	<LOQ	<LOQ
Slipa Hobby 2	7,9	1,7	<LOQ	<LOQ
Kolsyreblästring 1	29	<LOQ	0,8	1,1
Kolsyreblästring 2	47	2,5	saknas	saknas
Sandblästring bra täckning 1	81	0,34	10	<LOQ
Sandblästring bra täckning 2	-	<LOQ		<LOQ
Sandblästring sämre täckning 1	100	2,4	>3,2	<LOQ
Sandblästring sämre täckning 2		4,9		<LOQ
Vacuumblästring	saknas	saknas	<LOQ	<LOQ

Tabell 4. Gravimetriska mätningar av prov tagna med impaktor och högflödespump. För att underlätta visualiseringen är endast det impaktorsteg med 2,5 µm redovisat.

Saneringsmetod	Personburet (mg/m ³)	Stationärt (mg/m ³)
Slipning proffs 1	saknas	saknas
Slipning proffs 2	<LOQ	<LOQ
Slipning hobby 1	0,26	<LOQ
Slipning hobby 2	<LOQ	0,31
Kolsyreblästring 1	>1,5	<LOQ
Kolsyreblästring 1	>1,3	<LOQ
Sandblästring bra täckning 1	>21	<LOQ
Sandblästring bra täckning 2		<LOQ
Sandblästring sämre täckning 1	>18	0,65
Sandblästring sämre täckning 2		>1,5
Vacuumblästring	saknas	saknas

10.2 Partikelfraktionering i luft

För att få tidsupplöst data av de små/fina partikelfraktionerna PM₁, PM_{2.5}, PM₄ och PM₁₀ användes en DustTrak™ DRX Aerosol Monitor 8533 som mätte kontinuerligt utanför saneringen men innanför experimenttältet. Dessa partikelfraktioner fokuserar på hälsa och ger inget totalmått för spridning av alla storlekar. Mätmetoden ger inget totalmått för alla partikelstorlekar.

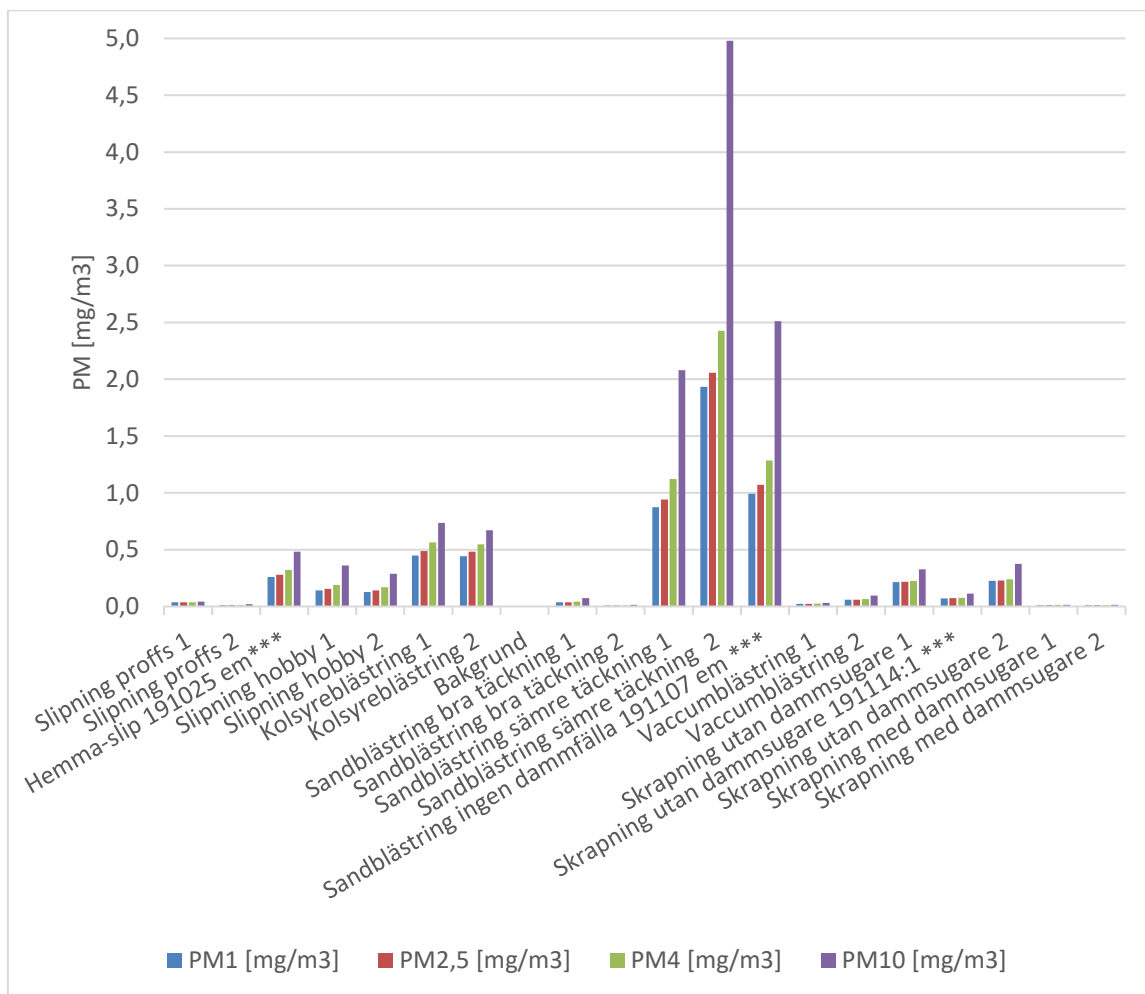
I Tabell 5 och Figur 13a och 13b sammanfattas medelvärdet av dammhalten under 30 minuter från start av varje experiment. Dammet från sandblästringen domineras av sand, en bestämning av kopparmängden i PM_{2,5} fraktionen från sandblästring med sämre täckning ger att dammet innehåller ca 10% bottenfärg, sandblästerdata kan därmed korrigeras för detta för att få biocidfärgsinnehållet. Det finns en stor dynamik i mängden spridda partiklar vilket ger att metoderna skiljer sig åt och att det går att påverka spridningen av dammet. Flera slutsatser kan dras från dessa försök:

- 1) Skrapning med kopplad dammsugare ger lägre spridning av små partiklar jämfört med skrapning utan dammsugare.
- 2) Slipning med proffsutrustning ger lägre spridning än slipning med hobbyutrustning.

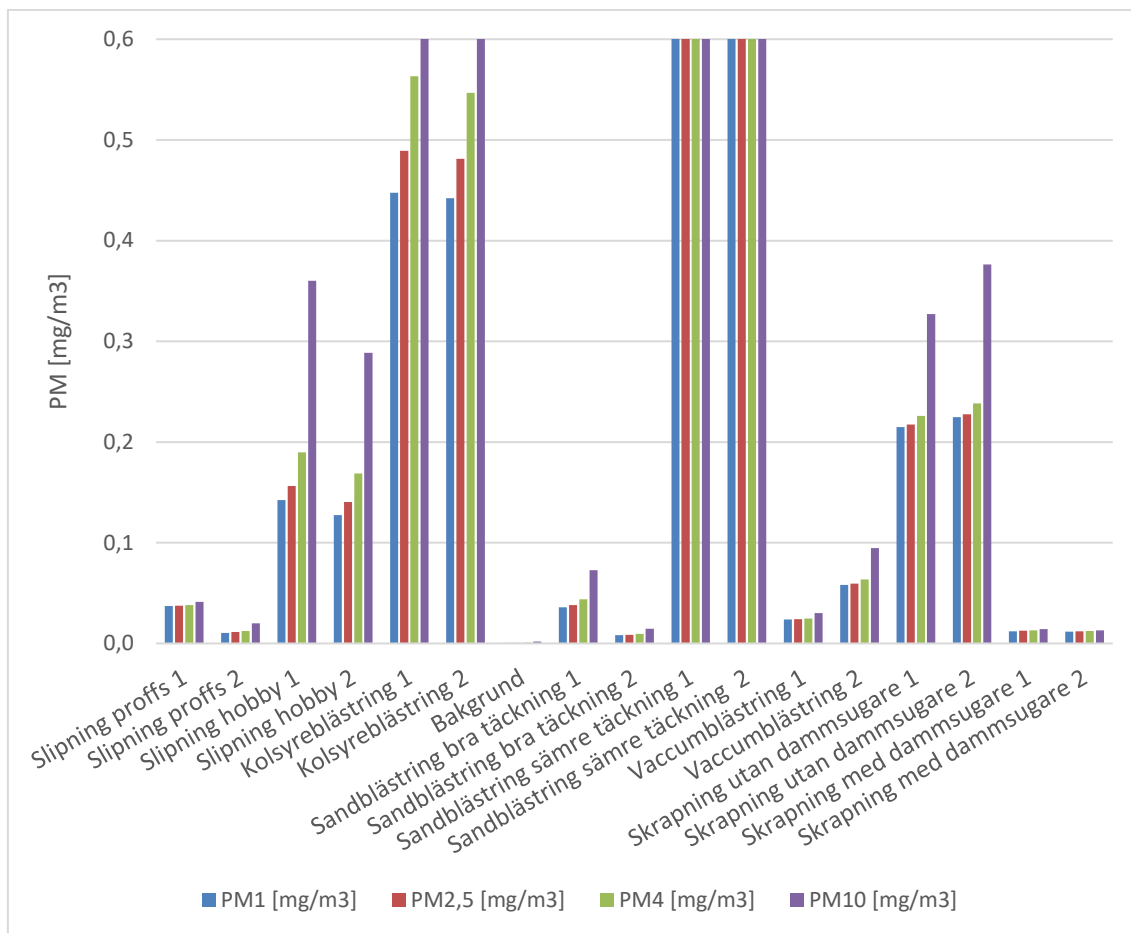
- 3) Väl utförd blästring med undertryck kan ge låg spridning, i nivå med slip och skrapmetoder. Sämre utförd blästring, med dålig tryckbalans eller läckage kan ge betydligt högre spridning.

Tabell 5. PM1, PM2.5, PM4 och PM10 från DustTrak™ medelvärde under 30 minuter från start av varje experiment.

Saneringsmetod	PM1 [mg/m3]	PM2,5 [mg/m3]	PM4 [mg/m3]	PM10 [mg/m3]
Slipning proffs 1	0,037	0,038	0,038	0,041
Slipning proffs 2	0,010	0,011	0,012	0,02
Slipning hobby 1	0,14	0,16	0,19	0,36
Slipning hobby 2	0,13	0,14	0,17	0,29
Kolsyreblästring 1	0,45	0,49	0,56	0,74
Kolsyreblästring 2	0,44	0,48	0,55	0,67
Bakgrund	0,001	0,001	0,001	0,002
Sandblästring bra täckning 1	0,036	0,038	0,044	0,073
Sandblästring bra täckning 2	0,008	0,009	0,009	0,014
Sandblästring sämre täckning 1	0,87	0,94	1,1	2,1
Sandblästring sämre täckning 2	1,9	2,1	2,4	5,0
Vacuumblästring 1	0,024	0,024	0,025	0,030
Vacuumblästring 2	0,058	0,059	0,064	0,095
Skrapning utan dammsugare 1	0,215	0,217	0,226	0,33
Skrapning utan dammsugare 2	0,23	0,23	0,24	0,38
Skrapning med dammsugare 1	0,012	0,013	0,013	0,014
Skrapning med dammsugare2	0,012	0,012	0,012	0,013



Figur 13a. PM1, PM2.5, PM4 och PM10 från DustTrak™ medelvärde under 30 minuter från start av varje experiment, se Tabell 5. Y-axeln koncentrationen på max 5 mg/m3.



Figur 13b. PM1, PM2.5, PM4 och PM10 från DustTrak™ medelvärde under 30 minuter från start av varje experiment, se Tabell 5. Y-axeln koncentrationen på max 0,6 mg/m³.

11 Scenarioberäkningar

För att få en uppfattning mängden biocider som sprids till yttre miljö vid sanering enligt metoderna och scenariona ovan beräknas spridning från några typiska båtar. Beräkningarna har utförts med två spridningsandelar, hög och låg, enligt experimentdata ovan. Spridningens påverkan på miljön har ej bedömts.

Som låg valdes 0,1% (tex Slipa med dammsugare) och som hög valdes 1,8 % (medelvärde totalspridning sandblästring sämre täckning). Beräkningar av skrovarea har gjorts med Le Fants ekvationer (LeFant.se) där Motorbåt: $LVL \times (B + D) = \text{Area}$; Långkölad båt: $0,75 \times LVL \times (B + D) = \text{Area}$ och Fenkölad båt: $0,5 \times LVL \times (B + D) = \text{Area}$ där LVL är längd i vattenlinjen B är bredd och D är djup. Mängden zink, koppar och TBT på skroven är ett uppskattat medelvärde i Sverige baserat på data från E.Ytreberg et.al Environmental Pollution (2016) och beräknades till Zn= 4300 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$; Koppar=5200 och Sn=144 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ som motsvarar 355 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ TBT.

Koppar= 5200 µg/cm²

Båttyp	Skrovarea (m ²)	Mängd biocid på skrovet (g)	Mängd spridd biocid från metod med 0,1 % spridning (g)	Mängd spridd biocid från metod med 1,8 % spridning (g)
Marieholm MS20	12,2	634	0,6	11
Hallberg-Rassy 26	13,2	686	0,7	12
Marieholm 32	23,9	1243	1,2	22
Ryds 550	15,7	816	0,8	15
Baltic 37	23,7	1232	1,2	22

Zink= 4300 µg/cm²

Båttyp	Skrovarea (m ²)	Mängd biocid på skrovet (g)	Mängd spridd biocid från metod med 0,1 % spridning (g)	Mängd spridd biocid från metod med 1,8 % spridning (g)
Marieholm MS20	12,2	525	0,5	9,4
Hallberg-Rassy 26	13,2	568	0,6	10
Marieholm 32	23,9	1028	1,0	18
Ryds 550	15,7	675	0,7	12
Baltic 37	23,7	1019	1,0	18

TBT= 355 µg/cm² (144 µg/cm² Sn)

Båttyp	Skrovarea (m ²)	Mängd biocid på skrovet (g)	Mängd spridd biocid från metod med 0,1 % spridning (g)	Mängd spridd biocid från metod med 1,8 % spridning (g)
Marieholm MS20	12,2	43	0,04	0,78
Hallberg-Rassy 26	13,2	47	0,05	0,84
Marieholm 32	23,9	85	0,08	1,5
Ryds 550	15,7	56	0,06	1,0
Baltic 37	23,7	84	0,08	1,5

12 Abstract

The spread of biocides from decontamination of boat bottom paint was determined experimentally by decontaminating boats with six different methods and measuring the scattered proportion of bottom paint. The methods are common in leisure marinas and are usually performed by the boat owner, in addition, professional blasting was evaluated. The results from the different scenarios show that it is possible to perform decontamination with many of the methods such as sanding, scraping, gel dissolution and blasting and achieve collection of more than 98% of the paint. The methods differ in the proportion of scattered paint but also in the degree of difficulty in execution and how robust they can be carried out while maintaining low scattering. Factors such as workmanship, boat type and paint type vary greatly within the Swedish leisure boat population and interpretation of the results indicate that it is more important to apply the right risk reduction methods rather than ranking the decontamination methods. Methods that form dry small particles when removing the paint are sensitive particle transport caused by wind. Calculations of particle wind transport show that the particle sizes that are formed during, for example, grinding and scraping can easily be spread outside a protective ground cover to the external environment. The spread in such a decontamination case can be high, almost complete if no protective actions are taken. Management of this risk should be done by, as in some of the experiments performed, collecting the particles with suction, having control over the wind speed, and setting strict performance requirements, or alternatively banning the methodology.

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2021:09

ISBN:978-91-89167-91-9

Borås

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Kemisk problemlösning
RISE Rapport 2021:09
ISBN:978-91-89167-91-
9