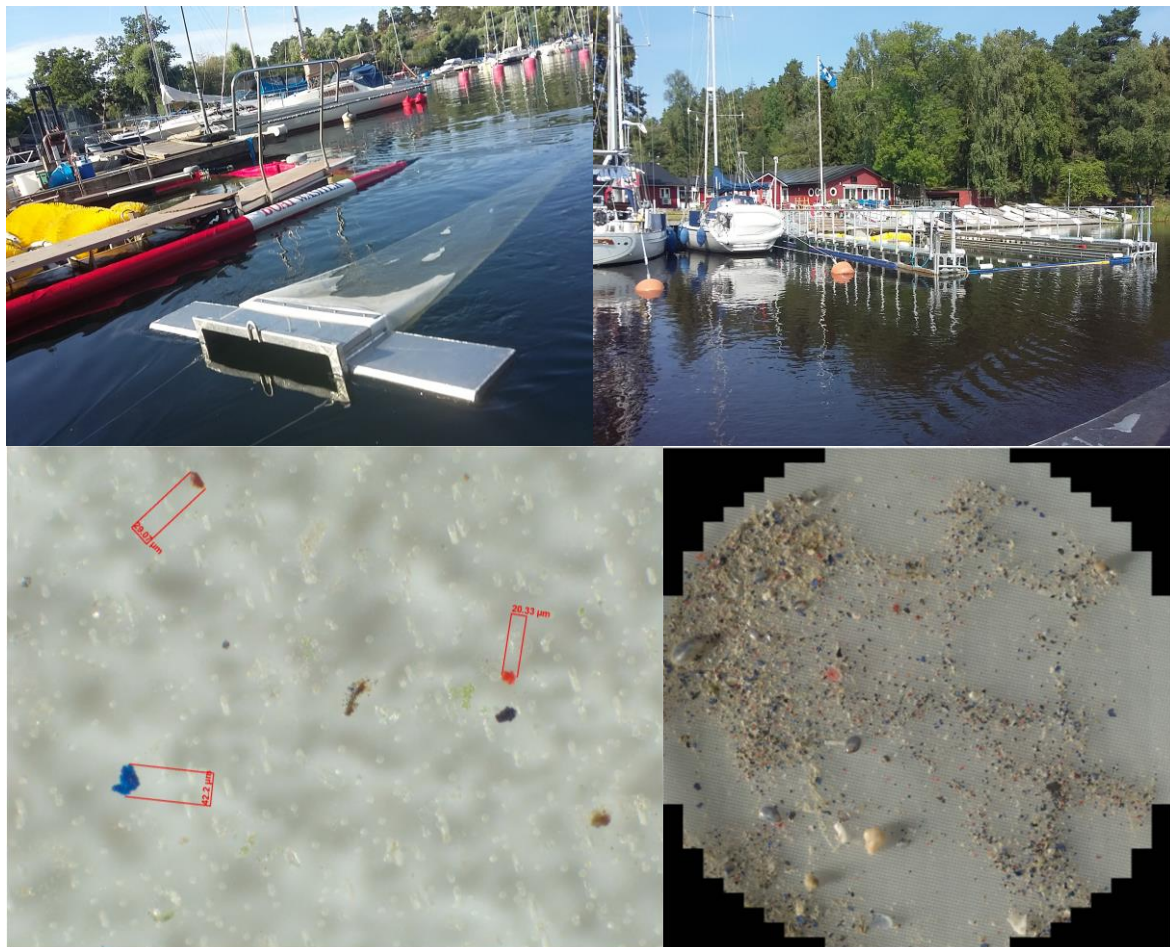


# Läckage av mikroskopiska båtbottnfärgspartiklar från båtborsttvättar – en förstudie



GÖTEBORGS  
UNIVERSITET

## 1 Utförare på uppdrag av Havs och Vattenmyndigheten:

- 1.1 Martin Hassellöv, Andreas Gondikas, Karin Mattsson, Institutionen för Marina Vetenskaper, Göteborgs Universitet
- 1.2 Per-Olof Samuelsson, Vågenkonsult, Vänersborg

Detta är en rapport som har tagits fram på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten och innebär inte något ställningstagande från Havs- och vattenmyndighetens sida.

(Omslagsfoton: Martin Hassellöv, Per-Olof Samuelsson, Karin Mattsson)



GÖTEBORGS  
UNIVERSITET

## 2 Sammanfattning

Sommaren 2017 gav Havs- och vattenmyndigheten i uppdrag åt Göteborgs Universitet och Vågenkonsult, att undersöka uppkomst och spridning av mikrokräp från båtborstsvättar. Upprepade provtagningar har genomförts vid sex båtborstsvättanläggningar; två på västkusten, två i Öresund och två vid Ostkusten. Dessutom har visuella observationer gjorts vid två anläggningar på sydkusten. Strategin för provtagningen var att provta bakgrundshalter (kumulativ halt från andra källor) i omedelbart innan borstsvättaktivitet påbörjades de aktuella dagarna, och sedan provta i direkt anslutning till tvättaktivitet. Flera olika typer av provtagningsmetoder applicerades för att täcka in ett brett storleksområde av partiklar, och som också representerade ett nära spridningsscenario respektive mer utspätt, och inkluderade:

- mantatrål >300 $\mu$ m, som integrerar ca 100 m åt vardera håll utanför anläggning (ytvatten, 10-100m från anläggning)
- pumpfiltrering >300 $\mu$ m direkt utanför anläggning
- filterprov >10 $\mu$ m direkt utanför anläggningen (0.5 resp 2.5 m)

Olika analysmetoder applicerades på de olika provmetoderna, och inkluderar visuell räkning av större färgflagor, visuell räkning av färgade mikropartiklar, automatiserad svepelektronmikroskopisk elementspecifik partikelanalys, framför allt för identifiering av koppar och tennrika partiklar.

Analysen av färgflagepartiklar (framför allt antal röda och blå, samt kopparrika partiklar), visade för de flesta av hamnarna en betydande förhöjning efter tvätt jämfört med före, för proverna tagna direkt utanför anläggningarna (2-5 m från portarna). Tennrika partiklar kunde detekteras mellan 0-5 partiklar per prov, men var alltför få för att statistiskt säkert kunna tolkas. För provtagning av stora (>300 $\mu$ m) färgpartiklar längre ut i hamnen (10-100m avstånd) med trålmetoden var resultaten mer variabla, men för flera av hamnarna kunde markanta ökningar noteras. Lokala förhållanden såsom vind och ström tros dock ha inverkan på om mätbara förhöjningar går att se.

Utöver provtagning och analys av partiklar visade sig en viktig insikt under studien bli att det kunde noteras brister i underhåll av de barriärer (bassängkanter och portar) som ska valla in spridningen från borstningen, vilket kan ha bidragit till en mätbar ökning av röda+blå partiklar och kopparrika partiklar efter tvättning i flera av hamnarna. Således finns det utrymme för förbättringar kring skötsel av anläggningarna och tillsynsmyndigheter bör omgående se över detta för att säkerställa ett minimalt läckage; särskilt under den övergångsperiod som nu i vissa kommuner tillåter borstning på vissa typer av målade skrov. När alla tekniska funktioner är tillfredställande kan en ny detaljerad studie på några få tvättanläggningar med större spridningsprovtagning och massbalansberäkning av läckage vara motiverad.

Resultaten pekar även på att det är motiverat att lyfta frågan om de övergångsregler avseende målade skrov med gällande teknik är motiverade.

Generellt var den uppmätta halten biocid innehållande mikrokräpspartiklar anmärkningsvärt hög i samtliga fritidsbåtshamnar oberoende av tvättaktivitet, med bakgrundshalter av kopparrika partiklar >10 $\mu$ m mellan 400 och 1400 partiklar per L. Detta kan jämföras med rapporterade halter av textilfibrer på mellan 5 och 50 per L i kustnära svenska vatten (Norén et al, 2014, Hassellöv et al., 2018). Med tanke på att biocidfärgpartiklar är tillverkade för att vara giftiga, är detta särskilt angeläget att ta hänsyn till i kommande miljöstatusbedömningar och understryker vikten av att jobba fokuserat med dessa frågor i åtgärdsarbetet mellan berörda myndigheter och andra aktörer. Båtborstsvättar och andra mekaniska rengöringsmetoder är essentiella för att frångå målning med biocidfärg, men myndigheterna rekommenderas att se över kriterierna i de övergångsregler som nu tillämpas i flera kommuner då målade båtar tillåts borstning. Vilken typ av färg och hur länge sen ommålning är frågor att ta ställning till och uppföljas.

### 3 Bakgrund

Som en del i det nationella arbetet att minska belastningen på havet från biocid innehållande bottenfärger från fritidsbåtar, arbetar myndigheter och organisationer på bred front, vilket exempelvis kan ses i samarbetsprojektet Skrovålet, som leds av Transportstyrelsen, i samarbete med HaV och Naturvårdsverket, eller som miljösamverkan mellan kommuner och länsstyrelser. Småbåtshamnar är välkänt ackumulationszoner för biocider från antifoulingfärger, med många gånger kraftigt förhöjda halter av koppar, zink, organiska tennföreningar, samt irgarol och andra organiska biocider (Bengtsson, 2011, Singh, et al., 2009, Turner et al., 2008, Turner, 2010). Åtgärdsarbete vid båtuppläggningsplatser och marinor, framför allt avseende spolplattor har pågått under några år, och nu fokuseras det på dels att öka användandet av giftfria metoder som alternativ till biocidfärger, samt uppmuntran och styrmedel för att få båtklubbar och båtägare att avlägsna gammal biocidfärg från skrovet och övergår till giftfria metoder. Ett ekonomiskt styrmedel som tidigare använts för installation av spolplattor och reningsanläggningar är LOVA bidrag. Sedermera har det också använts för att stimulera etablering av båtborsttvättanläggningar. Båtborsttvättar har funnits på en rad lokaler på ostkusten och sydkusten, men före 2016 ej varit etablerade på västkusten. Nu har LOVA medel möjliggjort etablering av två borsttvättanläggningar i Bohuslän, på Smögen och i Stenungsund, och kommunerna möjliggör att ansöka om subventioner för att ta bort biocidfärgerna.

I HaV:s reviderade riktlinjer om *Båtbottentvättning av fritidsbåtar*, från 2015, beskrivs följande: *”Riktlinjerna skiljer mellan biocidmålade och giftfria båtar, där de senare kan tvättas på fler och lättare sätt. Olika kommuner kan ha olika kriterier för vad som ska räknas som giftfria båtar (där spolplatta alltså inte behövs och där borsttvätt i vattnet är lämplig). Båtar som aldrig målats med biocidfärg samt båtar som tidigare målats med biocidfärg men därefter blåstrats, slipats eller tvättats rena är typiskt att betrakta som giftfria. En kommun som ser möjligheter att minska användningen av biocidfärg kan finna det lämpligt att bedöma fler båtar som giftfria under en övergångsperiod och därigenom undvika krav på spolplatta samt gynna alternativa rengöringsmetoder. Det kan vara möjligt att måla över gammal biocidfärg med giftfri täckfärg/primer och därmed minska eller eliminera giftläckaget. En annan möjlighet kan vara att kommunen undantagsvis betraktar båtar som tidigare målats med biocidfärg som giftfria om ingen ny biocidfärg tillförts under föregående säsong(er). Sådana undantag bör endast göras om det samtidigt ställs krav på åtgärder som leder till utfasning av biocidfärg.”*

I princip alla båtar på västkusten idag brukar biocidfärg, men vissa kommuner har enligt HaV:s riktlinjer ovan, tagit beslut att för att möjliggöra etablering av borsttvättar på västkusten under en övergångsperiod, om 3 till 5 år, till att även båtar med existerande biocid innehållande färger kan bedömmas som giftfria och därmed få lov att nyttja tvättarna. Se till exempel instruktioner till båtägare här: <http://www.raahamn.se/tvatt.html> eller här: <https://boatwasher.se/tvattrad-miljoregler/>

I den rådande kunskapsuppbyggande fasen kring mikrokräp i havet, har HaV tagit beslut om att undersöka i vilken utsträckning båtborsttvättanläggningar, med gällande regler för barriärer runt anläggningarna, kan vara en källa till mikrokräp till omgivande vatten, och då med fokus på färgflagor med biocider.

### 4 Uppdragsbeskrivning

Uppdraget omfattar provtagning vid sex borsttvättanläggningar för att utröna om båtrensaktiviteten bidrar till mikropartiklar, så kallat mikrokräp till omgivande vatten. Mikrokräp kan vara mikroplast från borstarna eller från skroven från plastbåtar, men viktigast av allt färgflagor innehållande biocider, till exempel metallerna koppar och zink, och allra viktigast partiklar innehållande tenn (rester från gamla tributyltenn-bottenfärger).

#### 4.1 Syfte

Syftet med studien var att testa hypotesen om att båtborsttvättar kan vara en mätbar och signifikant källa till mikropartiklar, särskilt biocid innehållande, till kringliggande vatten.

## 4.2 Omfattning

Provtagning genomfördes på två borsttvättanläggningar på västkusten, Smögen och Stenungsund, två i Öresund, Råå och Limhamn, och två på ostkusten, Bosö och Fisksätra (Fig 1). Provtagning utfördes före och efter avslutad borstaktivitet för att minimera andra påverkansfaktorer. Analys omfattade visuell identifiering av stora partiklar ( $>300\mu\text{m}$ ), medan de mindre 10-300  $\mu\text{m}$  analyserades med ljusmikroskopi och vid behov kompletterat med svepelektronmikroskopi, Raman eller FTIR mikroskopi).

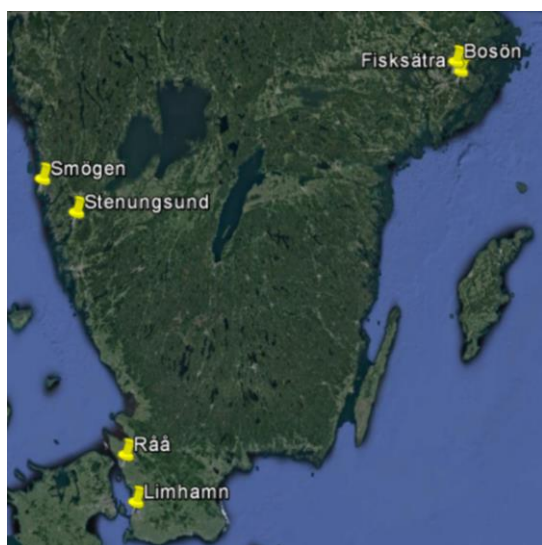
## 4.3 Utförande

Utförandet gjordes i nära dialog med Borsttvättentreprenörerna och deras bokningsschema. Detta har bedömts som bästa sätt att kunna provta relevanta kontrollprov. Eftersom andra källor till mikrokräp från fritidsbåtsaktiviteter och kustturismnedskräpning följer samma generella tidstrender som det eventuellt extra bidrag genererat från borsttvättanläggningarna kan man inte ta före-under-efter prover på säsongsbasis. Istället kommer alltså prover att tas före planerad borstning och under/strax efter. Notering av aktuell båttyps färg och annan karaktäristika, samt anläggningens och hamnens beskaffenhet, noterades vid varje tillfälle.

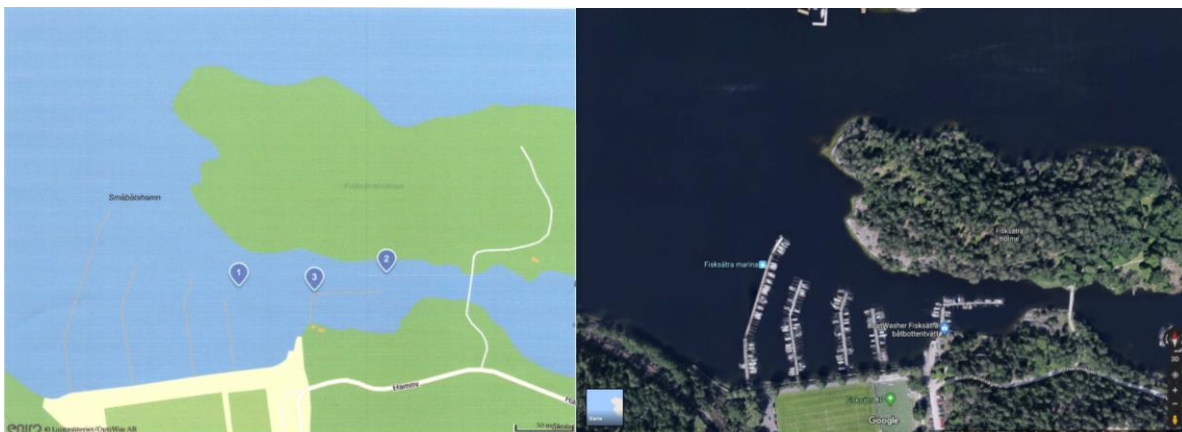
## 5 Metod

### 5.1 Lokaler och Provtagningar

Anläggningarna ligger oftast inne i marinor och småbåtshamnar vilket ställer vissa begränsningar till hur prover kan tas, framför allt med trålningen, som genomfördes i en vinkelrät sträcka utanför de bryggor som borsttvättarna låg vid, vanligtvis 5-10 meter utanför (Fig 2-7). Vind, ström och densitet av övrigt fritidsbåtsanvändande varierar dock och kan komma att inverka på resultaten, men det är samtidigt en del av förutsättningarna och variabilitet i den miljö som uppdraget var att kartlägga. Exempelvis i Limhamn rådde en pålandsvind in i hamnen där borsttvätten ligger längst in i hamnen. Trålningen gjorde alltså i lovert, medan vattenproven togs strax i lä från borsttvättanläggningen och där det även kunde förväntas att övrig förorening i hamnen fokuseras inåt av de rådande vindarna. I hamnar som Stenungsund, Fisksätra och i viss mån Smögen, där borsttvättanläggningarna ligger mellan bryggor i ett strömt sund, är det mindre sannolikt att en spridning fångas upp av provtagningsmetodiken, framför allt inte av trålning som måste ske längre utanför parallellt mot strömmens sannolika plym. I Råå ligger borsttvättanläggningen längst in i hamnen vid en å-mynning vilket kan tänkas föra med sig partiklar ut från ån och de båtar som ligger förtöjda uppströms och från andra källor. Dessa och andra faktorer tas upp i diskussionen.



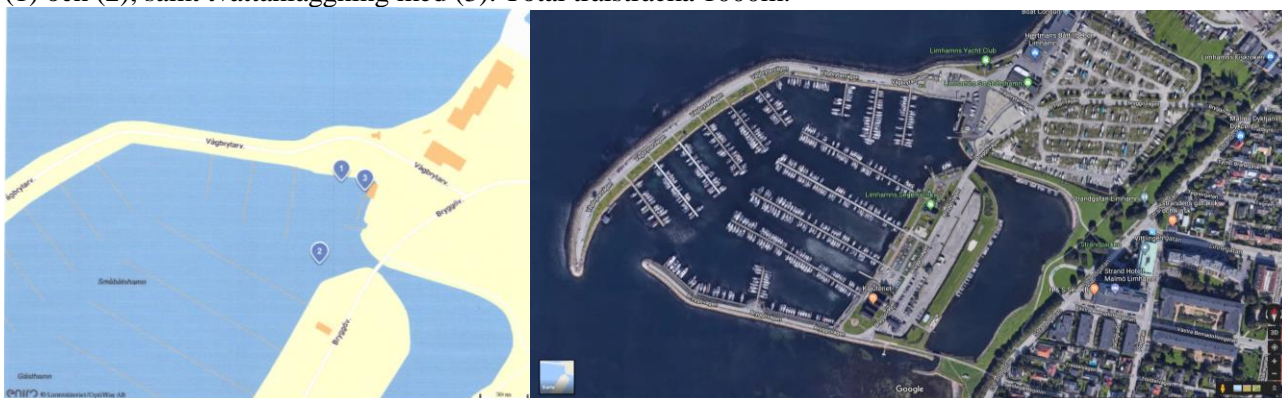
Figur 1. Översiktsskarta över de 6 provtagningstationerna, Smögen, Stenungsund, Råå, Limhamn, Fisksätra och Bosön.



Figur 2. Fisksättra Boatwasher station, med ca 300 båtplatser. Trålningens ändpunkter markerat med (1) och (2), samt tvättanläggning med (3). Total trålsträcka 1000m.



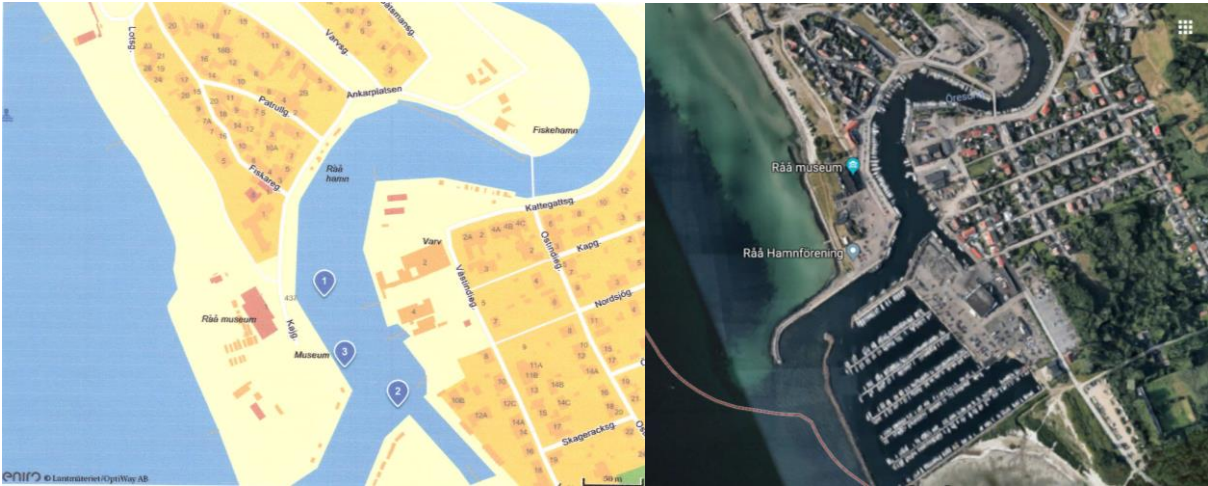
Figur 3. Smögen Boatwasher station. Ca 300 båtar under högsäsong. Trålningens ändpunkter markerat med (1) och (2), samt tvättanläggning med (3). Total trålsträcka 1000m.



Figur 4. Limhamn Boatwasher station. 1000 båtplatser. Trålningens ändpunkter markerat med (1) och (2), samt tvättanläggning med (3). Total trålsträcka 1000m.



Figur 5. Stenungsund Boatwasher station. Ca 100 båtplatser i direkt närhet, ca 500 st inom en kilometer. Trålningens ändpunkter markerat med (1) och (2), samt tvättanläggning med (3). Total trålsträcka 1000m.



Figur 6. Råå hamn, RentUnder station, med 1200 båtplatser. Trålningens ändpunkter markerat med (1) och (2), samt tvättanläggning med (3). Total trålsträcka 1000m.



Figur 7. Bosön, Lidingö RentUnder station, med ca 550 båtplatser och båtuppläggningsplatser på land. Trålningens ändpunkter markerat med (1) och (2), samt tvättanläggning med (3). Total trålsträcka 1000m.

## 5.2 Provtagningsmetoder

Först utfördes bakgrundsprovtagningen före tvättningarna startades, och medan tvättcyklerna pågick så genomfördes trålningen (ca 30min)

Vid provtagningarna togs både vattenprov och filtreringsprov med olika tekniker före och efter tvättaktivitet. Provtagningarna genomfördes före respektive efter en sekvens av 2-3 bokade tvättar samma dag. En tvättcykel tar ca 20-30 minuter. Strax innan att tvättaktivitet var inbokad, genomfördes samtliga bakgrundsprovtagningar. Medan borsttvättningen sen pågick gjordes först en trålprovtagning med en så kallad mantatrål (Fig. 8), och därefter omedelbart den diskreta provtagningen (provet togs upp med vattenprovtagare) och pumpfiltreringen ( $>300\mu\text{m}$ ) genomfördes. Därefter filtrerades  $>10\mu\text{m}$  provet från de tagna vattenproven.

Mantatrålen har en maskstorlek på  $300\mu\text{m}$ , och är tidigare beskriven i detalj (Karlsson et al, 2018). För att kunna statistiskt provta stora partiklar ( $>300\mu\text{m}$ ) användes en mantatrål som kan släpas vid sidan av en mindre motorbåt (typ roddbåt med utombordare) i 1-2knop. Sträckan som trålades åt var sitt håll från borstanläggningen uppmättes i förväg från flygfoto, och trålningen upprepades så att 1000m täcktes in vid varje prov. Det motsvarar ca  $65\text{m}^3$  prov vid varje tillfälle som samlas in på ett  $300\mu\text{m}$  filter.

In situ pumpfiltrering ( $>300\mu\text{m}$ ) utfördes som en punktprovtagning vid 0.5m djup direkt utanför anläggningen efter tvättning (Fig. 9). Mellan 1 till  $5\text{m}^3$  vatten passerade filtret.

Vattenprov togs med Ruttnerhämtare för mikropartikelfiltrering ( $>10\mu\text{m}$ ). Vattenprov togs vid 0.5 meters djup före och efter tvättaktivitet ca 5 meter utanför tvättanläggningen, vilket alltså motsvarar ett mycket litet utspädningsscenario (att tas hänsyn till vid tolkningen). Dessutom togs ett efterprov också vid 2.5 meters djup för att säkerställa att de tunga partiklarna ej missades. Direkt från vattenprovtagaren fästes i förväg

monterat 10 $\mu$ m filter (Fig. 10), och till filtret kopplas en vaccumpump. Cirka en liter prov filtreras (och volymen uppmättes) före sköljning med destillerat vatten, och torr sugning av filtret.



Figur 8. Foto på mantatrålen (maskstorlek 300 $\mu$ m) vid provtagning vid Bosön, Lidingö, samt Fisksätra. På nedre foto syns den bom som höll trålen ut från sidan från provtagningsbåtarna. Notera att hörnen på båttvättanläggningen hänger under vattenytan.





Figur 9. Foto på dränkbar pump för in situ filtrering. 300 $\mu$ m nylon nät fästs i tratten som syns till vänster. Nätet är det första som möter partiklarna vilket minimerar kontamination. Design F. Norén, N-research.

### 5.3 Provupparbetning

Då trål- och pumpfiltreringsproverna hade mycket naturligt organiskt material (både marint och terrestert) som omöjliggjorde en direkt visuell analys, vilket brukar vara möjligt under andra perioder på året och/eller mer utomskärs, och därför blev det nödvändigt att utarbeta en upparbetningsmetod. Först testades en mild kemisk nedbrytningsmetod ut på pumpfiltrerade planktonprover (testprover) där både effektivitet på nedbrytning av organiskt material samt icke-destruktiv påverkan på plast och färgflagor undersöktes. Väteperoxid (30%) var effektiv för nedbrytning av naturligt organiskt material men blekte samtidigt färgflagorna. Därför utprovades en metod som använts för nedbrytning av fisk för mikroplastanalys (Enders et al, 2017), och den fanns både vara effektiv på marint plankton samt att ej påverka de testade plastpartiklarna. Dock visade det sig att trålproverna ej bröts ned lika effektivt på grund av mycket förekomst av växtfrön, och annat terrestert organiskt material. Därför kompletterades nedbrytningsbehandlingen även av en densitetsseparation där provet behandlades med en tung vätska (zinkkloridlösning) som får det naturliga organiska materialet att flyta medan de mycket tunga färgflagorna samt små snäckskalsrester sjunker. Därefter filtrerades trål- och pumpfiltreringsproverna på nytt filter för vidare mikroskopanalys.

För de andra metoderna (>10 $\mu$ m filter, samt <10 $\mu$ m lösning) behövdes ingen provupparbetning.

### 5.4 Analysmetod

#### Visuell identifiering av partiklar >300 $\mu$ m

Filter från trålproverna kommer att visuellt identifieras under stereomikroskop, fotograferas och klassas in i morfologiska klasser (färg, form, storlek etc).

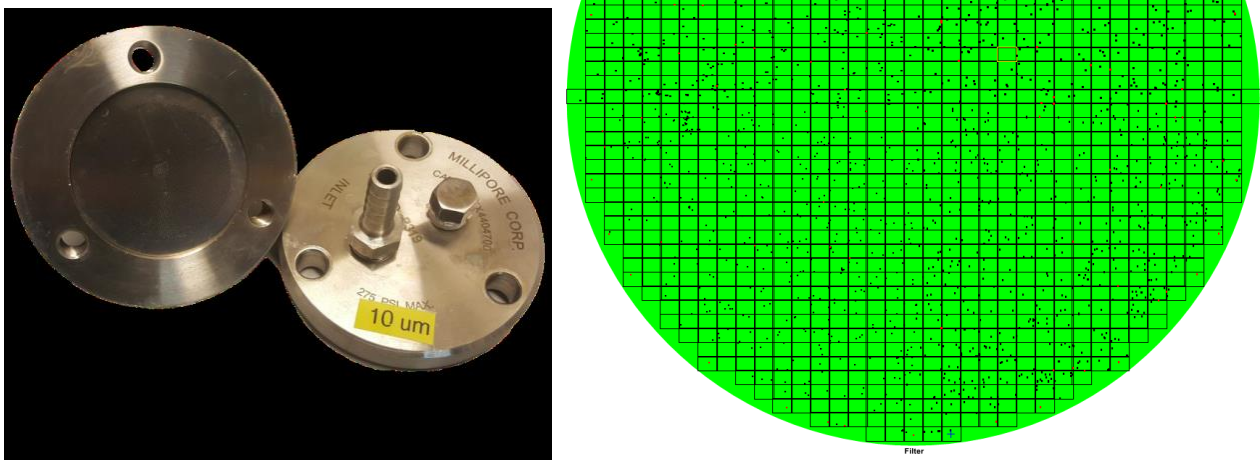
#### Visuell identifiering av partiklar >10 $\mu$ m

Partiklar provtagna på 10 $\mu$ m filter har visuellt identifierats under ljusmikroskopi (Zeiss AxioImager M2, darkfield, 20x objektiv), som röda, blå, bruna, samt övriga färgliknande partiklar (efter jämförelse med partiklar från båtupptagningsplats och spolplatta). Ett bildfält i taget avbildades, om någon partikel fanns, togs foto, därefter mättes varje partikel och klassificerades i ovan kulör-klasser.

#### Automatiserad Svepelektronmikroskopi (SEM) med röntgenspektroskopisk (EDX) elementanalys

SEM med EDX elementanalys är en väletablerad metod för att identifiera och karaktärisera partiklar. Det är dock ofta en subjektiv metod för partikelanalys. Här har dock en automatiserad metod, kallad Smart Particle Investigator (SmartPI) av Carl Zeiss använts, där partiklar väljs ut genom avbildning med Backscattered electron detection (BSD) där BSD har högre kontrast för tyngre element. Man kan alltså välja ut vilka

partiklar som identifieras genom att optimera deras elementkontrast. Här har alla partiklar som innehåller element tyngre än aluminium selekterats ut (Fig. 10). Det gör att planktonpartiklar och lättare mineral ej spenderas tid på att mätas utan endast de tyngre. De utvalda partiklarna analyseras sen automatiskt avseende elementinnehåll samt morfologiska parametrar (storlek, form). Därefter sorteras alla analyserade partiklar först baserat på kopparinnehåll och presenteras och därefter map tenn-innehåll och resultatet för tennrika partiklar presenteras. Metoden är automatiserad vilket både borgar för objektivitet och god statistiskt underlag i analysen, då hundratusentals partiklar har analyserats under denna studie.



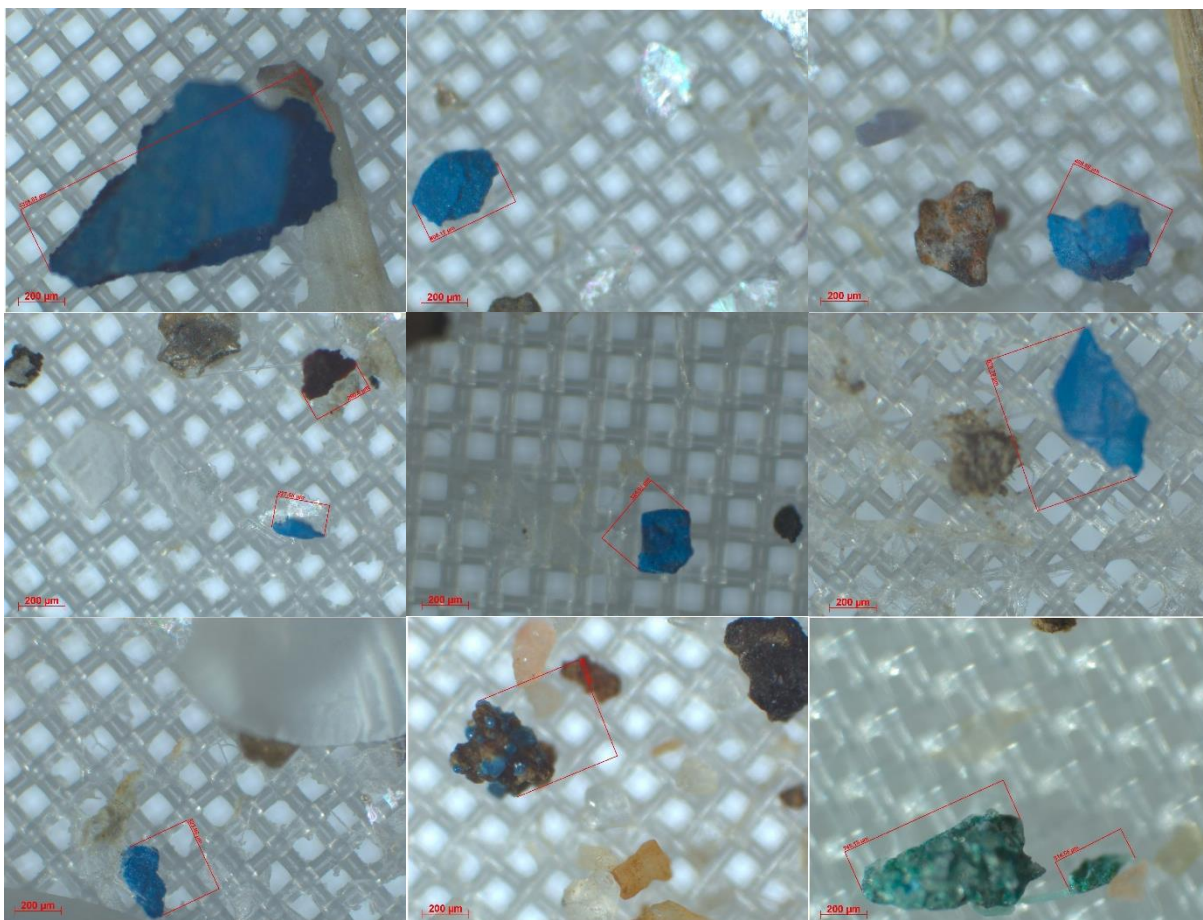
Figur 10. A. Foto på filterhållaren, för 47mm filter, som använts för 10 $\mu$ m filtrering. B. Schematisk ritning över alla de bildfält som analyserats på ett prov med SEM-EDS, och alla prickarna visar utvalda och analyserade partiklar.

## 6 Resultat

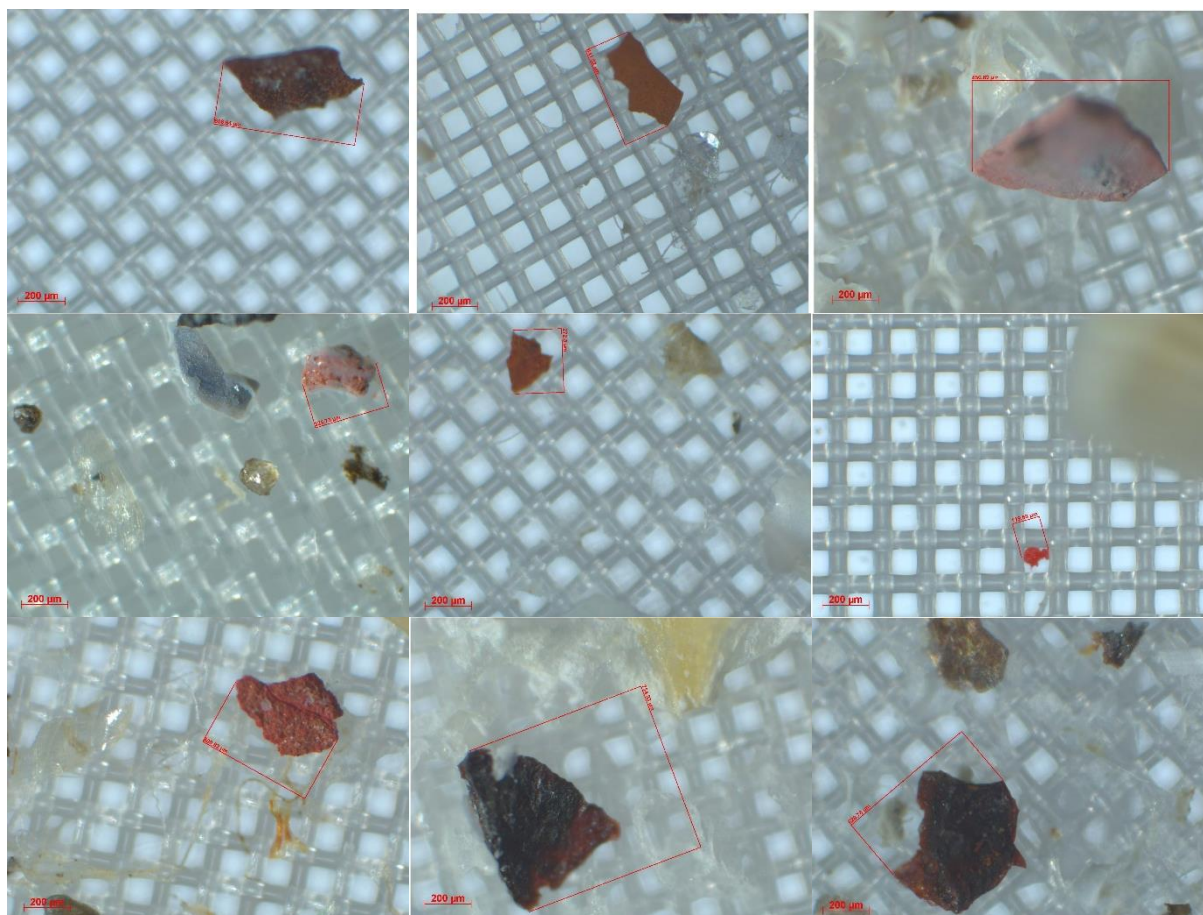
Resultaten redovisas per provtagningsstation som före och efter tvätt för respektive metod.

### 6.1 Mantatrålning (>300 $\mu$ m)

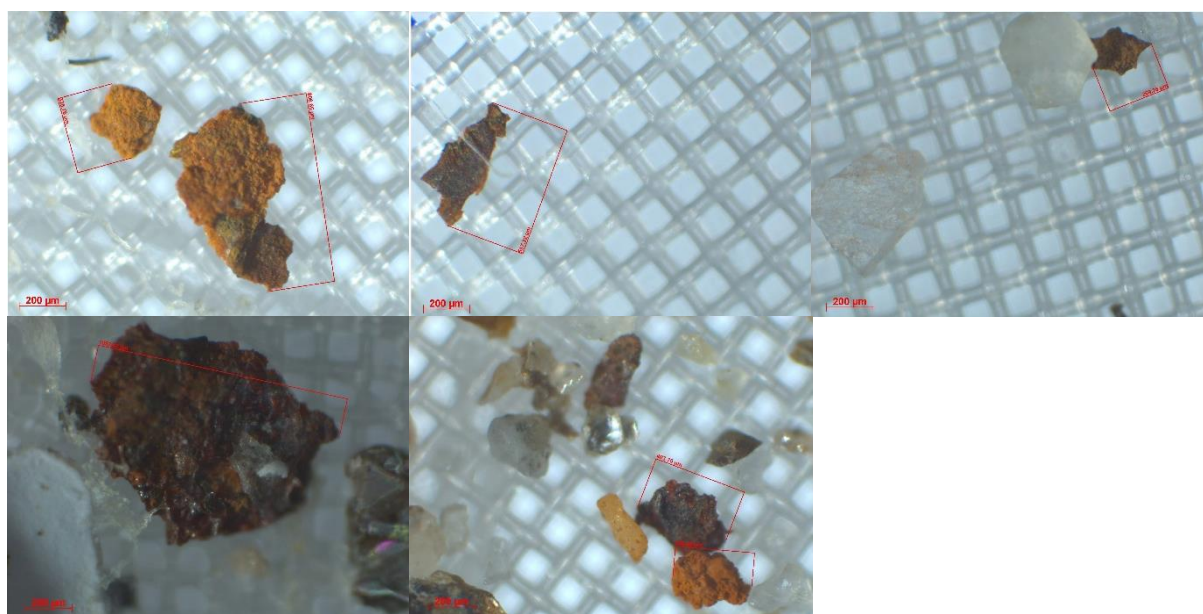
Vid visuell mikroskopisk analys av mikroskräpsproverna från mantatrålen har tre olika kulörer av färgflageliknande partiklar valts ut att kvantifieras; blå (Fig. 11), röda (Fig. 12) samt bruna (Fig. 13). Svarta, kunde identifieras som vanligt förekommande, men det fanns alltför många andra typer av svarta partiklar för att på ett säkert sätt kvantifiera de svarta färgflagorna med visuell identifiering. Även andra kulörer (grön, grå, vit) av färgflageliknande partiklar kunde identifieras men var alltför ovanliga för att statistiskt kunna kvantifieras.



Figur 11. Vanligt förekommand blå, och en ovanlig grön (ner till höger), exempel av partiklar från trålprovtagningen.

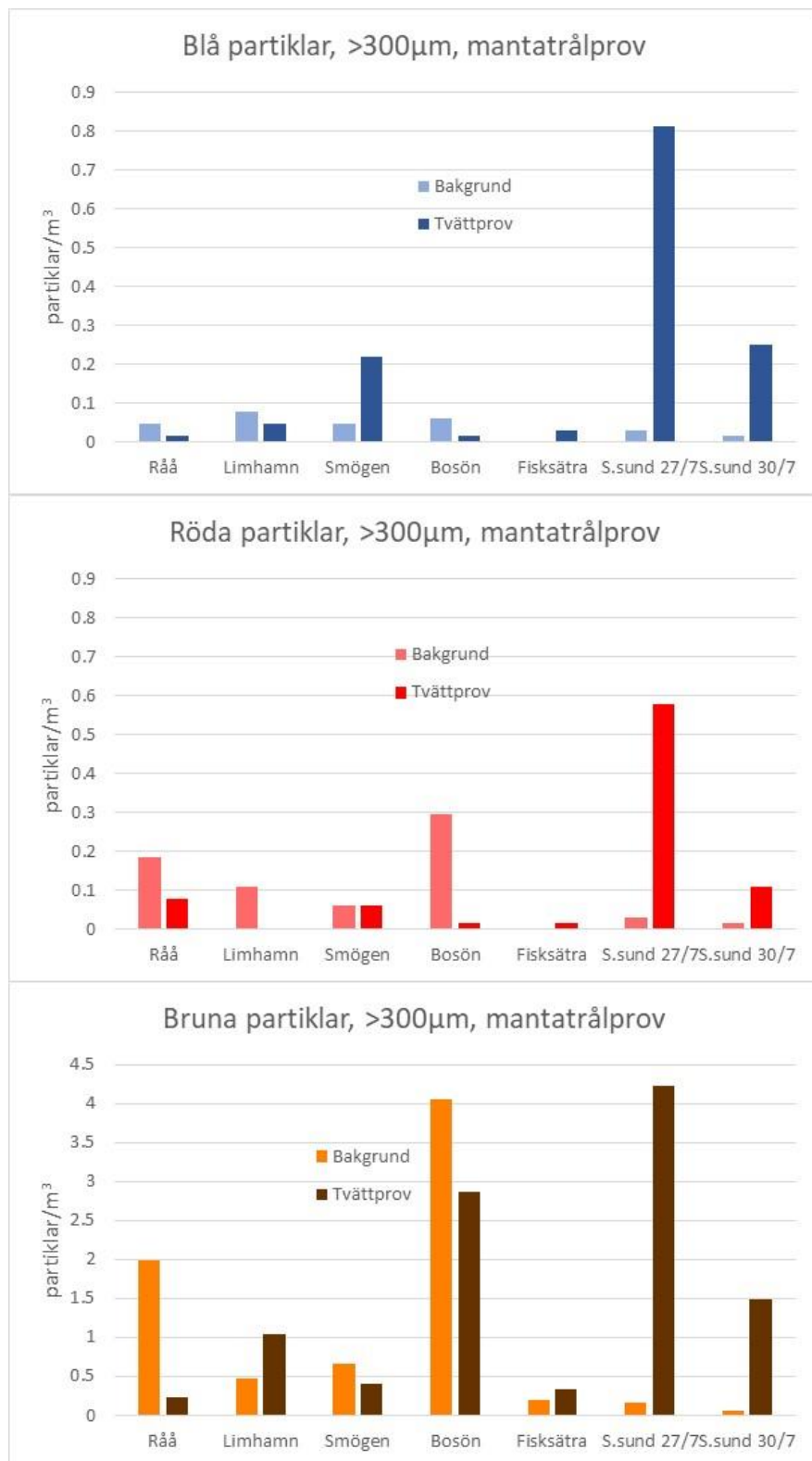


Figur 12. Foton från trålprovtagningen av partiklar som klassats som röda partiklar, med viss variation av lyster och ytstruktur.



Figur 13. Foton från trålprovtagningen av partiklar som klassats som bruna partiklar.

Resultaten från den kvantitativa analysen uttryckta som partiklar per kubikmeter visas i Fig 14, uttryckt som blå, röda och bruna färgflagepartiklar.



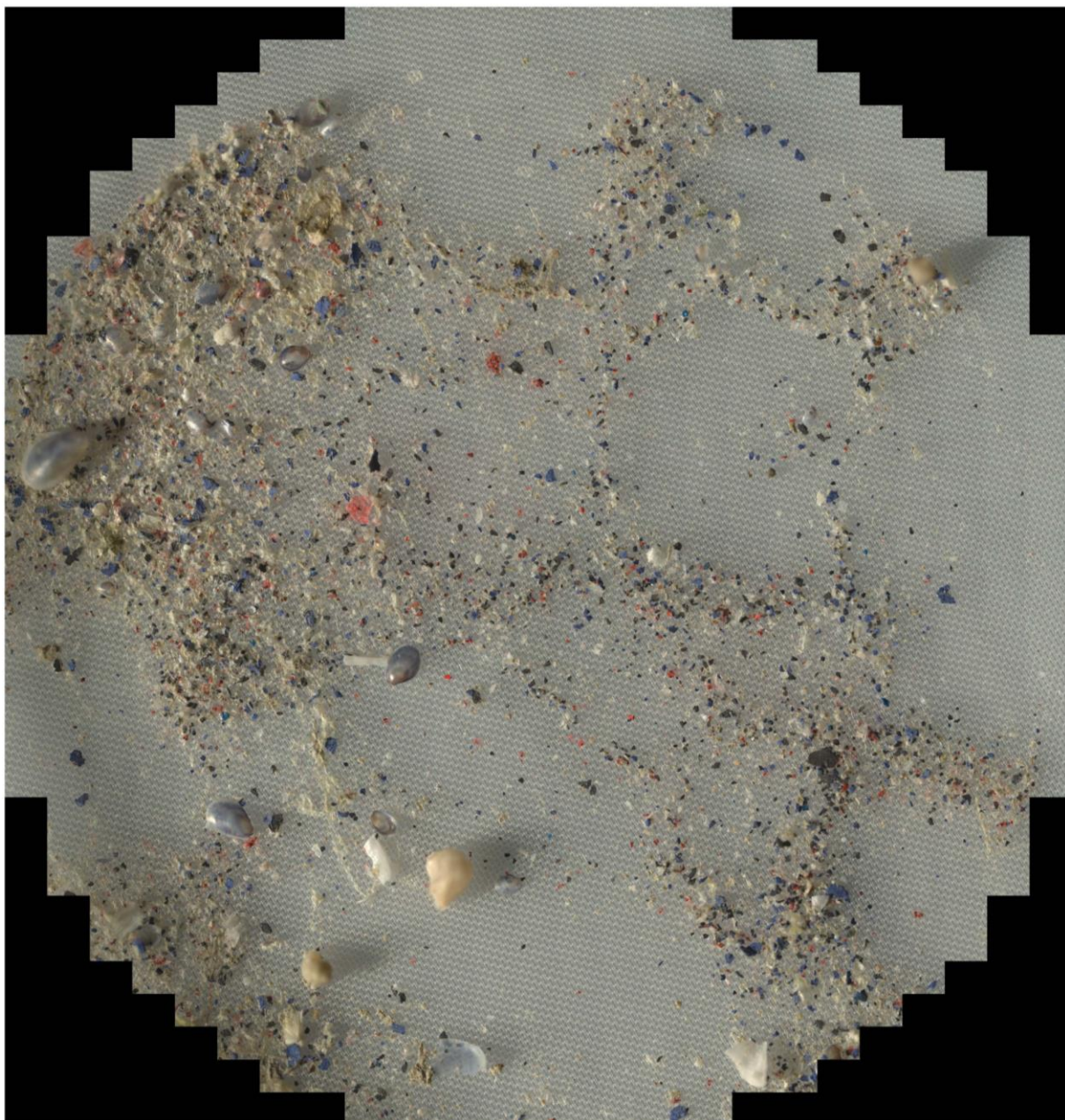
Figur 14. Här visas antal färgflageliknande partiklar per kubikmeter av olika kulörer, för bakgrundsprov respektive trålprov för de olika hamnarna. Notera de olika skalorna.

## 6.2 In situ pumpfiltrering (>300µm)

### 6.2.1 Karaktärisering av källfunktionen (inuti borsttvätt under drift)

Vid ett tillfälle i anläggningen i Stenungsund gjordes en pumpfiltreringsprovtagning inuti anläggningen under drift där 3.5m<sup>3</sup> vatten passerade genom 300µm filter. Filtret innehöll mycket talrika förekomster av blå, röda och svarta färgflagor (Fig. 15). De blå färgpartiklarna har kvantitativt bestämts till 7487 vilket gav

en koncentration på ca 2100 blå färgpartiklar per m<sup>3</sup> , vilket kan jämföras med bakgrundshalterna betydligt under 0.1 partikel per kubikmeter.



Figur 15. Foton på delprov från pumpfilter inuti tvätt anläggning. Filtret på bilden är ett 100µm filter som delprov överförts till vid provupparbetningen då naturligt organiskt material brutits ner.

### 6.2.2 Pumpfiltrering utanför anläggning efter tvätt

För att jämföra en punktmätning av partiklar >300µm nära (2-5 m ifrån portarna) med en trålning som representerar en större utspädning från källan, gjordes in situ pumpfiltrering med den dränkbara pumpen. Koncentrationer av de blå, röda samt bruna färgflagepartiklarna visas i Tabell 1, samt som i jämförelse med trålprov i Figur A1, Appendix 1.

**Tabell 1**

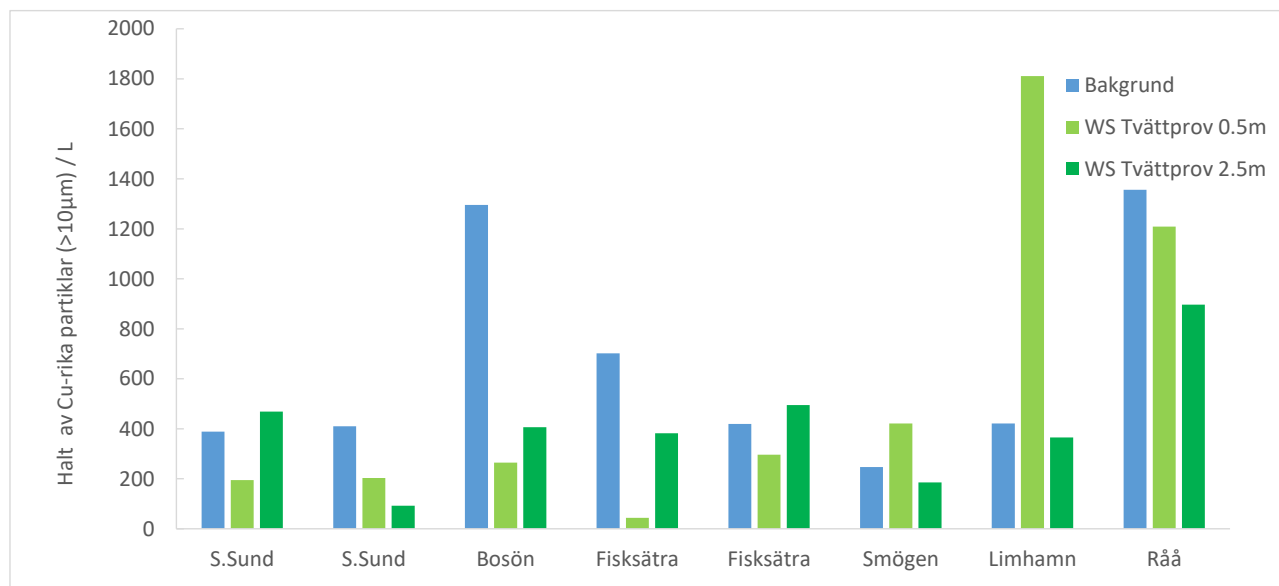
Råå tvätt
Limhamn tvätt
Smögen tvätt
Bosön tvätt
Fisksätra tvätt 9/8
Fisksätra tvätt 10/8
S.sund 30/7 tvätt

Partiklar per m <sup>3</sup>		
Blå	Röda	Bruna
3.1	4.9	28.7
30.0	2.7	1.8
90.0	554.2	50.4
2.0	1.8	0.8
1.9	0.6	79.7
27.5	6.4	0.3
3.2	0.5	3.2

### 6.3 Vattenprovtagning med direktfiltrering (10 $\mu$ m)

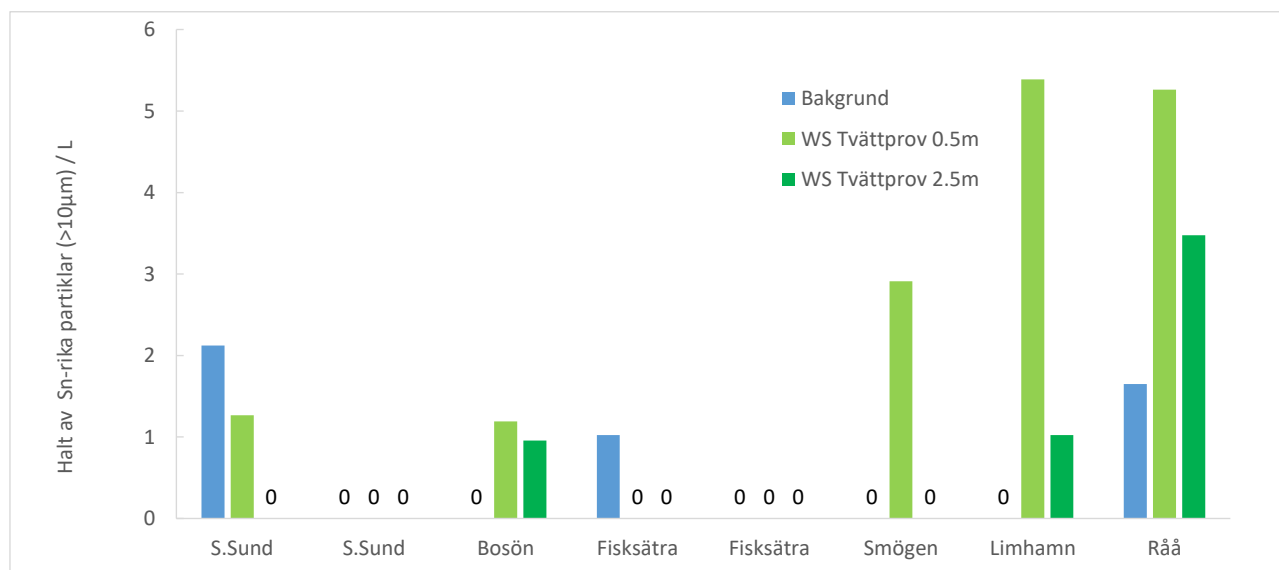
#### 6.3.1 Automatiserad SEM-EDS partikelanalys (>10 $\mu$ m filter)

Halterna (antal per L) av de kopparrika partiklarna (>5% Cu innehåll) visas i figur 16.



Figur 16. Här visas antal kopparrika partiklar fångade på ett 10 $\mu$ m filter per liter vatten.

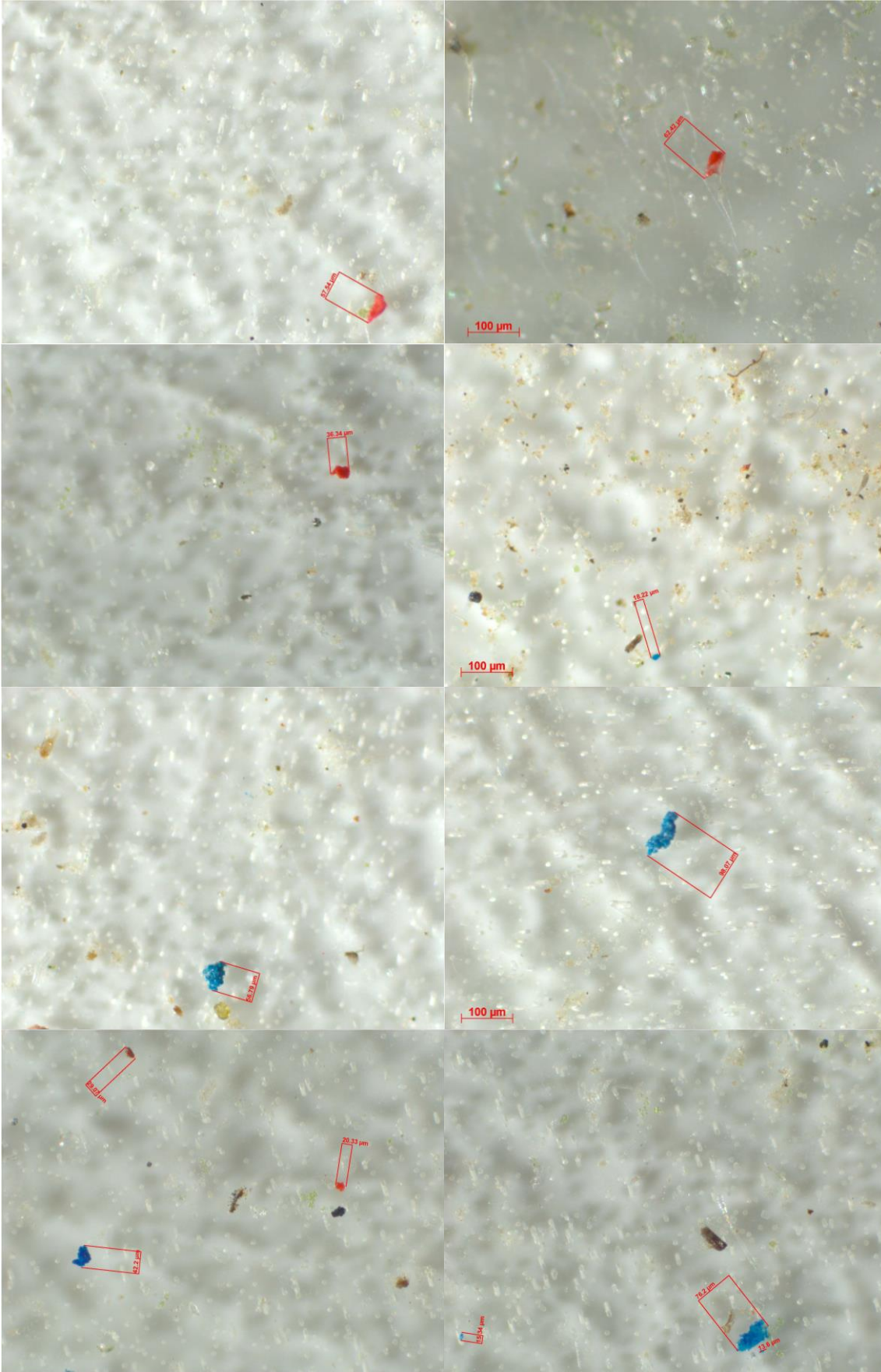
Tennrika (Sn) mikroskopiska partiklar, troligtvis generade från tennorganiskt innehåll i äldre underliggande färglager kunde detekteras i de undersökta hamnarna, om än i låg förekomst, 0-5 partiklar per filter (Fig 17, 22 och 23).



Figur 17. Här visas antal tennrika partiklar fångade på ett 10 $\mu$ m filter per liter vatten.

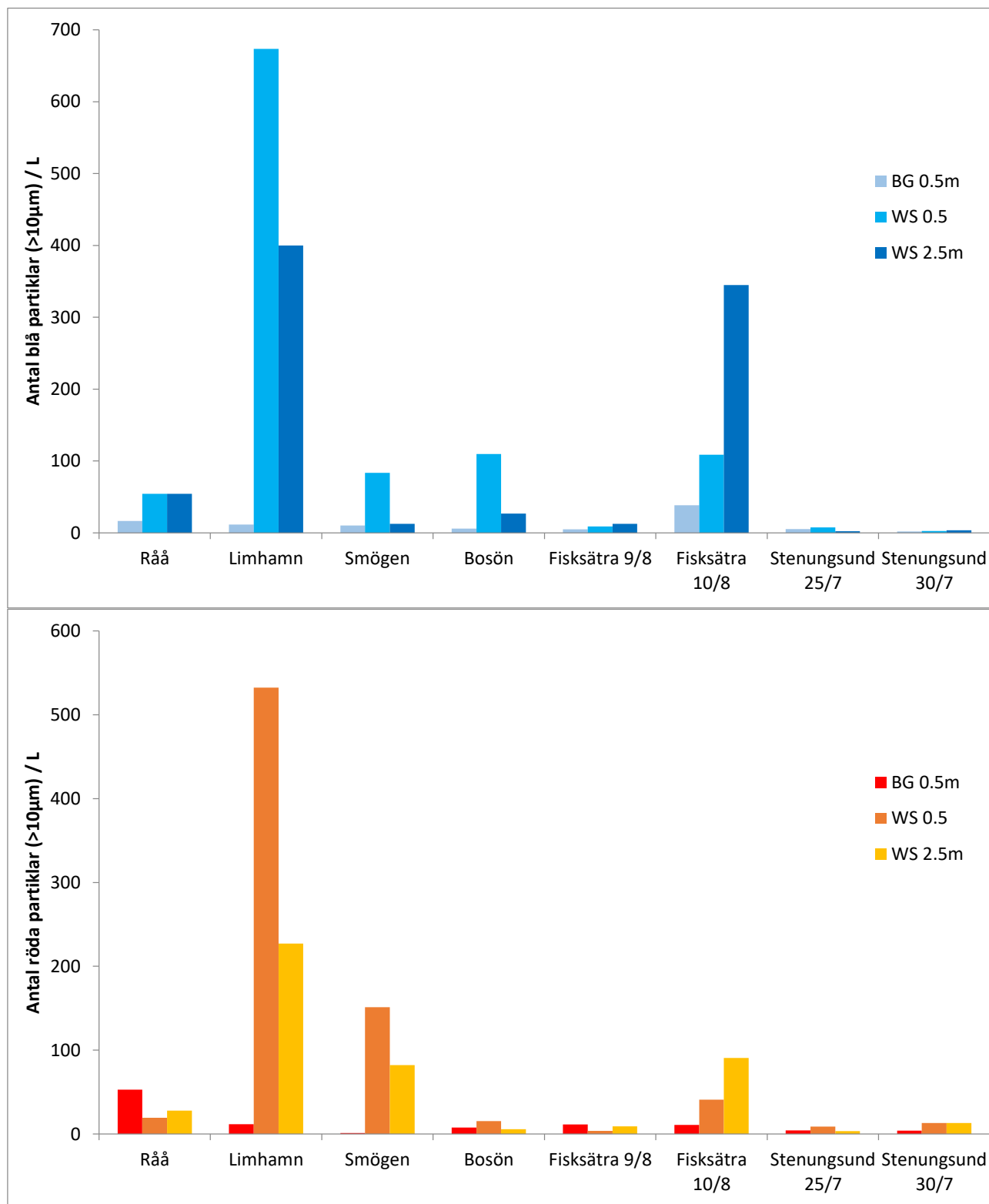
#### 6.3.2 Ljasmikroskopi

I ljasmikroskopi analyserades 10 $\mu$ m filter blå respektive röda färg-flageliknande partiklar kunde identifieras (Fig 18) efter att ha jämförts med prov från referenspartiklar från båtbottnfärg från slam från spolplattor. Resultatet från den manuella analysen där blå och röda partiklar räknats och mätts redovisas i Figur 19. Det är viktigt att betona att svarta partiklar var mycket talrika men det var inte möjligt att distingera svarta färgflagor från sotpartiklar eller svarta partiklar av eventuellt annat ursprung, tex däck eller vägslitage.



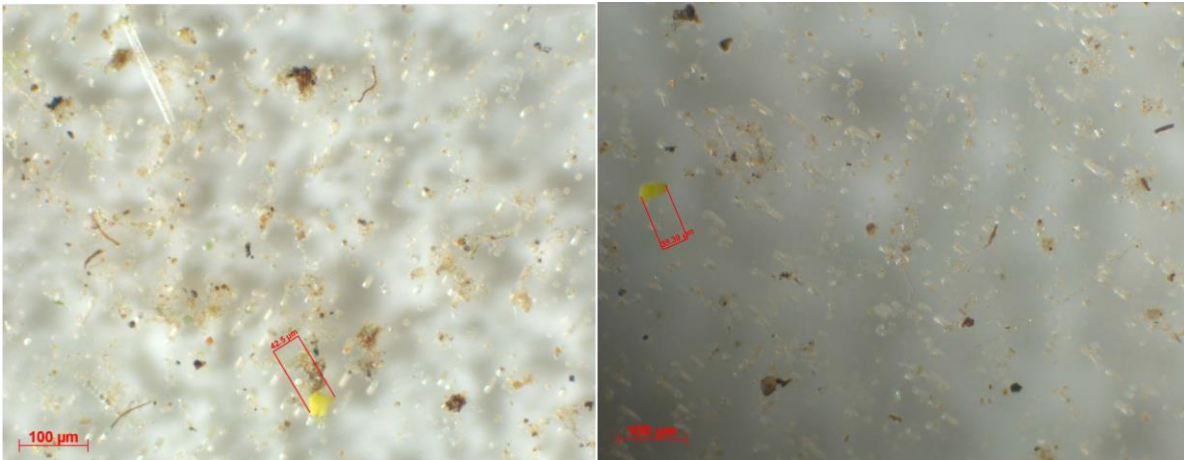
Figur 18. Exempel på blå och röda, samt en brun (nedre vänstra panelen) färgflageliknande partiklar.



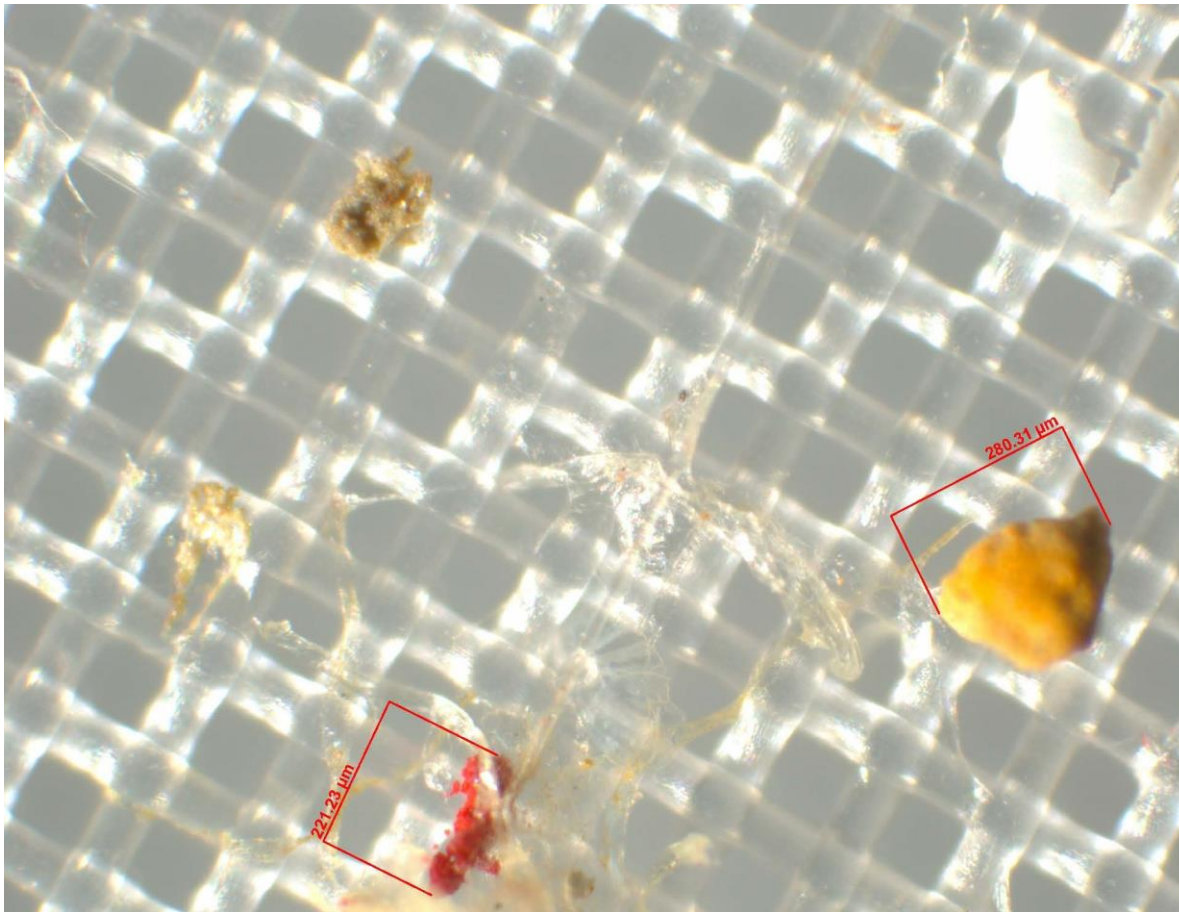


Figur 19. Figuren visar antal blå (A) respektive röda (B) mikroskopiska (>10µm) partiklar per L för de olika hamnarna som bakgrund, tvättprov (WS) på de olika djupen 0.5 resp 2.5 m.

I uppdragsbeskrivningen efterfrågades om båtborsttvättarna släppte mikroplast från borstar eller skrov. Skrovplastpartiklar har inte kunnat identifieras och gula plastliknande partiklar som skulle kunna komma från borsten har endast identifierats som ett fåtal partiklar; ca 1 partikel per l >10 $\mu$ m, och endast <1 partikel per m<sup>3</sup> för partiklar >300 $\mu$ m (Fig 20 och 21).



Figur 20. Foto från ljusmikroskop visar två gula partiklar som skulle kunna komma från borstarna i båttvätt.



Figur 21. Foto från 300 $\mu$ m pumpfiltrering (överfört till 100 $\mu$ m filter) som visar gul partikel samt fragmenterande röd partikel.

## 7 Diskussion

### 7.1 Tolkningsgrund

Man måste ta hamnens beskaffenhet och förutsättningar vid provtagningsdagen i beaktande vid tolkning av resultaten. Det är inte endast båtborsttvättanläggningen som påverkar partiklars koncentration och spridningsmönster i vattnet, utan även stillaliggande båtar och framför allt båtar i rörelse, högtryckstvättning på land, samt vid blåst och regn, även partiklar från båtuppläggningsplatser och vägdamm etc (Singh 2009, Turner 2010). Inom ramen för denna begränsade förstudie fanns inte utrymme för provtagningar för att utröna exakt vilka de relativa bidragen från andra aktiviteter var.

### 7.2 Övergripande observationer om färgpartiklars egenskaper i proverna

Färgflagor som avskrapats direkt från båtskrov kan förstas skilja sig i densitet beroende på hur mycket metall de innehåller men ett test med en vätska med densitet 1.8 g/cm<sup>3</sup>, visade att alla de testade avskrapade färgflagorna sjönk, vilket tydligt visar att färgflagor som frisätts från en borsttvättanläggning kommer att sedimentera, med en hastighet som har ett starkt samband med partikelstorlek (för sfäriska partiklar proportionellt mot partiklarnas diameter i kvadrat), och partiklar mindre än 10µm kommer att kunna hållas suspenderade av turbulens i vattnet under längre tid och sträcka.

Om vi exemplifierar med röda + blå partiklar respektive kopparrika partiklar direkt utanför tvättanläggningarna, så var halterna i pumproven (>300 µm) ca 1-10<sup>2</sup> / m<sup>3</sup>, medan för >10µm filtren 10<sup>5</sup> -10<sup>6</sup> /m<sup>3</sup>. Alltså domineras partikelantalet av de mindre partiklarna, (ett generellt fenomen inom all partikelforskning), men volymen och massan kan fortfarande domineras av stora färgflagor. Stora färgpartiklar sjunker snabbt, medan små håller sig flytande längre är också ett generellt fenomen. Stora flagor har också observerats att ofta vara spröda och kan fragmentera till mindre (App. 1, Fig. A2). Man kan också notera att storleksfördelningarna för samtliga analyser påvisar en markant ökning i halt inom ett intervall för minskande partikelstorlek (App. 1, Fig. A3, A4, A5).

### 7.3 Karaktärisering av partikelhalt inuti borsttvättanläggning under drift

Vid tillfället då det gjordes en pumpfiltrering (300µm) inuti anläggningen i Stenungsund under pågående tvätt blev det tydligt att det virvlas upp en mycket hög koncentration av mikroskräpspartiklar under pågående tvättprocedur (Fig. 15). Det var inte endast av samma kulör som pågående tvätt utan av olika kulörer. Från dessa resultat är det tydligt att om borsttvättar tillåts på giftfärgsmålade båtar så är det viktigt att barriärfunktionerna är adekvata och väl underhållna. Vidare kan man överväga vilka metoder man kan förstärka för att kontinuerligt eller med högre frekvens bortföra avborstat partikulärt material från tvättens bottenbassäng för att inte virvlas upp vid efterkommande tvättar.

### 7.4 Sammanvägd tolkning av före respektive efter tvätt i Smögen

Vid provtagningen i Smögen den 23/8 var högsäsongen över men fortfarande en del båttrafik i hamnen (5-10 båtar under provtagningarna). Bassängportarnas överdelar hängde betydligt under vattenytan, ca 2 dm. Tvätt av en båt med blå silikonfärg samt en båt som visades ha lös röd bottenfärg. Dennes tvätt stoppades efter 3 min då färgen släppte för mycket.

Trälprovtagningen visade på tydlig förhöjning av blå partiklar, men ingen förhöjning av röda. Däremot visade pumpprovet (>300µm närmare portarna) på en markant förhöjning av 1900x för blå och 8880x för röda jämfört med bakgrundsträlprovet. Kulörerna stämmer väl överens med de tvättade båtarnas där den röda som bara tvättades i 3 min släppte mycket färg.

Punktprovtagningen för små partiklar visade en förhöjning avseende både kopparrika partiklar och för den visuella analysen av blå och en mycket kraftig förhöjning för röda.

### 7.5 Sammanvägd tolkning av före respektive efter tvätt i Stenungsund

Provtagning skedde vid två tillfällen, 27/7 resp. 30/7. En nordgående ström noterades genom sundet vid båda tillfällen, vilket gör det möjligt att punktprovtagningen 5 väst om bassängens portar kan ha legat delvis utanför den plym som strömmen fört partiklar från porten.

Provtagning av de större partiklarna med trålning i syd-nordlig riktning väster ca 10m parallellförskjutet åt

väster visade på en distinkt förhöjning tvättaktivitet vid båda tillfällena (ca 20 ggr förhöjning; 23x för blå, röd, brun för första datumet och 15x för andra tillfället). Pumpprovtagningen 5 meter ifrån portarna gav efter tvättaktivitet en förhöjning jämfört med bakgrundstrålningen med samma filtermaska på 202x, 34x, resp 51x för blå, röd och bruna partiklar vid provtagning 30/7. Det är alltså tydligt att stora färgpartiklar (>300µm) spreds ut från anläggningen under tvättaktiviteten eller då portarna öppnades för att släppa ut och in båtar.

Punktprovtagningen för 10µm filtrering gav för SEM-EDS analys ingen tydlig trend vid någon av provtagningarna i Stenungsund, men halterna i proverna för både bakgrund och efter-tvätt var generellt lika höga som de flesta andra hamnar, bortsett från vissa extremvärden. Analys av samma filter med visuell ljusmikroskopi visade på låga halter av blå och röda färgliknande partiklar generellt, och vid 27/7 kunde ej en förhöjning säkerställas för röda partiklar, medan en fördubbling i halt kunde ses för både det grunda och djupa provet den 30/7 för röda partiklar och en mindre förhöjning för blå. Att ingen sådan trend kunde ses i kopparrika partiklar på samma prov skulle kunna härledas till att de kopparrika partiklarna (som var mer talrika) kan ha annan källa än borsttvätt, det kan till och med vara andra källor än båtar, då hamnen ligger i ett industriområde.

Det är alltså en diskrepans mellan spridning av små partiklar och stora partiklar vid Stenungsundsstationen, vilket kan ha att göra med hur plymen med partiklar har prickats med respektive provtagningsmetod.

#### 7.6 Sammanvägd tolkning av före respektive efter tvätt i Råå

I Råå ligger småbåtshamnen och båtborsttvätten i en å-mynning som för med sig mycket naturligt partikulärt material från ån och kan även innehålla annat antropogent partikulärt material. Borsttvätten och där provtagning utförts ligger dock uppströms av den större småbåtshamnen och endast en mindre antal båtar ligger förtöjda uppströms borsttvätten i ån.

Trålproven kunde inte påvisa någon ökning av blå eller röda partiklar efter utförd tvättaktivitet. Pumpprovet i nära anslutning till tvätten (ca 3-5 m) visade dock på förhöjning på 65x (blå) respektive 26x (röda) partiklar. Bruna partiklar i pumpprovet var 14x högre än i bakgrundstrålningen och för bruna partiklar var Råå med sina 29 partiklar per m<sup>3</sup> i pumpprovet det näst högsta uppmätt men detta kan ha påverkats av det bruna vattnet, så att en del av de röda föreföll mer som bruna partiklar. Detta ändrar inget i tolkningen att nära tvätten så kan vi se en markant förhöjning av stora (>300µm) färgpartiklar.

I provet med mindre partiklar (>10µm) visade till att börja med analysen av kopparrika partiklar den högsta från alla hamnarna men bakgrundsprovet var högre (1400 per L) än tvättproven (900-1200 per L) vilket tyder på att det i Råå finns andra källor för kopparrika partiklar än båtborsttvätten. De färgade >10µm-partiklarna var ca 50 per L vardera för blå respektive röda, och påvisade en ökning för blå och minskning för röda så sammantaget kunde någon tydlig spridning av små partiklar ej påvisas.

#### 7.7 Sammanvägd tolkning av före respektive efter tvätt i Limhamn

I Limhamn ligger borsttvätten längst in i en stor småbåtshamn med begränsad vattenomsättning. Vid det aktuella tillfället blåste en sydvästlig vind (6-8 m/s) in mot den delen där anläggningen låg i nordöstra delen av hamnen. Trålningen gjordes således i lovart (upp i vinden) om anläggningen och punktmätningarna ca 3 m utanför porten. Hörnen av portarna var under vattenytan. Tvätt av endast båthamnens egen servicebåt. Denna visade sig dock ha en röd självpolerande färg som släppte rejält och borde alltså inte tvättats. Detta observerade dock inte av provtagaren förrän efter ca 10 minuters tvätt då bakgrundsprovet filtrerades samtidigt. Tvättningen stoppades då efter 10 minuter. Hamnvärden som skötte tvätten hade ingen info om att man inte får tvätta och ska avbryta vid lös självpolerande färg. Samma scenario hade påvisats vid en av tvättarna i Stenungsund, vilket belyser vikten av tydliga instruktioner till tvättoperatörerna.

Trålproven visade ingen förhöjning, men som nämnts ovan det vore osannolikt på grund av pålandsvinden, vilket driver en ytström bort från trålstråket. Däremot kunde man se en förhöjning av pumpprov jämfört med bakgrundstrålprovet med 385x (blå), 25x (röd), och 4x (brun). Notera att det alltså förhöjdes kraftigt blå partiklar när det var en båt med röd färg som tvättades. Som noterades för provet inuti anläggningen i Stenungsund så virvlas det upp färgpartiklar av olika kulörer från botten av bassängen när tvätten är igång, så det som sedimenterat från tidigare tvättar virvlas igen upp.

Punktprovet för mindre partiklar ( $>10\mu\text{m}$ ) visade i analysen för kopparrika partiklar en mycket kraftig förhöjning från 420 till 1810 per L för ytprovet (0.5 m) men ingen förhöjning vid 2.5m. Detta kan dock förklaras av att hörnen av portarna hängde under vattenytan vilket alltså kan leda till att tvättvatten obehindrat tar sig ut. Detta pekar på vikten av väl underhållna barriärer och rutiner. Den visuella analysen av samma filter visade också på en kraftig förhöjning för blå från 11 per L vid bakgrundsprovet på 0.5m djup till 840 per L efter tvätt på samma djup och 400 per L vid 2.5m djup. Mönstret var snarlikt för röda partiklar som även där var 11 partiklar per L i bakgrundsprovet, och ökade till 542 per L (0.5m) och 227 per L vid 2.5m.

#### 7.8 Sammanvägd tolkning av före respektive efter tvätt i Fisksätra

Fisksätra småbåtshamn och båtborsttvätt ligger i ett sund som det är ganska strömt igenom. Vid den östra sidan av sundet ligger ännu en småbåtshamn. Vid första provtagningstillfället den 9/8 gick strömmen österut, och vid provtagning dagen efter var den omvänd. Punktprovtagning skedde ca 2 meter ut från portarna.

Trålprovet från den första dagen gick ej att analysera trots provbehandling för att uppsluta organiskt material, men provet från den 10/8 (efter tvätt av 3 båtar, en omålad, två med okänd färg), visade inga blå eller röda partiklar i bakgrundsprovet och endast 2 resp 1 i trålprovet vilket förvisso är en ökning men med så låga antal är räknestatistiska osäkerheten för stor för att kunna dra slutsats om förhöjning. Pumpprovet visade dock på en förhöjning mot trålprov med 882x (blå) och 410x (röda).

Punktprov för små partiklar ( $>10\mu\text{m}$ ) visade ingen förhöjning avseende kopparrika partiklar, snarare tvärtom. Samma filter analyserad med visuell mikroskopering visade dock en tydlig förhöjning för blå partiklar vid båda dagarna och för röda partiklar den 10/8.

#### 7.9 Sammanvägd tolkning av före respektive efter tvätt i Bosön

Bosön båtborsttvätt ligger längst in i småbåtshamnen, innanför flytbryggorna, dvs mycket lite annan båttrafik men många stillaliggande båtar runt om. Två båtar tvättades; en med VC 17 ostkust inte målad på 4 år samt en med okänd färg men inte målad på 4-5 år. Tvätt under mkt lång tvätt-tid, ca 50 minuter.

Trålproverna visade högre halter på bakgrund än efter tvätt alltså ingen lång spridning men vid pumpfiltrering (endast 2 m ifrån portarna) visade dock på en 33x höjning för blå respektive 6x för röda partiklar  $>300\mu\text{m}$ .

För de mindre partiklarna visade resultatet för kopparrika partiklar ett ovanligt högt bakgrundsprov medan tvättproven var lägre. Detta överensstämde dock inte med visuell analys av samma filter som visade en förhöjning av blå och röda partiklar. Detta indikerar att de kopparrika partiklarna från bakgrundsprovet är av annat ursprung än färgflagor. Då borstanläggningen ligger invid ett varvsområde så är det tänkbart med andra typer av kopparrika partiklar.

#### 7.10 Korrelerar tvättaktivitet systematiskt med ökning i mätvärden med någon av metoderna?

##### 7.10.1 Mantatrål och pumpfiltrering – de större färgpartiklarna

Generellt kan man dra slutsatsen att trots att trålningsmetoden integrerar vatten som är mellan 10 till 100 m ifrån anläggningarna så såg man i fyra av hamnarna en tydlig förhöjning. Vid pumpfiltreringen som då representerar en mycket mindre spädning så var ökningen jämfört med bakgrundhalterna mellan 100 till 1000 gånger vilket visar att det sker en spridning av partiklar från anläggningarna i samtliga fall när portarna öppnas efter en tvätt (Fig A1). Detta är att förvänta om man tar i beaktande att det under borstprocessen virvlas upp höga partikelhalter och att det ofrånkomligen sker ett visst vattenutbyte då båten ska lämna bassängen.

##### 7.10.2 Analys av de mindre mikropartiklarna ( $>10\mu\text{m}$ )

Med något enstaka undantag så visade provtagningar av de mindre mikropartiklarna ( $>10\mu\text{m}$ ) i den visuella analysen av blå och röda partiklar på en förhöjning efter tvätt. I de flesta fall var det en markant förhöjning; vanligt med 10 gånger, men upp till 100 gånger förekom. Samma filter analyserade med SEM-EDS för kopparrika partiklar visade ett mer variabelt mönster. Den sammanvägda tolkningen är att det finns andra källor till kopparrika partiklar än båtbottnfärg, som kan variera i omfattning mellan hamnarna (tex mycket

höga i Råå). Dessutom är de bottenfärgspartiklar som återfinns i olika grad kopparinnehållande och för båtar som inte målat på flera år så kan de lösa skikten där färgpartiklar borstas bort, redan ha lakats ur på eventuell koppar. Så även om det finns en generell korrelation mellan blå+röda och kopparrika så är sambandet inte konstant och beror dels på att det finns andra kulörer av bottenfärg, dels på andra processer och andra källor som påverkar förekomsten av kopparpartiklar. Dessutom är det sannolikt olika kopparinnehåll i färgflagor mellan ostkust och västkust, vilket kan påverka det relativa förhållandet mellan den kemiska identifieringen och den visuella kulör-identifieringen.

Referensvärden av blå partiklar (ej nödvändigtvis endast båtbottnfärgspartiklar) i Bohuskustens recipientkontrollprogramms provtagningspunkter har rapporterats mellan 2 till 20 per liter (Norén et al, 2014, Hassellöv et al., 2018), vilket ligger i paritet med de lägsta bakgrundshalterna i denna studie. Referensvärden av röda partiklar som förvisso är ett subjektivt mått, och kan skiljas något åt från klassificering i denna studie så har det rapporterats i Bohuskustens kontrollstationer mellan 10 och 200 per L, och i en studie i Skånes hamnar och kustvatten mellan 5 och 100 per L med extremvärden på drygt 700 per L i Ystad yttre hamn. Även dessa jämförvärden för röda partiklar ligger i paritet med spannet av koncentrationer som är uppmätta i denna studie för respektive bakgrund och efter tvättsituationen, men det ska betonas att spridningen i båda rapporterna är stor mellan högsta och lägsta bakgrund och högsta och lägsta efter-tvätt scenario.

### 7.11 Sammanvägd analys av resultaten

Båtborsttvättar genererar onekligen färgpartiklar av både större och mindre storlekar under operation då målade båtar borstas. Detta är, i princip, snarlikt som sker för rengöring av handelsfartyg med borstrobotar som tex utförs efter tillstånd från hamnmyndighet som samarbetar med den aktuella kommunens miljöförvaltning. Vid provtagning inuti anläggning under drift uppmättes mycket höga partikelhalter av olika kulör, vilket tyder på att tidigare avborstade partiklar virvlas upp under operationen. Partiklar kan spridas både vid öppning av portarna när båtar ska in eller ut och som resultat av otillräckliga barriärer, tex på grund av bristande underhåll.

Mätningarna visade på tydliga förhöjningar i både stora och små färgpartiklar relativt bakgrundshalterna i en direkt anslutning till anläggningarna 2-5 meter ifrån. Ej lika tydliga men ändå för flera av stationerna kunde detekterbara förhöjningar ses vid de flesta trålprovtagningarna (större utspädning), på 10-100 m avstånd vilket motsvarar ett spridnings-scenario ut i hamnarna.

### 7.12 Visuell observation av underhåll av anläggningarna i studien

Vid provtagningarna som utfördes sommaren 2017 gjordes även mycket viktiga observationer om borsttvättanläggningarna fysiska status samt hur anläggningarna drevs. För att få ett bättre bedömningsunderlag gjordes observationer på ytterligare fyra st borsttvättanläggningar som inte ingick i provtagningen (Hällevik, Karlskrona, Stocksund, Gålö Morarna).

#### Sammantagna observationer gjorda under provtagningarna och övriga besöken:

De flesta borsttvättanläggningarna hade stora problem med att en eller bägge portarna var helt men oftast delvis under vattenytan. Vanligt förekommande var att alla fyra hörnen på ett av fabrikatens portar, var under vattenytan, ibland glipade även portarna vid tvätt. Inget av dessa fel är givetvis acceptabla vid tvätt. Det andra fabrikatets portar hade oftast för dålig flytkraft, ibland hade portarna sträckts upp till vattenytan med rep.

Tömning av bottenlammet från borsttvättbassängerna bör enligt riktlinjerna ske minst en gång per år lämpligen på hösten efter tvättsäsongens slut. Information har i projektet inhämtats om att bottenlam aldrig tömts på vissa anläggningar! De resultat som nu framkommit understryker vikten av att bortföra partiklar från bassängens botten med betydligt högre frekvens, och allra helst kontinuerligt, då det virvlas upp partiklar från botten vid varje tvätt. Bottenlam från borsttvättar har påträffats långtidslagrat på land i närheten av borsttvättanläggning. Detta medför stor risk för urlakning av biocider från båtbottnfärgflagorna i slammet.

### Rekommendationer:

- Skärpt egenkontroll för skötsel, underhåll, utbildning samt miljötillsyn enligt Miljöbalken
- Borsttvättanläggningarnas portar ska alltid vara över vattenytan, samt får inte glipa. Tvätt ska inte ske om portarna är över vattenytan eller glipar.
- Slam från botten på borsttvättanläggningarnas bassänger ska minst en gång per år avlägsnas, lämpligen snarast efter tvättsäsongens slut.
- Slammet bör klassas som farligt avfall om annat inte visats via analys. Det bör utan dröjsmål tas om hand av godkänd transportör/avfallsmottagare.

Borsttvättanläggningar är en miljöteknik som har stor potential att minska biocidanvändningen inom fritidsbåtssektorn, genom att båtägarna slutar måla och istället håller ren skrovet med mekanisk rengöring. Det är dock relativt få båtar som direkt börjar borsta på ett helt omålat skrov och under en övergångsperiod då kommunerna tillåter borstning på målade båtar med olika kriterier, så bör man ställa höga krav på skötsel, underhåll, utbildning av operatörer om vilken typ av färg som är acceptabel att borsta på. Dessutom kan kommunerna överväga att ställa krav på mer frekvent tömning av bassängerna, och HAV överväga möjligheter att stimulera innovationer, tex kring förbättrade rening av partiklar från bassängerna kontinuerligt.

## 8 Slutsats

Småbåtshamnar är välkänt ackumulationszoner för biocider från antifoulingfärger (Bengtsson, 2011, Turner, 2010). Färgpartiklarna har en mycket hög densitet på grund av sitt höga innehåll av metaller och andra oorganiska färgingredienser (Parks et al., 2009) Därför kommer de lite större färgflagorna som frisätt i hamnarna att sedimentera i hamnens närområde medan mikroskopiska färgflagor kan ha betydligt längre spridningspotential, där fritidsbåtshamnarna kan verka som punktkällor för spridning till omgivande kustmiljö. Då antalet hamnar och bryggor ökat kraftigt på senare år så utgör sannolikt dessa punktkällor en betydande täckningspotential av kustmiljön. Mätningarna i denna studie ger eftertryck åt pågående åtgärdsarbete att minska giftfärgs användningen, och även minimera spridning från land.

Provtagning inuti borsttvättanläggning visar på mycket höga halter av stora och små färgflagepartiklar vilket understryker risk för spridning av biocidpartiklar samt vikten av effektiva barriärer, rutiner för operation, principer för vilka båtar som ska får borstas, samt underhåll av anläggningarna. Provtagningar nära anläggningarna påvisade förhöjda halter av färgpartiklar och kopparrika partiklar efter tvätt jämfört med före. Förhöjningarna 2-5 meter från anläggningarna var ofta markanta efter tvätt. Detta visar på spridningen när anläggningarnas portar öppnas för att släppa in eller ut båtar, och i vissa fall läckage över barriärerna som ej var korrekt underhållna. Vid provtagningspunkterna i närheten av anläggningarna är det en relativt liten utspädning som skett, och beräkningar på spridning till ett vidare scenarie och massbalans-beräkningar har ej gjorts. Däremot har mätningar med mantatrål (partiklar >300µm) gjorts ute i hamnen. Mantatrålmätningarna visade mindre distinkta ökning, men i flera av hamnarna kunde även på 10-100 m avstånd uppmätas förhöjningar. Sammanfattningsvis kan det noteras att det råder en omfattande förekomst av färgflagepartiklar och metall-biocid-rika partiklar i samtliga hamnar, och att borsttvättar kan bidra ytterligare, om det borstas på målade båtar, och att anläggningarnas portar och barriärer inte håller tätt tillfredställande.

Detta uppdrag som var en första förstudie om mätningar av läckage från borsttvättar bör kompletteras med mass-balansbaserade beräkningar och mer detaljerade spridningsmätningar i en gradient från anläggning, men resultaten ger tydliga indikationer för att göra en översyn av riktlinjer för användning.

Observationer från båtborsttvättanläggningarna under studien kunde påvisa visa brister i underhåll av barriärerna vid flera av anläggningarna, och med stöd i data och observationer av partiklar i vatten inuti anläggningarna så rekommenderas en högre nivå på rutiner för egenkontroll och handhavande av tvättanläggningarna. Vidare är de befintliga riktlinjerna från kommuner som under en övergångsperiod tillåter borstning på båtar med biocidfärg, viktigt att betona att båtar med självpolerande, mjuk biocidfärg EJ ska tillåtas tvättning, då det observerades moln av färgflagor då sådana båtar tvättades vid några tillfällen. Slutligen uppmuntras stöd till innovation kring förbättrade barriärer eller andra tekniker för att minimera läckage av alla typer av färgflagor från båtborsttvättar och andra mekaniska metoder.

## 9 Referenser

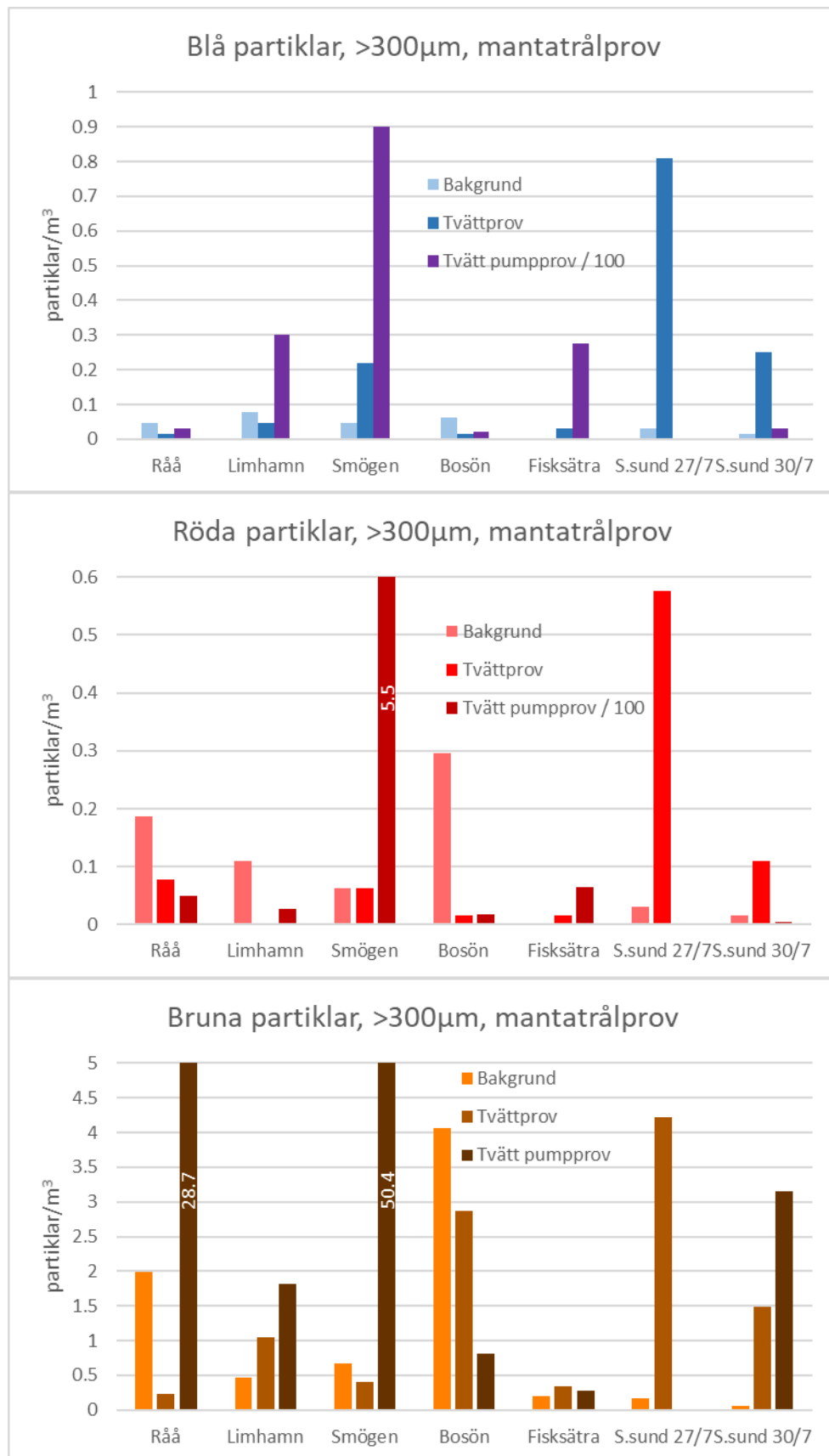
- Bengtsson, H. (2011) ”TBT i småbåtshamnar i Västra Götalands län 2010 – En studie av belastning och trender” Länsstyrelsen i Västra Götaland rapport 2011:30
- Enders, K., Lenz, R., Beer, S. & Stedmon, C. A. 2017. Extraction of microplastic from biota: recommended acidic digestion destroys common plastic polymers. *Ices Journal of Marine Science*, 74, 326-331.
- Hassellöv, M., Karlsson, T. och Haikonen, K. Marint mikroskopiskt skräp längs Bohuskusten 2015 - i jämförelse med tidigare studier 2013 & 2014. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Rapport 2018:28
- Norén, F., K. Norén och K. Magnusson (2014). Marint mikroskopiskt skräp. Undersökning längs svenska västkusten 2013 & 2014. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, rapport 2014:52.
- Karlsson, T., Kärrmann, A., Rotander, A. och Hassellöv, M. Provtagningsmetoder för mikroplast >300 µm i ytvatten: En jämförelsestudie mellan pump och trål. (2018) Naturvårdsverket rapport, 22 s.
- Singh, N. & Turner, A. 2009. Trace metals in antifouling paint particles and their heterogeneous contamination of coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 559-564.
- Takahashi, C. K., Turner, A., Millward, G. E. & Glegg, G. A. 2012. Persistence and metallic composition of paint particles in sediments from a tidal inlet. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 133-137.
- Turner, A. 2010. Marine pollution from antifouling paint particles. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 159-171.
- Turner, A., Fitzer, S. & Glegg, G. A. 2008. Impacts of boat paint chips on the distribution and availability of copper in an English ria. *Environmental Pollution*, 151, 176-181.
- Turner, A. & Radford, A. 2010. Bioaccessibility of trace metals in boat paint particles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73, 817-824.



## Appendix 1.

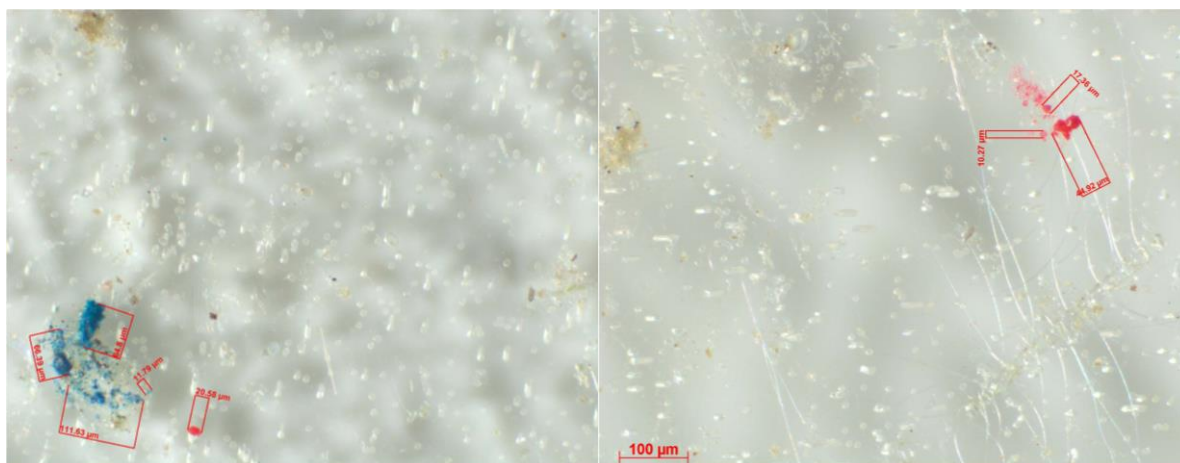
Här visas ytterligare figurer för mer utförliga tolkningar och analyser.

Jämförelse mellan de större storleksfraktionerna  $>300\mu\text{m}$  provtaget med både trål (längre ifrån borsttvätten) samt med pumpfiltrering nära anläggningen. Pumpfiltreringen fångade mycket högre halter (pumpprov halten är dividerad med en faktor 100 för att kunna jämföras i samma graf), troligtvis på grund av mindre utspädning.



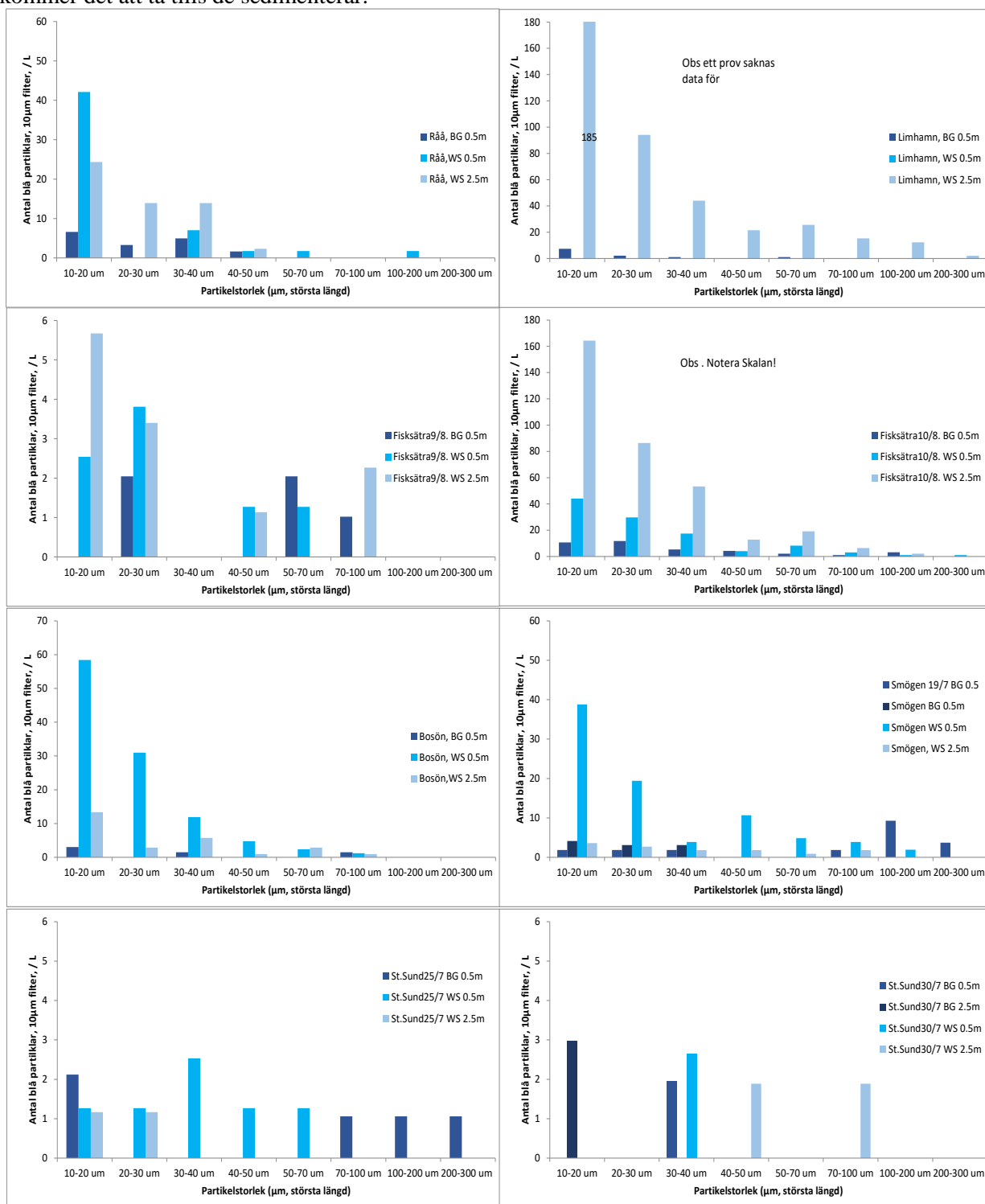
Figur A1. Jämförelse mellan pumpfiltrering och trålning. Notera att pumpfiltreringsdata är dividerade med 100 för att kunna jämföras med tråldatan.

Färgade mikropartiklar  $>10\mu\text{m}$ . För några färgflagor på filtren kunde man se att de fragmenterats på filtret till mycket mindre partiklar. Detta påvisar hur sköra en del färgflagor är och att de kommer att fortsätta att fragmenteras i vattnet till mindre och mindre partiklar.

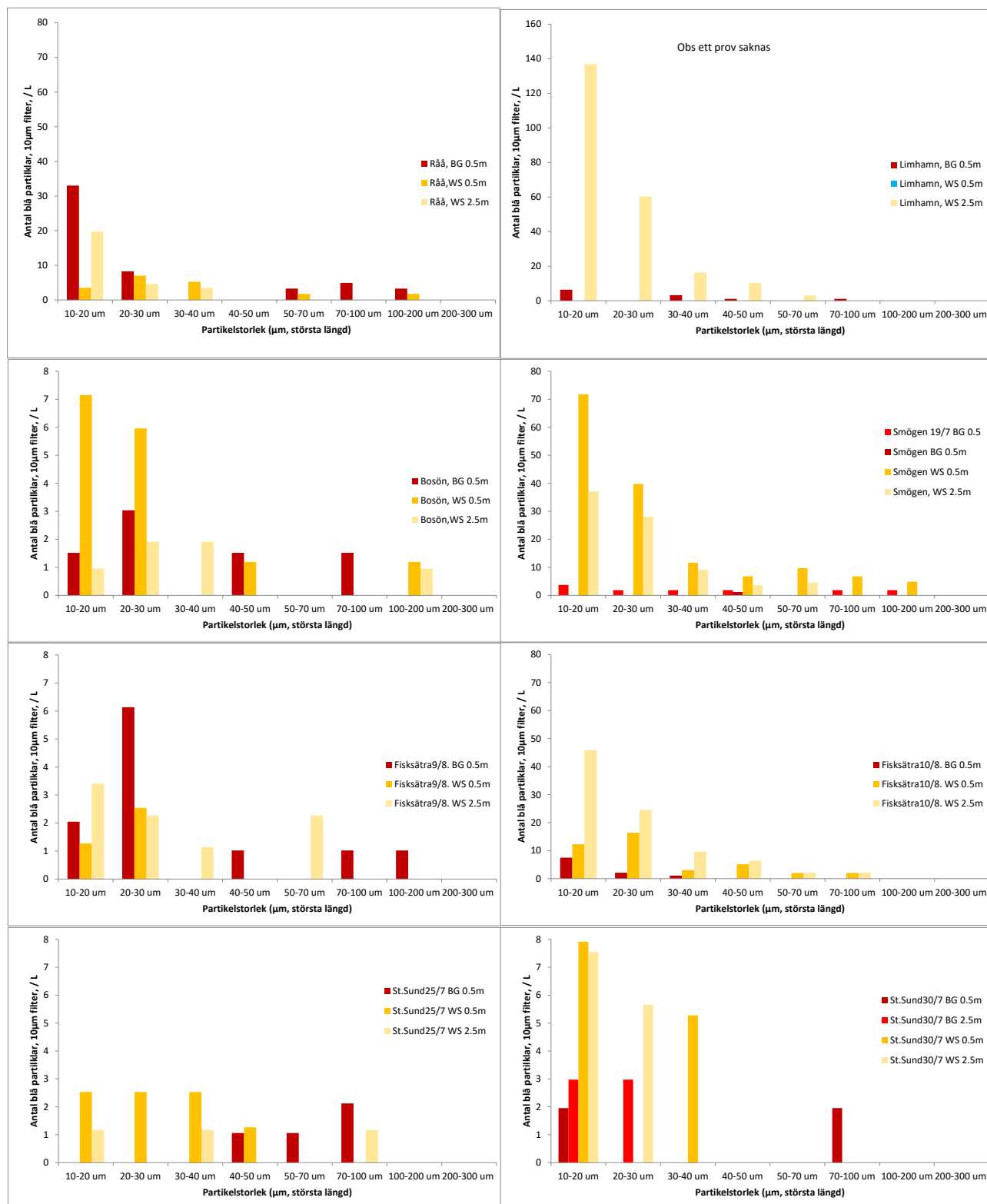


Figur A2. Foto på två färgflagor som fragmenterat till nanoplastpartiklar under  $10\mu\text{m}$  filtreringen. Detta visar hur sköra en del färgpartiklar är.

Då samtliga partiklars storlek har uppmätts så redovisas storleksfördelningen av röda respektive blå mikropartiklar >10µm nedan (Fig A3 resp A4). Det är tydligt hur antalet partiklar i varje storleksintervall ökar med minskande storlek, vilket tyder på att större färgflagor går sönder i mindre och/eller att det är fler mindre partiklar som borstas av än större i själva borststeget. Ju mindre partiklarna är desto längre tid kommer det att ta tills de sedimenterar.

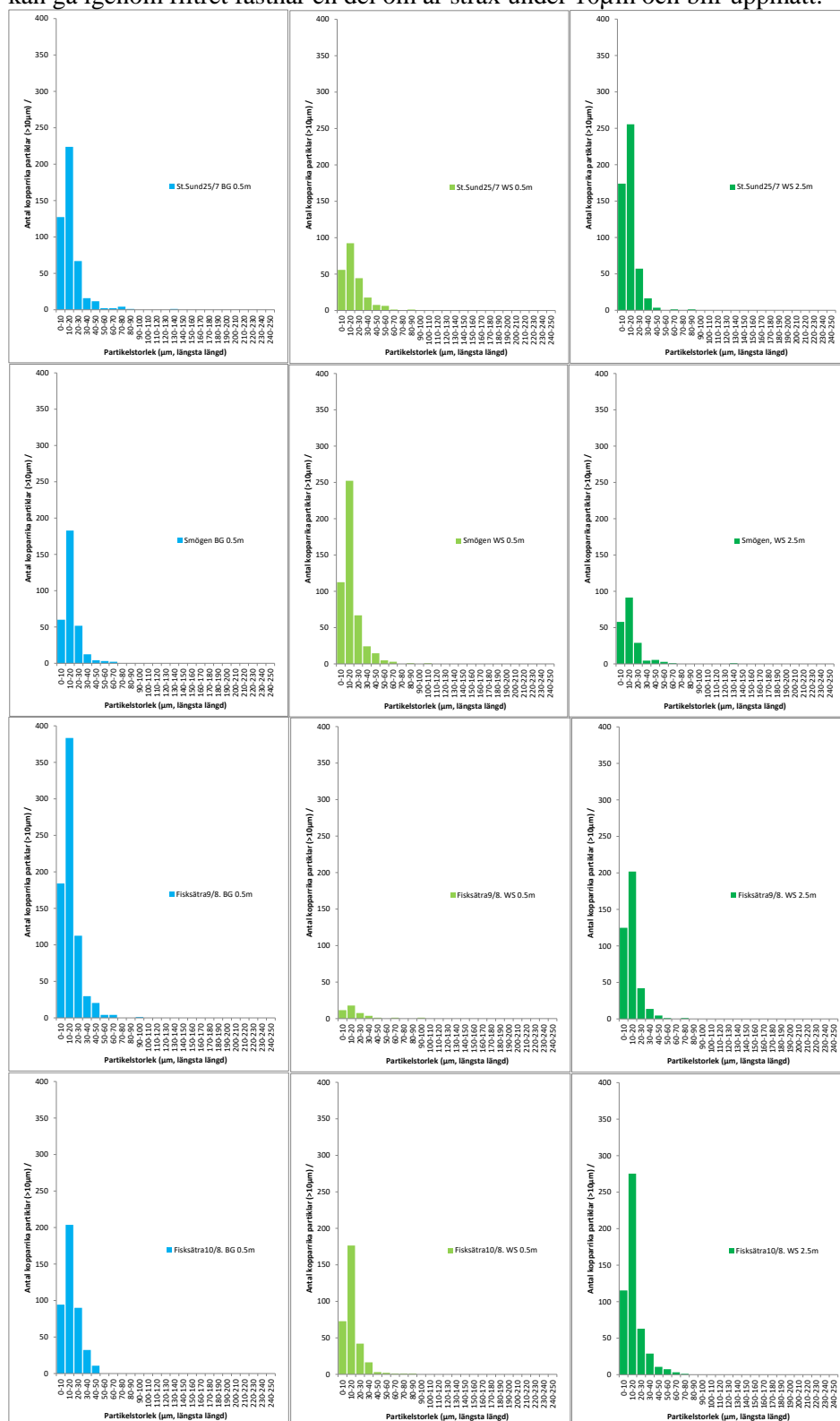


Figur A3. Här är de blå mikroskopiska partiklarna uppdelade i storleksfraktioner i de olika hamnarna och före (BG) och efter tvättaktivitet (WS).

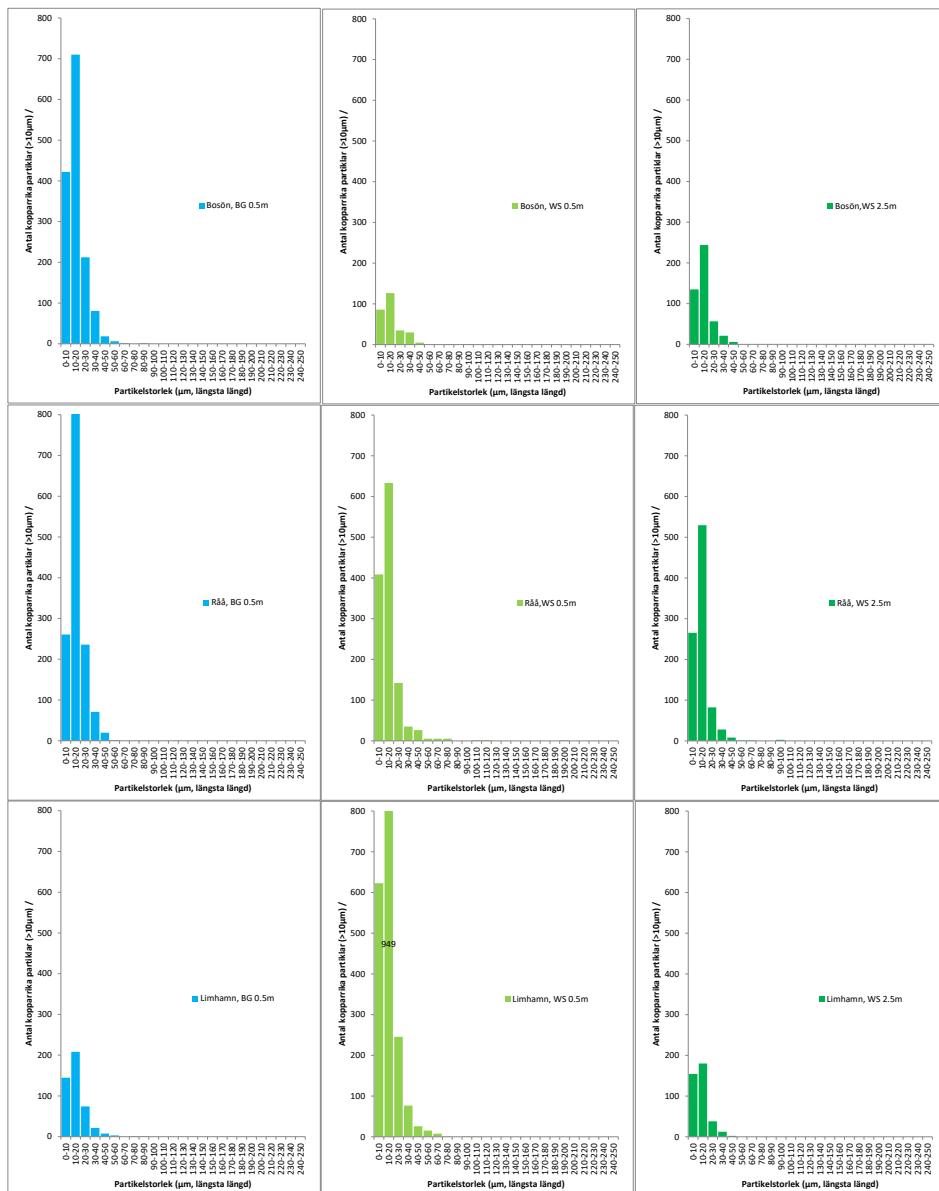


Figur A4. Här redovisas de röda mikroskopiska partiklarna uppdelade i storleksfraktioner i de olika hamnarna och före (BG) och efter tvättaktivitet (WS).

Storleksfördelning av kopparrika mikropartiklar >10 $\mu\text{m}$ . För SEM-EDS analysen är det ännu tydligare att halterna ökar för minskande storleksintervall, vilket återigen poängterar betydelsen av de små partiklarna som har större spridningspotential. Notera att för den minsta storleksintervallet 0-10 $\mu\text{m}$  i figurerna är det en minskning jämför med 10-20 $\mu\text{m}$  men det beror på att filtrets porstorlek är 10 $\mu\text{m}$  så även fast allt under 10 $\mu\text{m}$  kan gå igenom filtret fastnar en del om är strax under 10 $\mu\text{m}$  och blir uppmätt.



Figur A5. SEM-EDS uppmätta kopparrika partiklar fördelat för olika storleksintervall.



Figur A5. Storleksfördelning av kopparrika mikroskopiska partiklar i de olika hamnarna före och efter tvättaktivitet.