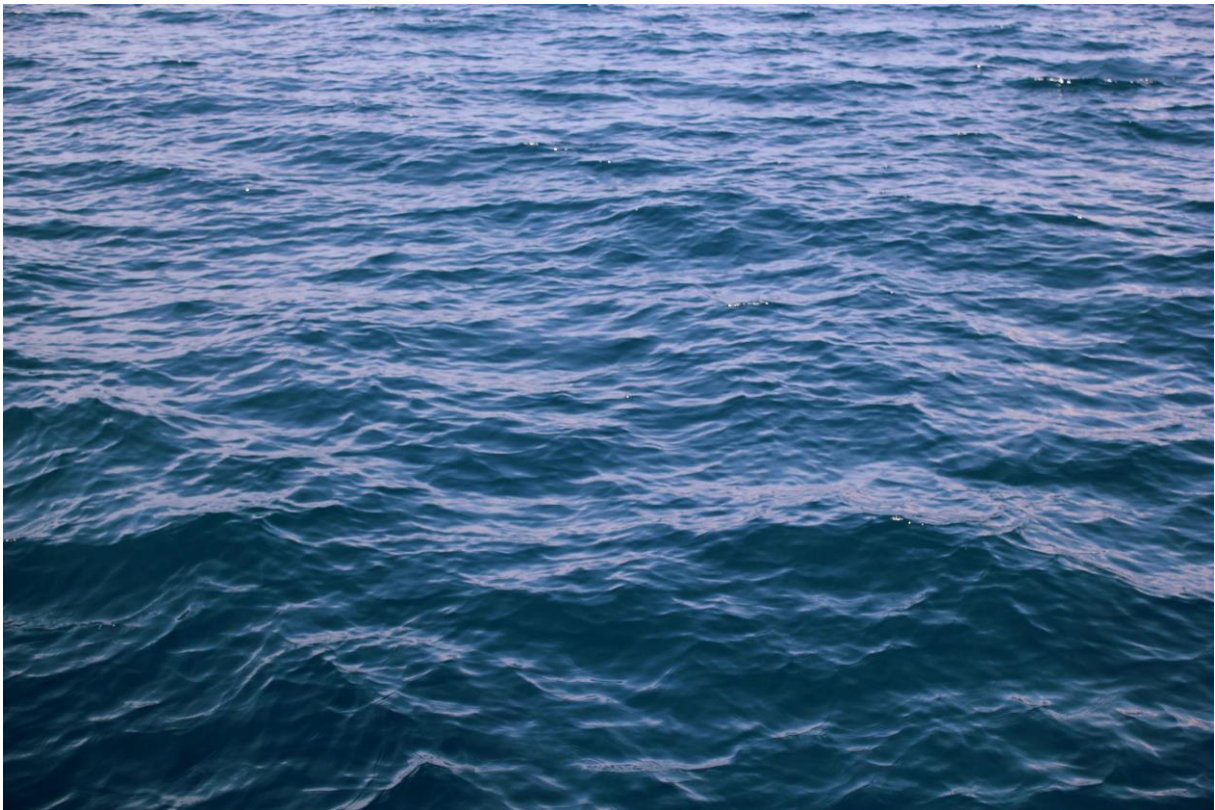


## Spridning av mikrokräp från fritidsbåtshamnar



Havs-och Vattenmyndigheten

Rapport

December 2018

Denna rapport har tagits fram inom DHI:s ledningsystem  
för kvalitet certifierat enligt ISO 9001 (kvalitetsledning) av Bureau Veritas

ISO 9001  
Management System Certification

BUREAU VERITAS  
Certification Denmark A/S



## Spridning av mikrokräp från fritidsbåtshamnar

Framtagen för           Havs-och Vattenmyndigheten  
Kontaktperson        Lisa Bredahl Nerdal



*Matthew Kosloski*

Projektledare	Sofia Hjalmarsson
Kvalitetsansvarig	Hanna Corell
Handläggare	Sofia Hjalmarsson och Hanna Corell
Uppdragsnummer	12803826
Godkänd datum	2018-12-18
Version	Slutgiltig 1.0
Klassificering	Öppen



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Syfte och metod .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Antaganden gjorda för studien .....</b>	<b>5</b>
4.1	Bakgrundshalter .....	5
4.2	De större partiklarnas densitet och sjunkhastighet .....	6
<b>5</b>	<b>Spridningsmodelleringen .....</b>	<b>8</b>
5.1	Modelldomän Råå, Helsingborg.....	9
5.2	Modelldomän Smögen .....	10
5.3	Modelldomän Stenungsund .....	11
5.4	Experimentuppställning för spridningsmodellering .....	12
5.4.1	Små partiklar, $D < 300 \mu\text{m}$ .....	12
5.4.2	Större partiklar $D > 300 \mu\text{m}$ .....	12
<b>6</b>	<b>Modellresultat från spridningen av mindre partiklar .....</b>	<b>14</b>
6.1	Modellresultat från Råå .....	14
6.2	Modellresultat från Smögen .....	16
6.3	Modellresultat från Stenungsund .....	17
<b>7</b>	<b>Modellresultat från spridningen av större partiklar .....</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Resultat och diskussion .....</b>	<b>20</b>
<b>9</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>21</b>

## FIGURER

Figur 5-1	Modelldomän för DHIs modell över Öresund. ....	9
Figur 5-2	Modelldomän för DHIs modell över vattnen runt Smögen. ....	10
Figur 5-3	Modelldomän för DHIs modell över Hakefjorden. ....	11
Figur 5-4	Positionerna för källorna till mikrokräp i modelleringen i A) Råå, B) Smögen och C) Stenungsund. Den röda pricken visar positionen för den modellerade källan till små partiklar och pilen visar positionen för båttvätten som används som källa till de större partiklarna i modelleringen. ....	12
Figur 6-1	Medelhalter av mikrokräp, $D < 300 \mu\text{m}$ , från Råå hamn under modellperioden, baserat på den uppmätta bakgrundshalten i hamnen på 1277 partiklar/liter (vänster) respektive 400 partiklar/liter (höger). Det vita området motsvarar genomsnittet för samtliga stationer vid mätningar längs Bohuskusten 2015. ....	14
Figur 6-2	Maximala halter av mikrokräp, $D < 300 \mu\text{m}$ , från Råå hamn som inträffat <i>någon gång</i> under modellperioden, baserat på en bakgrundshalt i hamnen på 1277 partiklar/liter (vänster) respektive 400 partiklar/liter (höger). ....	15
Figur 6-3	Medelhalter av mikrokräp, $D < 300 \mu\text{m}$ , från Smögens småbåtshamn under modellperioden, baserat på den uppmätta bakgrundshalten i hamnen på 200 partiklar/liter. Det vita området motsvarar mängden partiklar vid stationen Byttelocket vid mätningarna 2015. ....	16
Figur 6-4	Maximala halter av mikrokräp, $D < 300 \mu\text{m}$ , från Smögens småbåtshamn som inträffat <i>någon gång</i> under modellperioden, baserat på den uppmätta bakgrundshalten i hamnen på 200 partiklar/liter. ....	16
Figur 6-5	Medelhalter av mikrokräp, $D < 300 \mu\text{m}$ , från Steunungsunds småbåtshamn under modellperioden, baserat på den uppmätta bakgrundshalt i hamnen på 400 partiklar/liter. Det vita området motsvarar medelvärdet vid Stenungsund och Galterö vid mätningarna 2015. ....	17
Figur 6-6	Maximala halter av mikrokräp, $D < 300 \mu\text{m}$ , från Steunungsunds småbåtshamn som inträffat <i>någon gång</i> under modellperioden, baserat på den uppmätta bakgrundshalten i hamnen på 400 partiklar/liter. ....	18

## TABELLER

Tabell 4-1	De fallhastigheter vi använde i modellexperimenten med sedimenterande partiklar. ....	7
Tabell 7-1	Andelen av partiklarna som stannar inom 100 m från källan i de tre undersökta hamnarna. ....	19

## 1 Sammanfattning

DHI har modellerat spridning av mikrokräp från tre småbåtshamnar där provtagning utförts av Göteborgs universitet under sommaren 2017. Syftet var dels att titta på påverkansområdet för små partiklar ( $>10 \mu\text{m}$ ) som antas vara lösta i vattnet och sprids och späds baserat på hydrodynamiken i området. Det andra syftet var att titta på de större partiklarna ( $>300 \mu\text{m}$ ) för att se hur långt de når i förhållande till en källa inne i hamnen, källan kan vara en båtbottevätt eller annan aktivitet som rör upp mikrokräp från botten.

Resultaten från modelleringen av de små partiklarna visar att hamnens placering och utformning har betydelse för påverkansområdet, en sluten hamn ger ett mindre påverkansområde med högre halter medan en mer öppen hamn ger ett större påverkansområde men med lägre halter i medeltal.

Även för de större partiklarna som sedimenterar har hamnens placering en viss betydelse för resultaten. En simulering där storleksfraktioner för tre partiklar spreds, motsvarande en mindre mikrokräppartikel, en större mikrokräppartikel och en färgflaga kopparhaltig färg, visar att i en mer sluten hamn kommer 100 % av partiklarna sjunka till botten inom ca 100 m från källan, medan i en öppnare hamn, i detta fallet Stenungsunds hamn som är placerad i ett sund, kommer en liten andel, 4 %, av de mindre partiklarna nå längre än 100 m från källan. Det är dock ett tydligt resultat att den absolut största delen av de större partiklar sedimenterar i nära anslutning till källan. Det innebär att en aktivitet som sker inne i en hamn och leder till en mätbar ökning av större partiklar, t ex en båtborstvätt, inte kommer fungera som punktkälla till omgivande vatten.

## 2 Bakgrund

2015 fick Naturvårdsverket ett regeringsuppdrag där de skulle identifiera källor i Sverige till mikropartiklar av plast i havet. I rapporten *Mikroplaster -Redovisning av regeringsuppdrag om källor till mikroplaster och förslag på åtgärder för minskade utsläpp i Sverige* var en utpekad åtgärd att mäta plastpartiklar vid båtbottevätt. Syftet med undersökningen var att få kunskapsunderlag för att utvärdera bästa möjliga teknik vid båtbottevätt av fritidsbåtar, och vid behov kunna planera mer omfattande provtagningar.

2017 genomfördes på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten mätningar av mikrokräp vid ett par båtbottevättar, se /1/, och det är resultaten från dessa mätningar som DHI fick i uppdrag att modellera för att titta på påverkansområdet vid ett par olika scenarion.

I uppdraget har inte ingått att ta fram och ställa upp nya modellområden, utan förutsättningen för modelleringen var att DHI skulle använda redan framtagna modeller, med modellår där hydrodynamiken i området redan beräknats genom tidigare modellkörningar. Av de hamnar som provtogs i mätstudien hade DHI modeller för Råå, Stenungsund och Smögen vilket är anledningen till att det är de hamnar som ingår i denna rapport. De tre hamnarna visade sig dock utgöra ett bra underlag för uppdraget då placering och utformning av hamnarna skiljer sig åt.

### 3 Syfte och metod

När resultaten från mätningarna i hamnar med borsttvätt sammanställts och levererats till HaV tog DHI och HaV fram en uppdragsbeskrivning för modellstudien. Det finns två syften med studien, det första är att titta på storskalig spridning från småbåtshamnarna av det mikrokräp som kan antas spridas som lösta ämnen. Detta för att övergripande kunna jämföra påverkansområden från ett par småhamnar med olika geografisk placering. Det andra syftet är att med modellen utvärdera hur långt de partiklarna som antas sedimentera når.

I den uppdragsredovisning som lämnats till HaV från Göteborgs universitet (vidare refererad till som GU-rapporten) var resultatet indelat i två storleksklasser baserat på storleken på filter, 300  $\mu\text{m}$  och 10  $\mu\text{m}$ . Vi har i denna studie använt oss av resultaten från mantatrålproven, dvs blå, röda och bruna partiklar > 300  $\mu\text{m}$  samt koppar-rika partiklar >10  $\mu\text{m}$ .

I GU-rapportens slutsats noteras sammanfattningsvis att det förekommer färgflagepartiklar och metallbiocid-rika partiklar i samtliga hamnar och att borsttvättar kan bidra ytterligare, om det borstas på målade båtar.

Med avstamp i detta beslutade DHI och HaV att titta på följande scenarion:

#### 1. Spridning av små (>10 $\mu\text{m}$ ) partiklar från en småbåtshamn

Modellering av spridning och spädning av den uppmätta bakgrundshalten 2017 för partiklar >10  $\mu\text{m}$  inne i hamnarna Råå, Smögen och Stenungsund. Bakgrundshalten utgörs av de prover som togs innan tvätt och är enligt rapporten från Göteborgs universitet den kumulativa halten i hamnen från andra källor. Syftet är att titta på hur stort påverkansområde de olika hamnarna har. Att hamnen har en påverkan bekräftas av att de bakgrundshalter som mättes i hamnarna 2017 är högre än den halt som uppmättes vid provtagning längs med Bohuskusten 2015 och som troligen omfattar fler typer av mikrokräp.

#### 2. Sedimentering och spridning av större (>300 $\mu\text{m}$ ) partiklar inom och från ett hamnområde.

Modellering av spridning och sedimentation/resuspension av de större partiklarna, dvs >300  $\mu\text{m}$ , som till viss del återfinns i förhöjda halter efter tvätt. Mätningarna 2017 visar att bakgrundshalten innan tvätt ligger nära de bakgrundshalter som uppmättes vid Bohuskustens vattenvårdsförbunds (BVVF) mätstationer 2015. Det borde innebära att de större partiklarna som uppkommer i en fritidsbåtshamn sedimenterar i närområdet.



## 4 Antaganden gjorda för studien

Trots att det under de senaste åren kommit många studier om mikrokräp och mikroplaster saknas ofta fastslagna definitioner och mätmetoder vilket gör att resultaten är svåra att jämföra. Vi har därmed behövt göra en rad antaganden för att kunna sätta upp en modell för spridningen av mikrokräp. Vi har tyvärr inte heller av utföraren fått tillgång till de siffror som presenteras i GU-rapporten utan har fått göra avläsningar och uppskattningar ur diagram och figurer i rapporten vilket även det ger en felmarginal.

### 4.1 Bakgrundshalter

För att på bästa sätt genomföra och utvärdera en spridningsmodellering är det bra att veta bakgrundshalten av det du ska sprida. Eftersom man normalt modellerar utan någon bakgrundshalt behöver man som första steg kunna utvärdera om hamnen har en överkoncentration relativt omgivningen. Överkoncentrationen är den förhöjda halten som hamnarna har i relation till en diffus bakgrundshalt. Att veta en bakgrundshalt är också viktigt för att bestämma vid vilken halt resultaten från en spridningsmodellering inte längre är relevanta att redovisa.

2015 provtogs halter av mikrokräp vid Bohuskustens vattenvårdsförbunds stationer längs med västkusten, se /2/. Dessa mätningar utfördes inte med samma metod och kan därmed ha en annan definition av mikrokräp än GU-rapporten som vår modellstudie bygger på. Trots detta, i avsaknad av annan data, har vi valt att använda halterna från 2015 som bakgrundshalter för att beräkna överkoncentrationen av partiklar inne i hamnarna. Även författarna till GU-rapporten har valt att använda tidigare mätningar från Bohuskusten 2014 som jämförelse åt sina mätningar 2017.

I mätningarna längs Bohuskusten definieras mikroskopiskt skräp enligt EU:s havsmiljödirektiv (2008/56/EC). Där räknas alla mikroskopiska partiklar av mänskligt ursprung (dvs. antropogena), med vissa speciella undantag, som skräp.

För de större partiklarna ( $> 300 \mu\text{m}$ ) har vi från mätningarna längs Bohuskusten valt att referera till de halter som är provtagna med mantatrål som benämns som "mikrokräp på  $300 \mu\text{m}$  filter - ytvatten, halten plastpartiklar (med andra former än fibrer)". Denna halt ansåg vi vara den som är mest jämförbar med de mätningar som gjordes i fritidsbåtshamnarna 2017. I GU-rapporten från provtagningen i hamnarna 2017 har man sorterat partiklarna efter färg vilket inte gjordes vid mätningarna längs Bohuskusten. Vi har därför i modelleringen slagit ihop halterna för de olika färgerna från mätningarna 2017.

De mindre partiklarna ( $> 10 \mu\text{m}$ ) delade man vid provtagningen längs Bohuskusten upp i olika färger. Kemiska analyser visade dock att flertalet av de röda partiklarna bestod av järnoxider; dvs ej nödvändigtvis dominerat av partiklar från båtottenfärg som tidigare antagits. Endast en mindre andel röda partiklar tros härröra från polymert ursprung. Därmed har röda partiklar i rapporten från 2015 inte räknats in i samlingsbegreppet mikrokräp. Då de svarta partiklarna ofta till stor del består av förbränningspartiklar har författarna till rapporten även uteslutit dessa i summeringen. Även en infraröd spektroskopisk analys av 30 partiklar från  $10 \mu\text{m}$  filtret gjordes vid mätningarna 2015. Ett begränsat antal (7) av de 30-tal partiklarna som analyserades, gav ett spektrum som kunde matchas till kända material. Av dessa hade 5 likheter med alkydharts (vilket enligt rapporten från 2015 representerar färg eftersom alkydharts ingår i färgflagor).

Då båtottenfärg på västkusten får innehålla koppar har man vid mätningarna 2017 analyserat om partiklarna innehåller koppar och sedan låtit detta motsvara en tänkbar halt partiklar från båtottenfärg.

Eftersom denna analys inte gjordes vid mätningarna längs Bohuskusten 2015 har vi valt att räkna om halterna från mätstationerna längs Bohuskusten utifrån resultatet av den

spektroskopiska analysen, som gav att 5 av 7 partiklar av identifierade material hade likheter med alkydharts (färgflaga) /2/, för att få en bakgrundshalt för modelleringen som kan antas motsvara endast färg. Då man vid mätningarna 2015 inte specifikt avser båtbottnfärg är detta troligtvis en överskattning. Dock är även antalet analyserade partiklar så litet att osäkerheten i siffran är väldigt hög vilket gör att vår framräknade bakgrundshalt endast kan ses som en grov uppskattning.

## 4.2 De större partiklarnas densitet och sjunkhastighet

För att genomföra del 2 av modelleringen, dvs titta på var de större partiklarna sedimenterar behöver partiklarna även ha en fallhastighet.

Ett vanligt och vedertaget sätt att uppskatta små partiklars fallhastighet är att använda Stokes lag, vilken räknar ut fallhastigheten i ett laminärt flöde för en sfärisk partikel. Man approximerar då partikels storlek som vore den en sfär med samma volym, och beroende på densiteten för partikeln och viskositeten på vattnet får man fram en ungefärlig fallhastighet. Problemet är att för en lätt partikel som inte alls liknar en sfär blir fallhastigheten överskattad, dvs den sfäriska partikeln faller till botten fortare än den riktiga mer flagiga partikeln gör. I ett modellerings-scenario innebär det att spridningsdistanserna blir underskattade eftersom partiklarna sedimenterar för fort. För små, flagiga partiklar finns inga enkla samband mellan storlek, densitet och fallhastighet att räkna fram. Vi letade därför i stället efter experimentella fallhastigheter i publicerade studier av laboratorieförsök med mikroskräp.

Av de experimentella fallhastigheter för mikroskräp som vi kunde hitta valde vi att använda data från experiment med tunn fiskelina i små bitar, uppdelat i fraktioner efter storlek, /3/. Vi använde oss av två storlekar av flagor, samt en fallhastighet för en tyngre, kopparhaltig färgflaga. Initialt var tanken att sprida enbart partiklar större än 300  $\mu\text{m}$ , men för att få större variation bland de fallhastigheter vi testade i modellen så valde vi värden för två partiklar med en diameter på 150  $\mu\text{m}$  respektive 300  $\mu\text{m}$ , med förhållandevis låg densitet, Tabell 4-1.

För den kopparhaltiga färgflagan beräknade vi densiteten på en färgflaga som antogs ha en diameter på 200  $\mu\text{m}$  och bestå av 4 lager färg av en av de mest sålda båtbottnfärgerna innehållande koppar. Med information från färgens produktblad om densiteten för våt färg och hur mycket vikten minskar när lösningsmedlet dunstat och färgen torkat, räknade vi fram att densiteten för torr båtbottnfärg av detta märke är 2,77  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Eftersom inte heller denna partikels fallhastighet approximeras bra med Stokes lag använde vi en framräknad hastighet baserat på ett empiriskt samband mellan diameter och densitet för "partiklar med dynamiska egenskaper liknande plast", /4/. Högsta densitet som fanns listad var 2,65  $\text{g}/\text{cm}^3$ , vilket vi då valde att representera de 2,77  $\text{g}/\text{cm}^3$  vi beräknade att torr bottenfärg vägde. Trots att vi använder ett tabellvärde för en lägre densitet än den vi räknat fram blir själva fallhastigheten nära 10 gånger den för den mindre av partiklarna.

Det var i GU-rapporten inte redovisat hur de större partiklarna fördelade sig i storlek, men utifrån de exempelbilder på partiklar som presenterades i GU-rapporten har vi gjort en grov uppskattning av storleksfördelning enligt följande: 60 % av partiklarna är mellan 300 och 500  $\mu\text{m}$  och 40 % av partiklarna är större än 500  $\mu\text{m}$  (i bilderna var de största partiklarna runt 1000  $\mu\text{m}$ ). Eftersom vi inte har något direkt sätt att översätta storlek till fallhastighet valde vi att släppa lika stor andel av de tre fallhastighets-fraktionerna, dvs 33% av varje fraktion.

Tabell 4-1 De fallhastigheter vi använde i modellexperimenten med sedimenterande partiklar.

Diameter / storlek	Kommentar	Densitet [g/cm <sup>3</sup> ]	Fallhastighet [mm/s]	Referens
150 µm	Baserat på experiment med bit av fiskelina	Ca 1,13–1,15	6,7	Khatamullina 2017, tabell 2, /3/
300 µm	Baserat på experiment med bit av fiskelina	Ca 1,13–1,15	13,2	Khatamullina 2017, tabell 2, /3/
200 µm <sup>2</sup>	Baserat på uträkning av vikt på en färgflaga med 4 lager färg	2,77 beräknad, tabellvärde för 2,65	70	Chubarenko 2016, figur 5, /4/

## 5 Spridningsmodelleringen

För att undersöka spridningen av mikrokräp från småbåtshamnar har vi använt oss av tre hydrodynamiska modelluppställningar som vi hade sedan tidigare. Av de hamnar som provtagits i mätstudien hade vi modeller uppsatta för Råå i Helsingborg, Stenungssund och Smögen.

Modellerna är byggda i MIKE3 FM, en programvara för hydrodynamisk modellering i tre dimensioner, utvecklad av DHI för beräkning av strömning och transport i vatten. Beteckningen FM står för *Flexible Mesh*, vilket betyder att modelleringssystemet använder ett flexibelt beräkningsnät som kan anpassas till detaljer i strandlinjen, konstruktioner, m.m. Beräkningsnätets upplösning kan varieras så att områden av särskilt intresse kan beskrivas med hög noggrannhet. I varje element beräknas strömmarna till riktning och styrka, densiteten, den turbulenta blandningen, även halter av lösta ämnen och andra parametrar kan modelleras.

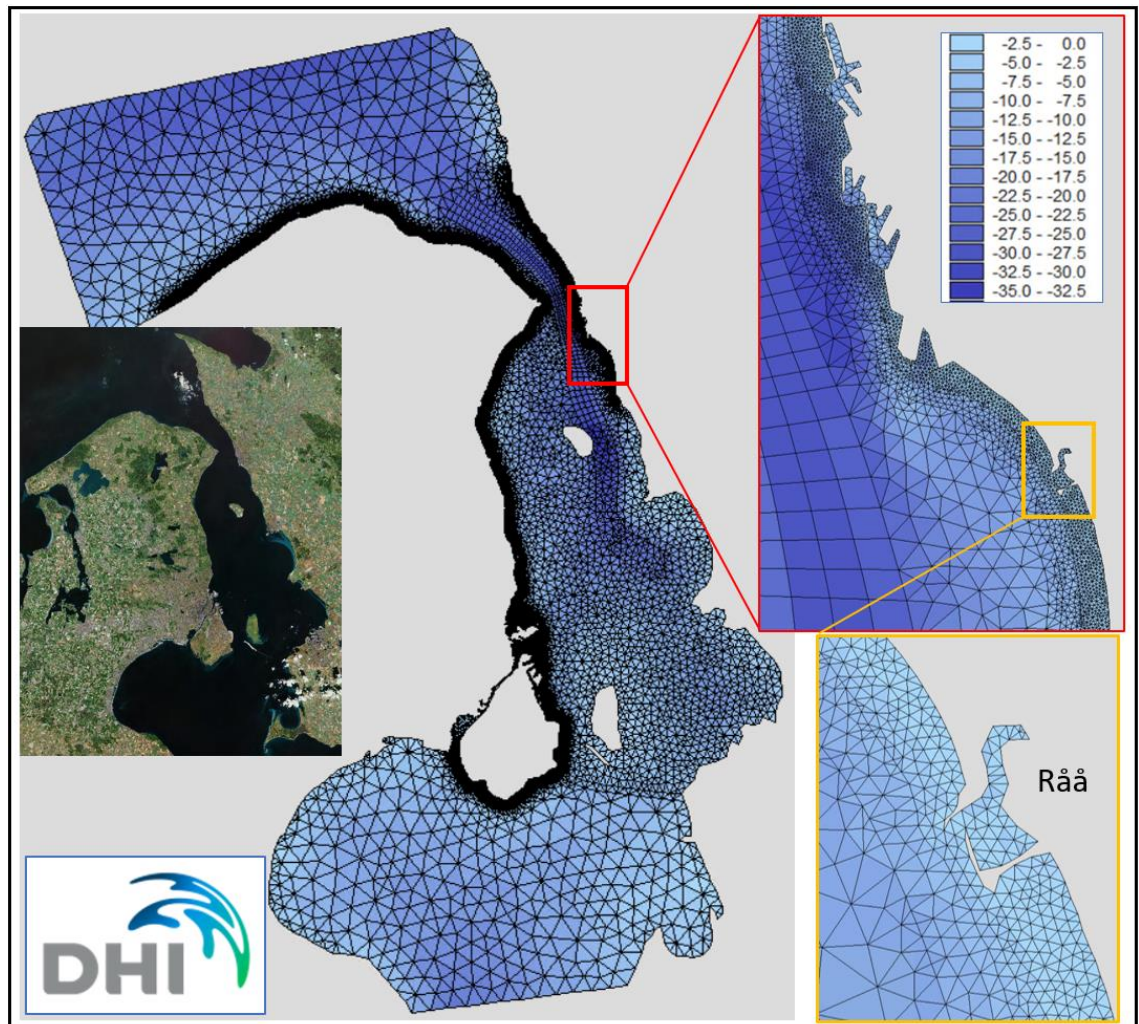
MIKE 3 FM består av flera delmoduler. Den grundläggande modulen är den som beräknar de hydrodynamiska processerna, d v s hur vattnet rör sig utifrån de drivande krafterna. Denna modul bygger på välkända hydrodynamiska ekvationer som löses så exakt som beräkningsnätets upplösning, noggrannheten i de drivande krafterna och andra in-data tillåter. De viktigaste processerna är:

- Transport av salt och värme
- Drivning på grund av variationer i densitet
- Bottenfriktion
- Vindens drivning på ytan
- Drivning på grund av vattenståndsvariationer
- Tillflöden och utsläpp från land
- Värmeutbyte med atmosfären
- Turbulens
- Corioliseffekten

För att kunna modellera spridningen av mikrokräp har två ytterligare beräkningsmoduler använts. En som räknar på spridning och spädning av spårämnen, i det här fallet de minsta partiklarna, och en modul som beräknar spridning, sedimentation och resuspension av större partiklar som sjunker.

## 5.1 Modelldomän Råå, Helsingborg

Modelluppställningen där Råå småbåtshamn i Helsingborg ingår är DHIs operationella modell över Öresund, som bland annat används för att ta fram badvattenprognoser för danska kusten och Helsingborg, Figur 5-1. Eftersom modellen är operationell hade vi möjlighet att använda år 2017 som modellår för spridning från hamnen.

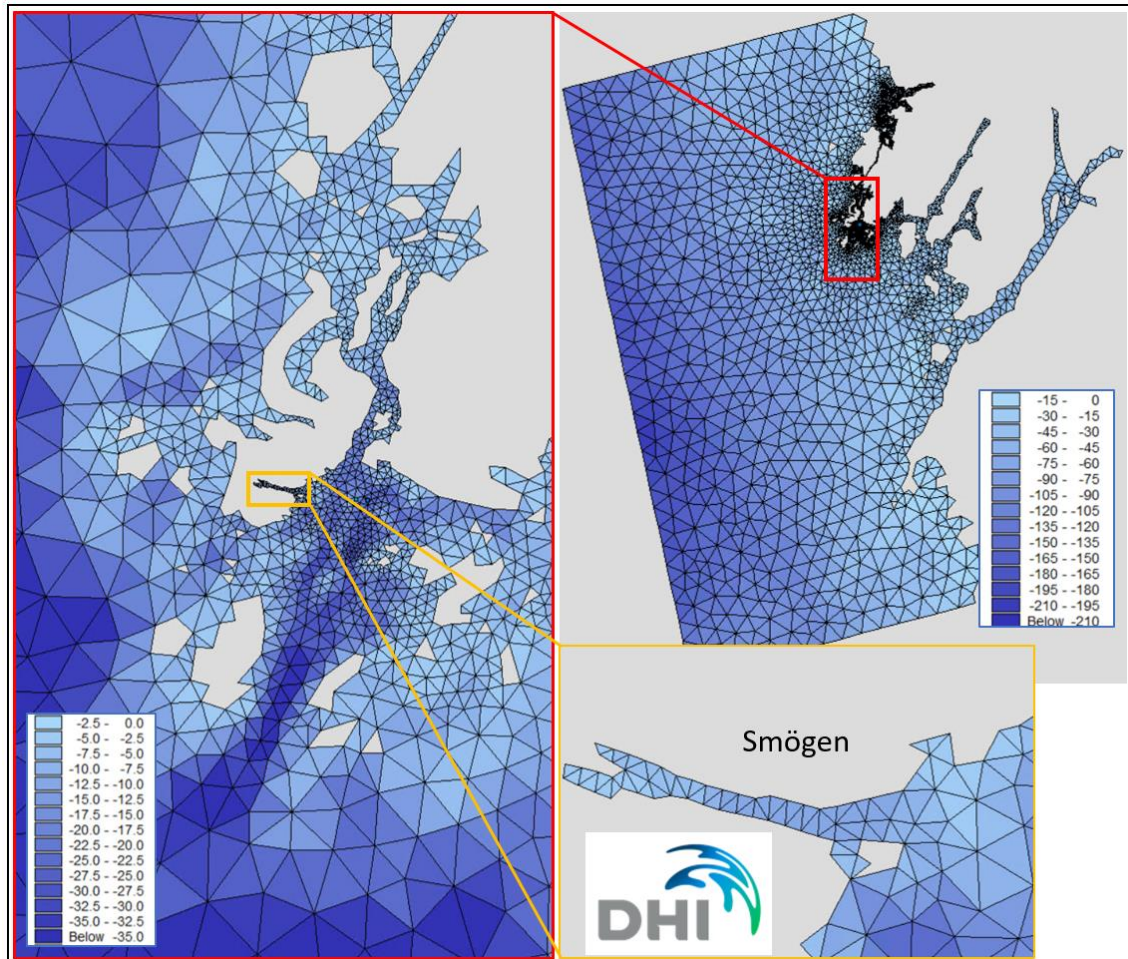


Figur 5-1 Modelldomän för DHIs modell över Öresund.



## 5.2 Modelldomän Smögen

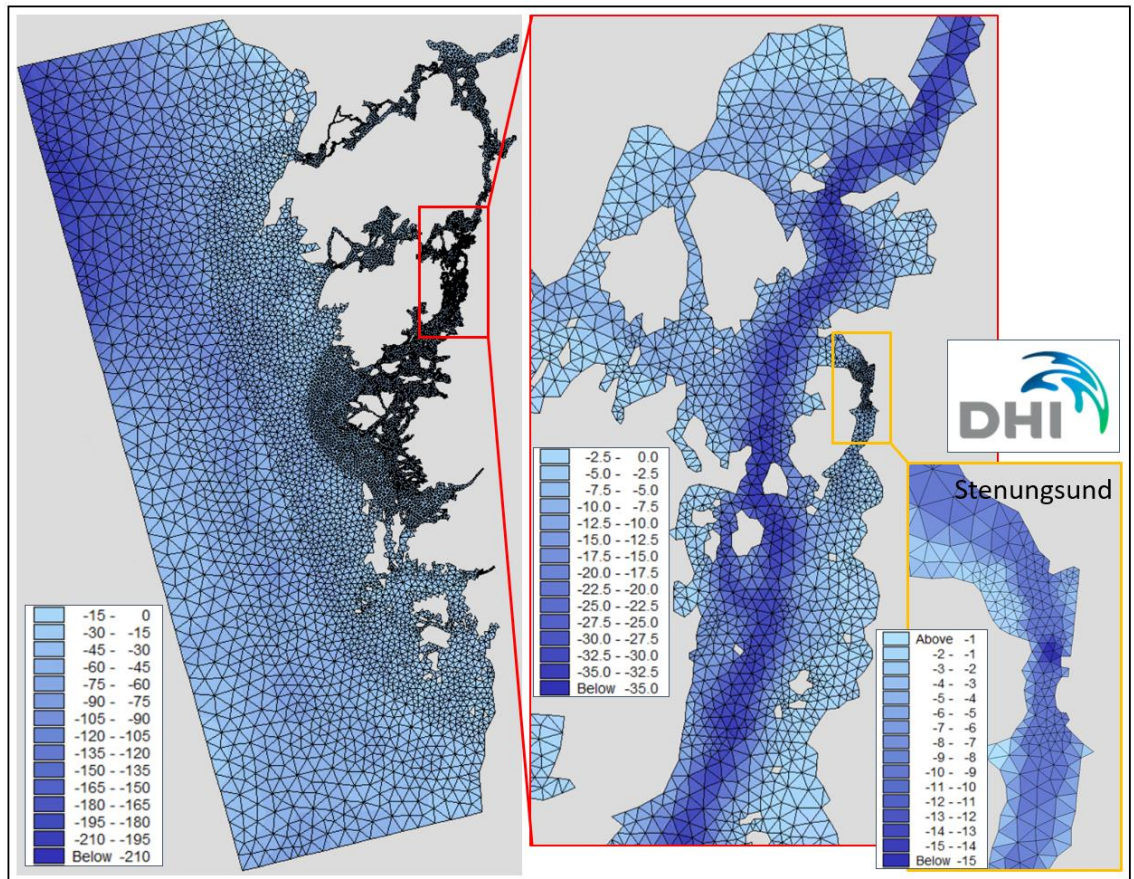
Modelluppställningen där Smögens småbåtshamn ingår ställdes upp för en utredning inför en miljöprövningsansökan av en verksamhet i Smögen. Modellen är i sig en version av DHIs modell över Gullmarsfjorden, men här har upplösningen sänkts i Gullmarsfjorden och i stället höjts för vattnen runt Smögen och Kungshamn. År 2010 har använts som modellår för spridning från hamnen.



Figur 5-2 Modelldomän för DHIs modell över vattnen runt Smögen.

### 5.3 Modelldomän Stenungsund

För modelleringen av mikrokräp från hamnen i Stenungsund har DHIs modelluppställning över Hakefjorden använts. Modellen är byggd åt Göteborgs universitet för att generera hydrodynamiska data för att modellera spridning av marina organismer samt inom forskningsprojekt om spridning av ålgräs och möjligheten för restaurering av ålgräsängar. År 2015 har använts som modellår för spridning från hamnen.



Figur 5-3 Modelldomän för DHIs modell över Hakefjorden.



## 5.4 Experimentuppställning för spridningsmodellering

Modelleringen av spridning av mikrokräp gjordes på två sätt, med och utan sedimentation av partiklarna. Modellperioden var 1 juli till 31 augusti för de olika år som vi hade tillgängliga för de olika modellområdena (se kap. 5.1 - 5.3).



Figur 5-4 Positionerna för källorna till mikrokräp i modelleringen i A) Råå, B) Smögen och C) Stenungsund. Den röda pricken visar positionen för den modellerade källan till små partiklar och pilen visar positionen för båttvätten som används som källa till de större partiklarna i modelleringen.

### 5.4.1 Små partiklar, $D < 300 \mu\text{m}$

De minsta partiklarna modellerades som ett passivt ämne som sprids och späds i vattenmassan, men inte sjunker. Som källposition valdes en punktkälla som skulle representera småbåtshamnens volym så bra som möjligt.

Eftersom vi använder oss av de i GU-rapporten uppmätta bakgrundshalterna i hamnarna, och det inte finns en fix källa med ett känt flöde av partiklar, så justerade vi det modellerade källflödet tills vi fick en situation där medelhalten inne i hamnen under den modellerade perioden motsvarade de uppmätta värdena. Vi har alltså genom simuleringar itererat fram hur stor mängd partiklar som sprids från en teoretisk punktkälla för att den ska motsvara halten i den diffusa källan som hela hamnen utgör. Resultaten är därmed inte menade att tolkas som ett exakt svar på hur långt partiklar från en viss hamn når eller exakt hur många partiklar från hamnen som finns i vattnet vid en specifik punkt. Modelleringens syfte är att ge en uppskattning av hur stort påverkansområdet från en småbåtshamn kan vara och hur det varierar beroende på hamnarnas olika storlek och placering. Skalorna i resultatfigurerna är satta efter de uppmätta halterna i hamnen och halten från närmsta mätstation vid mätningarna längs Bohuskusten 2015, se avsnitt 4.1.

### 5.4.2 Större partiklar $D > 300 \mu\text{m}$

De större partiklarna modellerades som ett antal fraktioner av partiklar med olika storlek och tyngd, och därmed olika sjunkhastighet. Partiklarna sjunker långsamt mot botten medan de transporteras iväg av strömmarna i vattnet. När de sedimenterar på botten resuspenderar de och transporteras vidare när/om strömstyrkan vid botten blir tillräckligt stor för att virvla upp partiklarna i vattenpelaren igen.



Modelleringen ställdes upp att motsvara en båttvätt var annan dag under perioden 1 juli till 23 augusti, och sedan ytterligare en veckas modellering utan nytillförsel av partiklar, så att även de senast deponerade partiklarna hade en chans att resuspendera och driva vidare. Totalt modellerades alltså samma period som för de mindre partiklarna, 1 juli till 31 augusti. Det finns inte några tydliga data på hur mycket partiklar som lossnar vid en båttvätt, resultaten från GU-rapporten visade inget entydigt mönster på att halten konsekvent ökade efter tvätt. Dessutom fanns det borsttvättar som inte fungerade tillfredställande vid mätningstillfället vilket orsakar ett par rejält förhöjda värden. Även halterna av dessa partiklar var väldigt låga (runt 1-2 partiklar per kubikmeter) vilket gör att osäkerheten ökar eftersom dataunderlaget blir så litet. För att få större statistisk säkerhet på hur långt en mikroskräppartikel kommer sprid vi istället en stor, högst orimlig mängd partiklar per tvätt i modelleringen för att få många partiklar i omlopp och därmed möjliggöra för så mycket potentiell spridning som det bara gick och kunna undersöka vart merparten av partiklarna tar vägen, själva spridningsmönstret. Resultatet blir att man ser på hur långt en partikel kommer och vart de tar vägen, men inte vilken mängd det kommer bli på botten där de hamnar.

Som startpunkter för modelleringen användes positionerna för båttvättarna i de olika hamnarna, Figur 5-4. De tre olika fraktioner av partiklar som släpptes motsvarar

- en lättare mikroskräppartikel, sjunkhastighet 6,7 mm/s
- en tyngre mikroskräppartikel, sjunkhastighet 13,2 mm/s
- kopparhaltig färgflaga, sjunkhastighet 70 mm/s

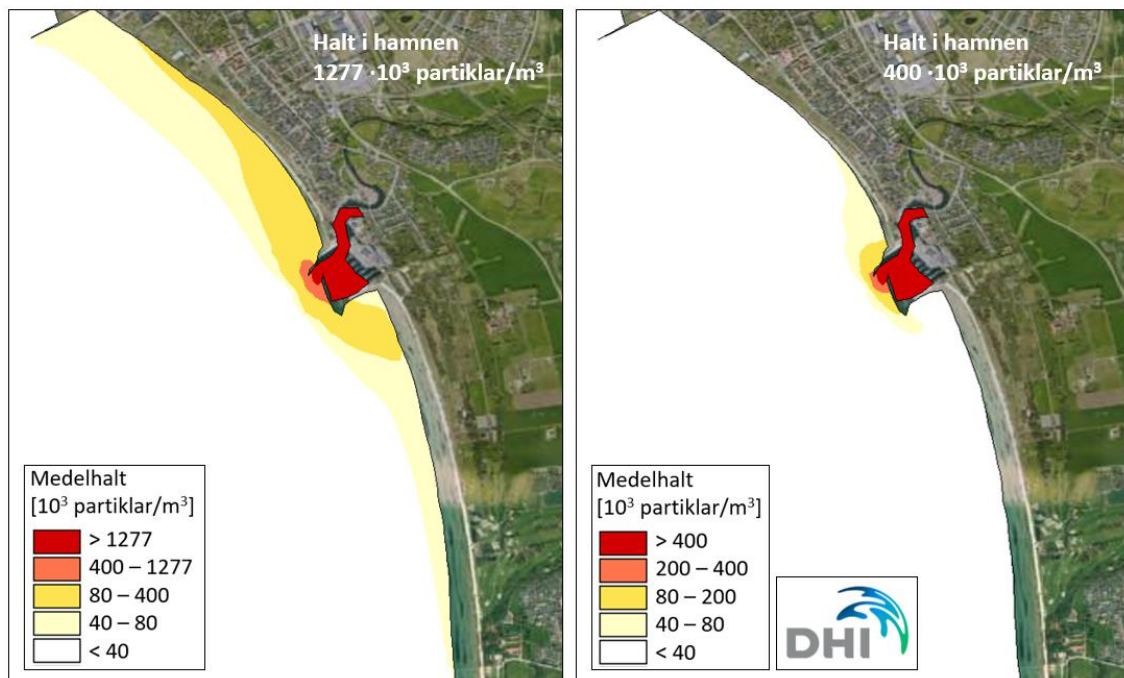
För uträkning och resonemang om fallhastigheterna se kap. 4.2.

## 6 Modellresultat från spridningen av mindre partiklar

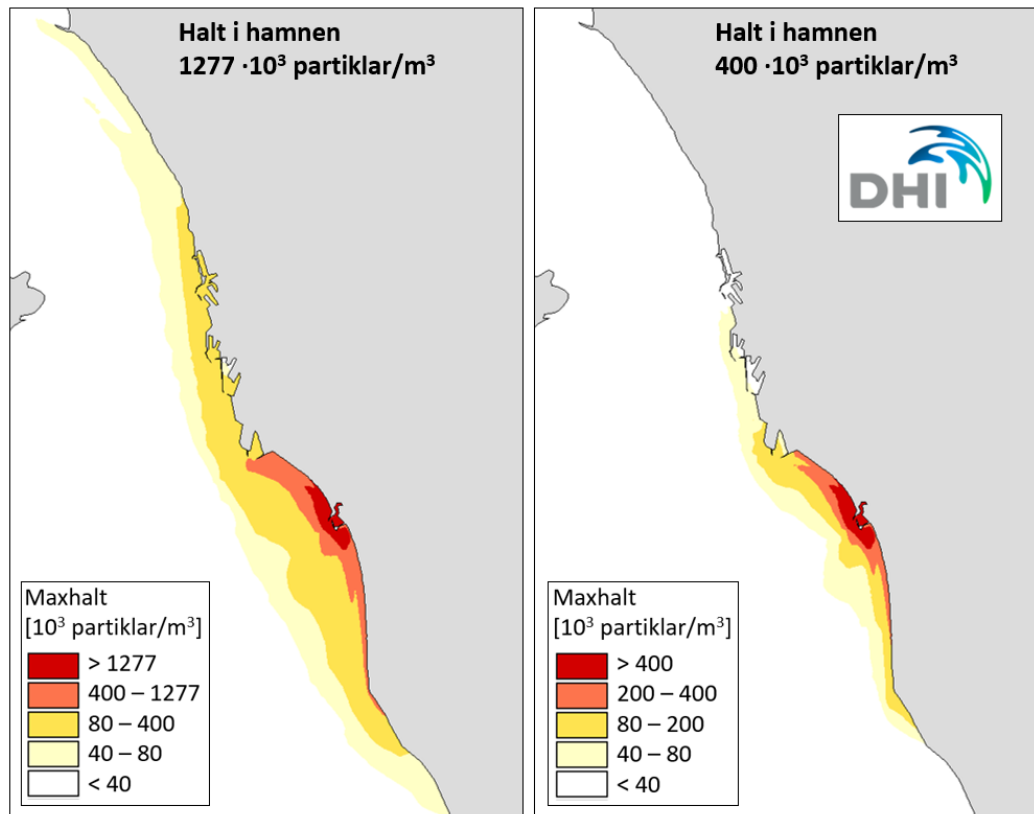
### 6.1 Modellresultat från Råå

I Råå är hamnen väldigt sluten gentemot det omgivande vattnet, och bakgrundshalten inne i hamnen av små partiklar är hög, mycket högre än i de övriga hamnarna. Det finns en gemensam öppning för insegling till hamnen som ligger placerad i åns mynning, och en liten öppning på södra kanten av småbåtshamnen, denna är dock inte upplöst i den hydrodynamiska modellen på grund av sin ringa storlek. Vi valde att förlägga källan för spridningen precis i öppningen till ån, se Figur 5-4 A. Den uppmätta halten i hamnen i Råå motsvarar 1277 partiklar per liter. Eftersom detta är ett mycket högre värde än i de andra hamnarna, och en stor del av detta eventuellt kommer från ån och inte hamnen, så spreds också halten 400 partiklar per liter, vilket motsvarar ett uppskattat medel för samtliga uppmätta halter i hamnarna som redovisas i GU-rapporten. Detta eftersom mätningarna längs Bohuskusten /2/ visar att det genom åren varit högst halter vid stationer som påverkas av Göta Älv och även Nordre Älv och det går därmed inte att utesluta att Råå har en inverkan på den höga halten i hamnen. Bakgrundshalten av partiklar i den här storleken i vattnen runt Råå är satt till 40 partiklar per liter vilket ungefär motsvarar genomsnittet på 38 partiklar per liter för samtliga stationer på Bohuskusten /2/ .

Resultaten för Råå visas i Figur 6-1 och Figur 6-2. Halten i figurerna visar koncentrationen av partiklar som har sitt ursprung i hamnen, dvs överkoncentrationen av partiklar. Området med >40 partiklar/m<sup>3</sup> har alltså partikelhalter som överskrider den satta bakgrundshalten. Det innebär att totalhalten i vattnet kan vara högre beroende på vilka källor som påverkar bakgrundshalten.



Figur 6-1 Medelhalter av mikrokräp,  $D < 300 \mu\text{m}$ , från Råå hamn under modellperioden, baserat på den uppmätta bakgrundshalten i hamnen på 1277 partiklar/liter (vänster) respektive 400 partiklar/liter (höger). Det vita området motsvarar genomsnittet för samtliga stationer vid mätningar längs Bohuskusten 2015.



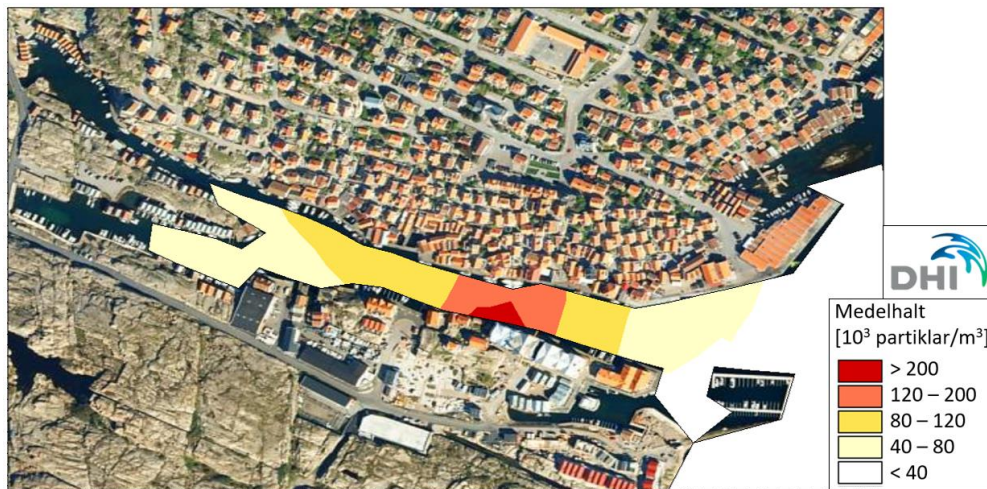
Figur 6-2 Maximala halter av mikrokräp,  $D < 300 \mu\text{m}$ , från Råå hamn som inträffat *någon gång* under modellperioden, baserat på en bakgrundshalt i hamnen på  $1277$  partiklar/liter (vänster) respektive  $400$  partiklar/liter (höger).

En högre halt i hamnen ger följaktligen ett större påverkansområde, vilket vi här har valt att definiera som det område där man har en halt som har sitt ursprung i hamnen som överskrider bakgrundshalten. Man ser även att partiklarna mestadels följer med vattnet från Råå norrut längs kusten, men att det förekommer andra spridningsmönster under perioden. Med en lägre halt, motsvarande en uppskattad medelhalt i en hamn blir påverkansområdet mindre. Det går inte att utesluta att halten i Råå hamn, som är högre än i de övriga hamnarna, är starkt påverkad av stadsmiljön.

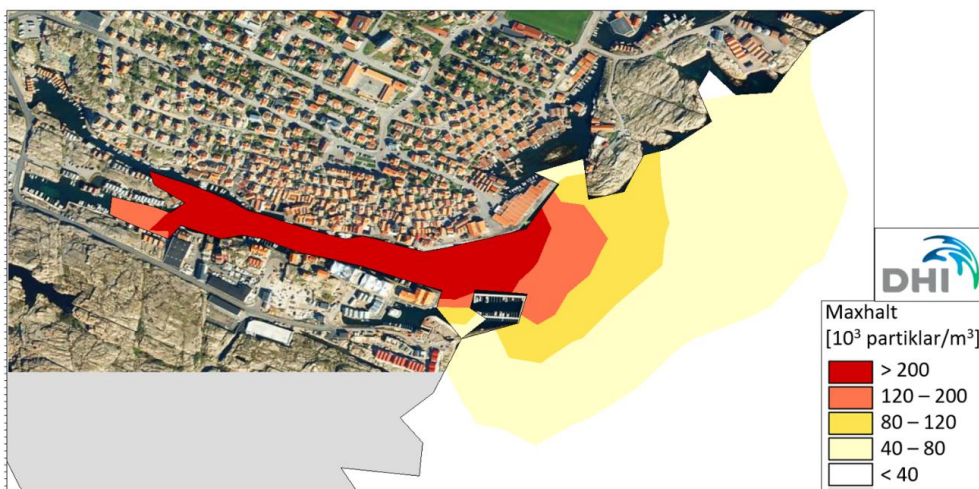
## 6.2 Modellresultat från Smögen

I Smögen valde vi att sätta källan för hamnen precis vid gästhamnen och positionen för båttvätten, se Figur 5-4B. Den uppmätta halten i hamnen, vilken sprids i modelleringen, motsvarar 200 partiklar per liter, och bakgrundshalten på 40 partiklar per liter motsvarar halten vid stationen Byttelocket vid mätningarna 2015 /2/ .

Resultaten för Smögen visas i Figur 6-3 och Figur 6-4. Halten i figurerna visar koncentrationen av partiklar som har sitt ursprung i hamnen, dvs överkoncentrationen av partiklar. Området med  $>40$  partiklar/m<sup>3</sup> har alltså partikelhalter som överskrider den satta bakgrundshalten. Det innebär att totalhalten i vattnet kan vara högre beroende på vilka källor som påverkar bakgrundshalten.



Figur 6-3 Medelhalter av mikrokräp,  $D < 300 \mu\text{m}$ , från Smögens småbåtshamn under modellperioden, baserat på den uppmätta bakgrundshalten i hamnen på 200 partiklar/liter. Det vita området motsvarar mängden partiklar vid stationen Byttelocket vid mätningarna 2015.



Figur 6-4 Maximala halter av mikrokräp,  $D < 300 \mu\text{m}$ , från Smögens småbåtshamn som inträffat *någon gång* under modellperioden, baserat på den uppmätta bakgrundshalten i hamnen på 200 partiklar/liter.

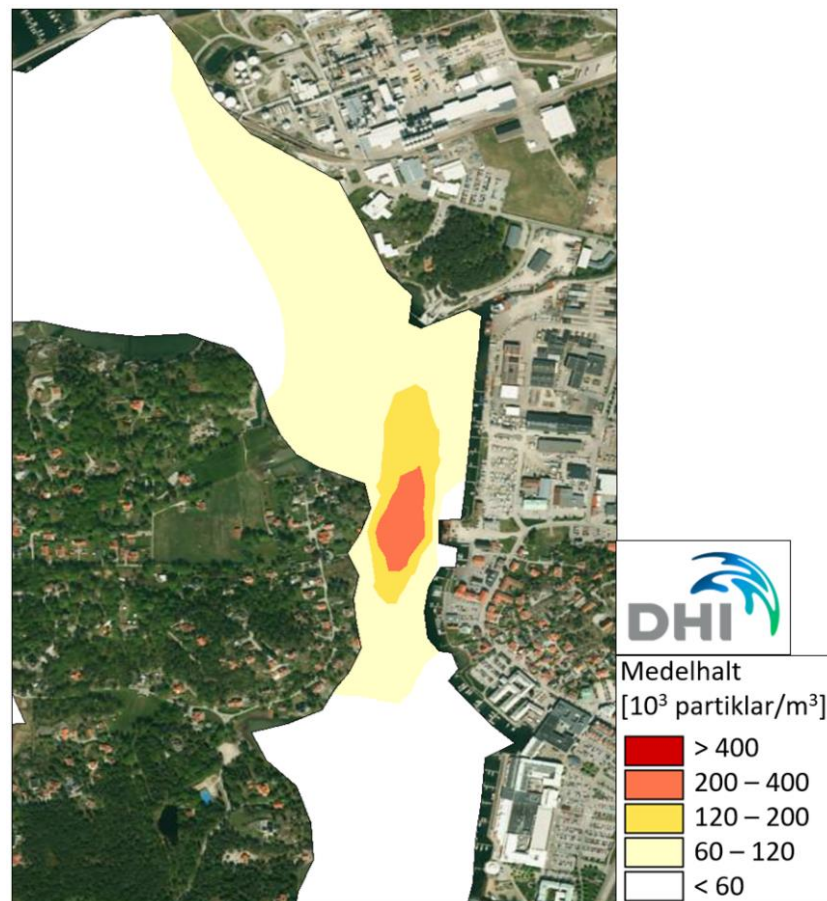
Smögen är den hamn som är mest skyddad och hamnens placering har fått ge namn åt hela orten efter Smyghålet, det trånga sundet där hamnen är placerad. Det skyddade läget får till följd att området där man har den högsta påverkan inte sträcker sig utanför hamnen, men man kommer ha tillfällen när påverkansområdet sträcker sig en bit utanför.



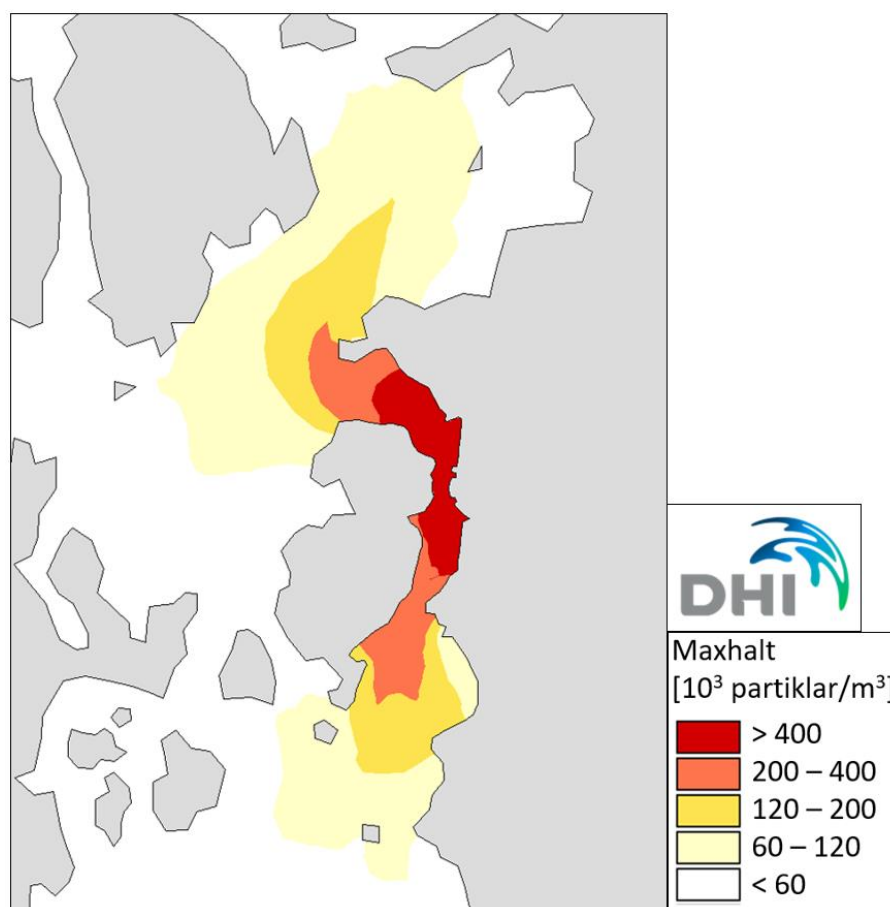
### 6.3 Modellresultat från Stenungsund

Hamnen i Stenungsund ligger öppet gentemot omgivande vatten, och det fanns inget uppenbart ställe att sätta som punktkälla. Vi valde att lägga källan i den trängsta delen av kanalen, se Figur 5-4C. Det finns båtplatser både söder och norr om denna position, och båtvätten ligger strax norr om positionen. Den uppmätta halten i hamnen, vilken sprids i modelleringen, motsvarar 400 partiklar per liter, och den bakgrundshalten är 60 partiklar per liter vilket motsvarar medlet av stationerna Stenungsund och Galterö vid mätningarna 2015 /2/.

Resultaten för Smögen visas i Figur 6-5 och Figur 6-6. Halten i figurerna visar koncentrationen av partiklar som har sitt ursprung i hamnen, dvs överkoncentrationen av partiklar. Området med >60 partiklar/m<sup>3</sup> har alltså partikelhalter som överskrider den satta bakgrundshalten, det innebär att totalhalten i vattnet kan vara högre beroende på vilka källor som påverkar bakgrundshalten.



Figur 6-5 Medelhalter av mikrokräp,  $D < 300 \mu\text{m}$ , från Stenungsunds småbåtshamn under modellperioden, baserat på den uppmätta bakgrundshalt i hamnen på 400 partiklar/liter. Det vita området motsvarar medelvärdet vid Stenungsund och Galterö vid mätningarna 2015.



Figur 6-6 Maximala halter av mikrokräp,  $D < 300 \mu\text{m}$ , från Stenungsunds småbåtshamn som inträffat någon gång under modellperioden, baserat på den uppmätta bakgrundshalten i hamnen på 400 partiklar/liter.

Hamnen i Stenungsund ligger relativt öppet mellan fastlandet och Tjörn och vattenströmningen i området är god. Det innebär att halten mikrokräp från hamnen snabbt transporteras vidare och man får ett ganska litet område med höga halter men ett stort område med lägre halter. Mikrokräpet kommer framförallt röra sig norrut men man har tillfällen som avviker från detta.

## 7 Modellresultat från spridningen av större partiklar

Modelleringen av de större partiklarna >300 µm visade att den absoluta majoriteten av alla partiklar av denna storlek med antagen densitet kommer att sedimentera inom 100 m från källan, dvs inom hamnområdet.

I GU-rapporten hade man pumpfiltrerat vid en provpunkt precis i anslutning till borsttvättstationen efter tvätt, denna mätning gav en kraftigt förhöjd halt av partiklar. Denna studie visar att de större av dessa partiklar inte kommer spridas till miljön utanför hamnen i närtid, dock kan de komma att brytas ned till mindre fraktioner som kan virvlas upp igen till vattenkolumnen med tiden. Resultaten från denna modellering är inte bara applicerbara för borsttvättstationerna utan även vid andra aktiviteter som kan få till följd att mikrokräp av denna storlek släpps i vattenmassan eller virvlas upp från botten.

Den enda hamn där någon andel av partiklarna tog sig längre än ca 100 m från källan var hamnen i Stenungsund, där 4% av de lättaste partiklarna tog sig längre än ca 100 m. Ingen partikel i modelleringen spreds längre än ca 1 km från källan.

Lokala, kortvariga företeelser som kan bidra till att virvla upp partiklar från botten, tex en passerande motorbåt, är inte med i den här modelleringen eftersom modellupplösningen inte kan ta hänsyn till saker på den skalan. Detta innebär att modelleringen kanske underskattar resuspensionen från botten, men att det totala resultatet skulle ändras på grund av detta verkar väldigt osannolikt. För att testa resultatets känslighet för ökad/underlättad resuspension gjordes en modellkörning där möjligheten för resuspension från botten hade ökat markant med hjälp av några modellparameterar. Testet gjordes för Smögen, och även om en liten andel av partiklarna (i huvudsak de lättaste) spreds längre än 100 m så kom de inte längre än ca 500-600 m från källan. Slutsatsen är att partiklar av den här storleken inte verkar spridas särskilt långt från källan.

Den uppmätta halten efter tvätt uppgick som mest till ca 6 partiklar (blå+röda+bruna) per kubikmeter, i medel under 1 partikel per kubikmeter enligt GU-rapporten. I GU-rapporten påpekas dock att man noterade att det vid mätningarna fanns tvättstationer där de barriärer som hindrar spridning inte fungerande.

Tabell 7-1 Andelen av partiklarna som stannar inom 100 m från källan i de tre undersökta hamnarna

Diameter / storlek	Kommentar	Fallhastighet [mm/s]	Andelen av partiklarna som stannar inom 100 m från källan [%]		
			Råå	Smögen	Stenungsund
150 µm	En lättare mikrokräppartikel	6,7	100	100	96
300 µm	En tyngre mikrokräppartikel	13,2	100	100	99
200µm <sup>2</sup>	Kopparhaltig färgflaga	70	100	100	100

## 8 Resultat och diskussion

DHI har genom att modellera spridning av två fraktioner av mikrokräp, små partiklar ( $>10 \mu\text{m}$ ) och större partiklar ( $>300 \mu\text{m}$ ) visat på möjliga påverkansområden för mikrokräp från en småbåtshamn under perioden maj-september.

Modelleringarna bygger på resultaten från mätningar utförda av Göteborgs universitet vid båtborsttvättar. Mätningarna visade dock inte någon konsekvent ökning av mängden mikrokräp efter tvätt jämfört med innan för hamnarna som provtogs. Därmed har DHI valt att titta på småbåtshamnar i sig som en källa till mikrokräp och använt den bakgrundshalt som mättes upp innan en tvätt som indata till modelleringen av de små partiklarna. För de stora partiklarna såg man inte heller någon konsekvent ökning av halten och koncentrationerna i vattnet var så låg, även efter tvätt, att en spridningsmodellering skulle bli för känslig för var enstaka partiklar tog vägen. För att få ett större statistiskt underlag har DHI istället valt att modellera hur långt partiklarna i studien förväntas nå baserat på sin storlek, densitet och fallhastighet, samt resuspension vid botten.

Resultaten för modelleringen av små partiklar ( $>10 \mu\text{m}$ ) visar att hamnens placering och utformning har stor inverkan på påverkansområdet och halten av mikrokräp. Hamnar som är slutna, i denna studie framförallt Smögen, har ett mindre påverkansområde än hamnar med högre halter eller hamnar som ligger mer öppet som Stenungsund, där påverkansområdet är större men halten i området lägre. I Råå hamn var koncentrationen inne i hamnen mer än tre gånger så hög som i de andra hamnarna, detta beror sannolikt på att Råå hamn är placerad i utloppet av Råå som kan vara påverkad av stadsmiljön i form av t ex dagvattenutsläpp. Det är visat både längs Bohuskusten att mätstationer som påverkas av vattendrag från urban miljö har högre halter av mikrokräp, även i Stockholms skärgård har man visat att mängden mikrokräp ökar med hur urbant ett område är. För att komma ifrån denna effekt har även en uppskattad medelhalt för en småbåtshamn (baserat på mätningarna) modellerats. Den visade på ett betydligt mindre påverkansområde från Råå hamn och mikrokräpet följer Rååns plyn norrut längs med kusten.

För partiklar  $>300 \mu\text{m}$  var den uppmätta halten innan tvätt i nivå med de halter som uppmätts längs Bohuskusten vilket indikerar att partiklarna sjunker snabbt efter att de hamnat i vattnet eller virvlats upp. En spridningsmodellering där även resuspension vid botten ingick för tre olika storlekar, densitet och fallhastigheter på mikrokräp som ungefär motsvarar en mindre mikrokräppartikel, en större mikrokräppartikel och en färgflaga av kopparhaltig båtbottnfärg genomfördes. Denna visade att 96 - 100 % av de släppta partiklarna hamnade inom 100 m från källan. För den kopparhaltiga flagan hamnade 100 % av partiklarna i anslutning till källan oavsett hamnens utformning. För den minsta fraktionen, den mindre mikrokräppartikel, såg man dock en viss inverkan av hamnens placering, i de mer slutna hamnarna Råå och Smögen sjönk 100 % av partiklarna inom 100 m medan i den öppna hamnen Stenungsund var siffran 96 %. Det innebär att föroreningen av det större mikrokräpet kommer stanna i hamnområdet och begravas i sedimentet eller brytas ned till mindre partiklar. Det innebär att en tvätt, framförallt med en ofungerande tvättstation kan ge en kraftigt förhöjd halt av mikrokräp lokalt men den geografiska påverkan är begränsad. Resultaten är även applicerbara på andra aktiviteter i hamnen som kan röra upp material från botten, t ex kraftiga propellerrörelser.



## 9 Referenser

- /1/ Hassellöv, M., Gondikas, A., Mattson, K., Samuelsson, P., O., *Ingen titel*, redovisning av uppdrag om mätning av mikroplast vid båtborstvättar för Havs- och vattenmyndigheten, 2018
- /2/ Länsstyrelsen Västra Götaland, *Marint mikroskopiskt skräp längs Bohuskusten 2015 - i jämförelse med tidigare studier 2013 & 2014*. Rapportnummer 2018:28
- /3/ Khatamullina, L., Isachenko, I. (2017) *Settling velocity of microplastic particles of regular shapes*, 2017, Marine Pollution Bulletin, volume 114, p 871-880, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.024>
- /4/ Chubarenko, I., Bagaev, A., Zobkov, M., Esiukova, *On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment*, 2016, Marine Pollution Bulletin, volume 108, p 105-112, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.048>
- /5/ Gewert, B., Ogonowski, M., Barth, A., MacLeod, M., *Abundance and composition of near surface microplastics and plastic debris in the Stockholm Archipelago, Baltic Sea*, 2017, Marine Pollution Bulletin, volume 120, issues 1-2, p 292-302, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.062>



